



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS

**ASPECTOS ECOLÓGICOS PARA EL MANEJO Y
CONSERVACIÓN DE CACTÁCEAS COLUMNARES EN SANTIAGO
QUIOTEPEC, OAXACA”.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

Biól. Edgar Pérez Negrón Souza

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

México, D.F.

Mayo, 2007



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.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres J. Guadalupe Pérez Negrón Campuzano y Elva Lilia Souza Huerta, por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida. Por ser una parte muy importante de mi vida.

A mis hermanos, Rommel, Siomara y Sandra. Por todo el apoyo que me brindan día a día, por perdonar mis errores y ayudarme a ser una mejor persona.

Al Dr. Alejandro Casas Fernández, por su gran calidad humana, generosidad y amistad que me ha brindado a lo largo de estos años.

A mi hija María José, que con su llegada ha iluminado mi camino y le ha dado sentido a mi vida. Hija gracias por darme el privilegio de ser padre y por esta enorme felicidad que inunda mi corazón y mi espíritu.

A María Elena, por compartir parte de su vida conmigo y por darme la oportunidad de ser padre. Mil gracias.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo recibido por medio de la beca de Maestría. De igual forma, agradezco a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por la beca complementaria otorgada.

Agradezco el apoyo otorgado por el programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica (PAPIIT), por medio del proyecto (IN220005) “Bases Ecológicas para el aprovechamiento y conservación de recursos vegetales en las Zonas Áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán”. De igual manera, agradezco el apoyo de los Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACyT (2002-C1-0544), del proyecto “Recursos Genéticos de México: manejo *in situ* y Bioseguridad”. Agradezco también el apoyo otorgado por el Royal Botanic Gardens, KEW, por medio del proyecto “Integral Study of the columnar cactus of the Tehuacan-Cuicatlan Biospher Reserve”.

No encuentro las palabras para expresar todo lo agradecido que estoy contigo, te agradezco tus consejos, tu apoyo, tu amistad y todo lo que haces por mi, mil gracias por todo Alejandro Casas Fernández. Si existieran más personas como tu este mundo sería mejor.

Agradezco a la Dra. Patricia Dávila Aranda, al Dr. Alfonso Valiente Banuet y al Dr. Alejandro Casas Fernández, por ser mis guías en este proyecto como miembros de mi comité tutorial. Gracias a todos sus valiosos comentarios y observaciones he logrado concluir este proyecto.

A la Dra. Laura López Hoffman, al Dr. Miguel Martínez Ramos, al Dr. Diego Pérez Salicrup, al Dr. Rafael Lira Saade, por su ayuda y valiosas aportaciones.

Al Dr. Alejandro Velásquez y al M. en C. Jesús Fuentes Junco, por su ayuda con los sistemas de información geográfica. A los técnicos de cómputo Heberto ferreira y Alberto Valencia, por su ayuda con los sistemas de computo.

A las autoridades comunales, ejidales y municipales, por todas las facilidades brindadas para la realización de este proyecto.

De manera especial quiero agradecer al Pueblo de Santiago Quiotepec, por darme la oportunidad de trabajar en su pueblo y permitirme compartir con ellos momentos muy gratos, también les agradezco por compartirme parte de sus conocimientos. Por todo esto, gracias Quiotepec.

Agradezco a los compañeros Ignacio Torres, Berenice Farfán, Claudia Brunel, Roció Santos, Fernando Ortiz, por su ayuda en campo. También agradezco a todos mis compañeros del laboratorio por todo lo que hemos compartido.

Por último, agradezco a todos aquellos que de una forma u otra han contribuido al desarrollo de este proyecto y que por no recordar de momento sus nombres no aparecen en estas páginas. Sin embargo mi agradecimiento y sus nombres están escritos en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.	1
HIPÓTESIS.	12
OBJETIVOS.	14
OBJETIVOS PARTICULARES.	14
II. ÁREA DE ESTUDIO Y ESPECIES ESTUDIADAS	
Localización geográfica.	16
Clima.	16
Vegetación.	18
Economía campesina.	19
Especies estudiadas.	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
1. Unidades de muestreo.	30
2. Estimación de la producción de frutos por hectárea.	30
3. Distribución espacial, superficie total del jiotillal, cardonal y tetechera, y estimación de la producción global de frutos de estas cactáceas dentro del territorio de Santiago Quiotepec.	31
4. Evaluación de la importancia económica de las cactáceas columnares en términos de extracción, consumo y mercado.	32
5. Matrices de proyección poblacional.	32
6. Análisis de sustentabilidad.	33
IV. RESULTADOS	
POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE FRUTOS DE LAS CACTÁCEAS COLUMNARES EN LOS BOSQUES DE SANTIAGO QUIOTEPEC.	36
PRODUCCIÓN GLOBAL DE FRUTOS DENTRO DEL TERRITORIO EN SANTIAGO QUIOTEPEC.	37
IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS FRUTOS DE CACTÁCEAS COLUMNARES.	40

LOS LÍMITES DE LA EXTRACCIÓN.	44
ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD.	54
V. DISCUSIÓN.	62
VI. CONCLUSIONES.	70
VII. LITERATURA CITADA.	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Temperatura y precipitación de Santiago Quiotepec.	16
Cuadro 2 Criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad para evaluar los sistemas de manejo de recursos naturales.	35
Cuadro 3 Número de individuos reproductivos y frutos por hectárea en las unidades ambientales.	36
Cuadro 4 Superficie y porcentaje de cobertura vegetal.	38
Cuadro 5 Producción global de frutos en el territorio de Santiago Quiotepec.	40
Cuadro 6. Precio promedio de los frutos, botones florales y semillas de <i>Escontria chiotilla</i> <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> y <i>Pachycereus weberi</i> en distintos mercados de la región.	41
Cuadro 7 Extracción actual de frutos de CC en la comunidad de Santiago Quiotepec.	42
Cuadro 8 Valor económico del total de botones, frutos y semillas de <i>N. tetetzo</i> , <i>E. chiotilla</i> y <i>P. weberi</i> , respectivamente en el territorio por hectárea.	43
Cuadro 9 Estructura de tallas por hectárea en el cardonal.	45
Cuadro 10 Estructura de tallas en 400 m ² en la tetechera.	46
Cuadro 11 Estructura de tallas por hectárea en el jiotillal.	47
Cuadro 12 Total de individuos e individuos reproductivos por hectárea.	48
Cuadro 13 Matriz de transición poblacional de <i>Escontria chiotilla</i>	48
Cuadro 14 Matriz de transición poblacional de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	49
Cuadro 15 Análisis de perturbación de <i>Escontria chiotilla</i>	51

Cuadro 16 Análisis de perturbación de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	52
Cuadro 17 Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en el cardonal.	56
Cuadro 18 Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en la tetechera.	57
Cuadro 19 Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en el jiotillal.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización geográfica de Santiago Quiotepec, Oaxaca.	17
Figura 2 Aspecto de <i>Escontria chiotilla</i>	21
Figura 3 Aspecto de <i>Pachycereus weberi</i>	24
Figura 4 Aspecto de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	26
Figura 5 Aspecto de <i>Myrtillocactus geometrizans</i>	28
Figura 6 Mapa de cobertura vegetal de Santiago Quiotepec.	39
Figura 7 Mercado de Teotitlán del Camino (venta de <i>Escontria chiotilla</i>).	41
Figura 8 Mercado de Teotitlán del Camino (venta de <i>Escontria chiotilla</i> y <i>Pachycereus weberi</i>).	42
Figura 9 Red comercial de frutos, botones florales y semillas de cactáceas columnares.	44
Figura 10 Estructura de tallas observ. y estructura estable para <i>Escontria chiotilla</i>	50
Figura 11 Estructura de tallas observ. y estructura estable para <i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	50
Figura 12 Efecto de la cosecha de frutos de <i>Escontria chiotilla</i> en el valor de λ	52
Figura 13 Efecto de la cosecha de frutos de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> en el valor de λ	53
Figura 14 Análisis de la sustentabilidad en el cardonal.	59
Figura 15 Análisis de la sustentabilidad en el jiotillal.	60
Figura 16 Análisis de la sustentabilidad en la tetechera.	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Formato de Encuesta.	83
Anexo 2 Formato de Encuesta locatarios.	88

I. INTRODUCCIÓN

Sustentabilidad, desarrollo y manejo de recursos

Hacia mediados del siglo XX comenzaron a hacerse cada vez más preocupantes los signos de la degradación ambiental del planeta y sus consecuencias a escala local y global. Las tendencias actuales de deterioro de los ecosistemas naturales y transformados, así como el agotamiento de los recursos naturales y la pérdida de importantes servicios ecosistémicos permiten hablar ya de una crisis ambiental a nivel mundial (Smil 1987; Gare 1995; Earley 1997; Toledo 2003). Desde la década de los sesentas del siglo pasado multitud de estudios han concluido que los modelos de producción, los patrones de consumo y los modelos de crecimiento económico acumulativo imperantes en las sociedades industriales, son factores de principal responsabilidad en el proceso de deterioro ecológico (Ruesga y Durán 2000; Masera y López-Ridaura 2000; Toledo 2003). A la par del deterioro de los ecosistemas, el planeta vive también un deterioro social sin precedentes, el cual se expresa en los crecientes índices de pobreza y pobreza extrema en que viven millones de seres humanos, así como la marcada desigualdad en el reparto de la riqueza (WCED 1987; Boltvinik 1995). Y en este ámbito también han sido identificados los modelos socio-económicos de la sociedad industrial como los principales determinantes del proceso (Toledo 2000, 2003). El escenario de deterioro ecológico y social a nivel global manifiesta en forma dramática el estado de crisis que ha alcanzado la civilización contemporánea, a la que Toledo (2003) ha denominado la “sociedad de riesgo”. Permite también visualizar el carácter insostenible de los actuales modelos de desarrollo (Martínez-Alier 2004), e indica las respuestas necesarias que la situación exige de la ciencia, la técnica y la sociedad civil para construir una sociedad sostenible alternativa (Casas y Valiente-Banuet 1995; Toledo 2003).

A principios de la década de los 80s surgió el concepto de desarrollo sustentable (Kates *et al.*, 2001) como una propuesta de nuevas relaciones entre sociedad y naturaleza, alternativa a los modelos económicos dominantes. Paulatinamente se ha ido erigiendo como un paradigma para el diseño de modelos de desarrollo que buscan hacer compatibles los objetivos del crecimiento económico con la conservación, la minimización del deterioro ambiental y del consumo de recursos naturales, así como una elevación de la calidad de la vida humana (WCED 1987; Ruesga y Durán 2000). De acuerdo con la idea originalmente expuesta por la World Commission on Environment and Development (WCED 1987), el desarrollo sustentable busca “*satisfacer las*

necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". Y bajo esta propuesta la sustentabilidad se plantea metas indisociables en los planos tanto económico, como ecológico y social.

El concepto de desarrollo sustentable constituye entonces un marco general de relaciones entre sociedad y naturaleza y, por lo tanto, comprende una gran diversidad de aspectos de la vida social, de las relaciones económicas, de las políticas institucionales, de las leyes y la toma de decisiones, de la tecnología, de la educación, etc. Y en este contexto, la idea de manejar en forma sostenible o sustentable los recursos naturales, los servicios ambientales y los ecosistemas constituye un concepto operativo central desde el punto de vista tecnológico. El manejo sustentable de los ecosistemas y sus recursos busca asegurar la disponibilidad a largo plazo de la base material de los procesos productivos, sin perder de vista el marco de sustentabilidad desde el punto de vista económico y social de tales procesos. En otras palabras, el concepto de manejo sustentable incluye el conjunto de conocimientos, técnicas y estrategias de aprovechamiento, conservación, restauración y ordenamiento de los recursos naturales y de los ecosistemas que buscan su mantenimiento futuro como base para el bienestar social (véase WCED 1987, Casas y Valiente-Banuet 1996, Masera *et al.*, 2000, Ludwig 2000, Kates *et al.*, 2001).

En este estudio se analizan particularmente aspectos sobre manejo sustentable de recursos bióticos. El manejo de estos recursos puede visualizarse a distintas escalas espaciales y temporales, así como a distintos niveles de organización, desde la variabilidad genética, características eco-fisiológicas y de adecuación de individuos que componen poblaciones de organismos, hasta las comunidades bióticas y los ecosistemas. En cada una de estas escalas los parámetros con los cuales puede analizarse la sustentabilidad son distintos. Así, por ejemplo, el manejo sustentable de los recursos genéticos implica diseñar acciones para mantener a largo plazo la diversidad genética que existe dentro de poblaciones de una especie determinada, y la medida del éxito de estas acciones implica el monitoreo de la diversidad genética y de los procesos que la generan y mantienen en el tiempo (Ledig 1997; Brush 2005). El manejo sustentable de poblaciones de organismos implica asegurar que estas poblaciones mantengan su tasa de crecimiento y, por lo tanto, la medida de la sustentabilidad a esta escala está dada por las proyecciones de tales tasas de crecimiento (Alvarez-Buylla (1994); Olmsted y Álvarez-Buylla 1995; Bernal (1998); Ticktin *et al.* (2002); Freckleton *et al.* (2003); Escalante *et al.* (2004);

Farfán-Heredia (2006). El manejo sustentable de comunidades bióticas implica asegurar el mantenimiento a largo plazo de la diversidad de especies y de las interacciones que establecen los componentes de las comunidades entre sí y, por lo tanto, la medida del éxito del manejo a esta escala estará dada por el monitoreo de la diversidad y de las interacciones bióticas en el tiempo (Pezzey 1992; Holmberg 1992; Del Amo y Ramos 1994; Daily y Ehrlich 1992). El manejo sustentable de los ecosistemas implica mantener a largo plazo la integridad de los ecosistemas o de los socio-ecosistemas (Grumbine 1994, 1997; Boyce y Haney 1997) y ello implica monitorear su estructura, las interacciones entre los componentes, los procesos ecosistémicos, así como atributos sistémicos tales como productividad, resiliencia, estabilidad, confiabilidad, autogestión y equidad, entre otros (Maass y Martínez Yrizar 1990; Grumbine 1994, 1997; Masera *et al.*, 2000).

Los recursos cuyo estudio aborda esta investigación se encuentran comprendidos en poblaciones de plantas que integran comunidades bióticas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, una zona árida del centro de México decretada como Reserva de la Biosfera en 1998 y que es de las más importantes del país para la protección de diversidad biológica de zonas áridas. Las comunidades vegetales de esta región son impactadas en mayor o menor grado por el aclareo para establecer campos de cultivo, así como también por actividades de libre pastoreo de ganado caprino y vacuno, la extracción de recursos forestales, principalmente madera, leña, agaves, palma, orégano y candelilla, que llevan a cabo las comunidades campesinas y agroindustrias locales (Casas *et al.* 2001; Rangel y Lemus 2002; Torres 2004; Solís 2006; Valiente-Banuet *et al.* 2006; Pérez-Negrón y Casas 2007). También son importantes los saqueos ilegales de plantas ornamentales, principalmente cactáceas, beaucarneas, crasuláceas y cicadas llevados a cabo por agentes externos a la región (Valiente-Banuet *et al.* 2006). Estas actividades humanas se encuentran extendidas en toda la región y constituyen los principales factores que alteran los ecosistemas del área (Valiente-Banuet *et al.* 2006). Siendo éstos los principales factores de impacto, constituyen el centro de atención de los diferentes sectores interesados en desarrollar estrategias de conservación en la región, estrategias que están obligadas a considerar los requerimientos para el mantenimiento de las sociedades y culturas establecidas, así como las particularidades de los ecosistemas de zonas áridas.

El deterioro socio-ambiental en el Valle de Tehuacán y la búsqueda de estrategias de manejo sustentable

Las zonas áridas y semiáridas abarcan cerca de la mitad del territorio nacional y albergan una importante diversidad biológica y cultural (Rzedowski 1978; Toledo y Ordóñez 1998; Casas *et al.* 2001). Los ecosistemas de zonas áridas del país se encuentran entre los de mayor complejidad ecológica y son particularmente vulnerables ante las perturbaciones de origen antrópico (Challenger 1998), lo que obliga a adoptar consideraciones especiales para el diseño de estrategias de manejo en este tipo de ecosistemas. Así, por ejemplo, la longevidad de las numerosas especies que dominan en los ecosistemas de zonas áridas determina una lenta recuperación de los sistemas ante las perturbaciones humanas (Challenger 1998). En los ecosistemas de zonas áridas, particularmente en los de las regiones intertropicales, se presentan interacciones bióticas especializadas que determinan que la afectación de un elemento tenga consecuencias drásticas sobre otros elementos. Así, por ejemplo, la disminución de especies arbóreas y arbustivas que fungen como nodrizas de las cactáceas columnares, tendría como consecuencia la disminución o incluso la extinción de muchas de estas cactáceas columnares, pues éstas no lograrían sobrevivir en las etapas iniciales de su ciclo de vida sin la ayuda de sus nodrizas (véase Valiente-Banuet y Ezcurra 1991). Por ello, resulta de primordial importancia desarrollar a corto plazo estrategias de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que existen en tales regiones. Los recursos vegetales merecen una atención especial, ya que su diversidad es particularmente elevada en las zonas áridas. Rzedowski (1993) estima que en estas regiones existen alrededor de 6000 especies de plantas vasculares, de las cuales tan sólo en la región de Tehuacán-Cuicatlán Casas *et al.* (2001) estiman que alrededor de 1500 especies están siendo aprovechadas por las culturas locales. No obstante, su aprovechamiento frecuentemente involucra prácticas extractivas destructivas, por lo que el desarrollo de experiencias puntuales, con recursos específicos adquiere hoy en día un gran valor en la búsqueda de estrategias de manejo sustentable.

Uno de los grupos de plantas mayormente aprovechados en las zonas áridas es el de las cactáceas columnares. En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se han registrado 19 especies, todas las cuales son aprovechadas principalmente por sus frutos comestibles. De algunos también se comen las flores y semillas, otros son aprovechados como forraje, como leña, como madera para construcción y para sistemas de protección de suelos (Casas *et al.* 1999a). Existe evidencia

arqueológica de que estas plantas fueron utilizados por los seres humanos desde las primeras etapas de ocupación del territorio de la región (MacNeish, 1967). Pero además, estas plantas tienen una gran importancia ecológica. Son componentes dominantes del paisaje en diferentes asociaciones vegetales denominadas bosques de cactáceas columnares por Valiente-Banuet *et al.* (2000), las cuales ocupan la mayor extensión del territorio de la región. Por ello, su protección tiene particular relevancia en los programas de conservación del área. Aunque las cactáceas columnares son aprovechadas desde la prehistoria y algunas de ellas tienen importancia económica en la actualidad, el mayor impacto hacia los bosques de cactáceas columnares no está determinado por la extracción de sus productos, sino por el aclareo de la vegetación para establecer campos de cultivo (Valiente-Banuet *et al.* 2006; Farfán 2006), así como por el ramoneo de nodrizas y el pisoteo de plántulas que determina el ganado en sus rutas de pastoreo (Farfán 2006; Osorno 2005). La agricultura y la ganadería son actividades económicas fundamentales para el sostenimiento de las familias campesinas de la región. Por lo tanto, pretender establecer estrategias de conservación a partir de decretar la suspensión de estas prácticas, sin proponer alternativas, resultaría ingenuo. Problemas similares enfrentan campesinos, organizaciones no gubernamentales y gubernamentales y científicos en todo el mundo. Y en esta perspectiva, la búsqueda de potenciar el valor económico y comercial de productos forestales no maderables se ha erigido como una alternativa atractiva (Shanley *et al.* 2002).

De acuerdo con la FAO (1995), los recursos forestales no maderables son elementos útiles de los bosques que incluyen “*los productos de origen biológico con excepción de la madera, así como los servicios derivados del bosque y el suelo*”. Cuando la extracción de recursos no maderables se lleva a cabo adecuadamente puede determinar un impacto relativamente bajo sobre los ecosistemas naturales, comparado con el que determinan actividades como la agricultura, la ganadería o la extracción de madera. Pero además, el valor económico del bosque puede constituir un importante incentivo para su conservación (Gadgil e Iyer 1993). En este contexto, la presente investigación pretende hacer contribuciones particulares a la conservación de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, analizando el valor económico potencial y las posibilidades de aprovechar de manera sustentable algunas especies de cactáceas columnares en el caso particular de la comunidad de Santiago Quiotepec, Oaxaca.

Importancia económica de los frutos de las cactáceas columnares

Los frutos de la mayoría de cactáceas columnares son comestibles (Casas et al. 1999a, Casas y Barbera 2002) y en general poseen un considerable valor de uso complementando la dieta de las familias campesinas de las zonas áridas en distintas épocas del año. Pero además, diversos estudios han documentado que los frutos de algunas especies de estas cactáceas se intercambian en el mercado, llegando a alcanzar importante valor comercial. Díaz (1995), por ejemplo, documentó la importancia económica que tiene la comercialización de los frutos de *Stenocereus fricii* y *S. quevedonis* en el Municipio de Huetamo, Michoacán. De acuerdo con dicho autor, los frutos de estas especies tienen buena aceptación en los mercados tanto locales como a nivel regional. Díaz (1995) documentó que los canales de comercialización de estas especies son tanto por vía directa como por medio de intermediarios, y que los precios fluctúan de acuerdo a la oferta y la demanda. Por su parte, Casas *et al.* (1997a) demostraron que la producción y comercialización de frutos de *Stenocereus stellatus* y *S. pruinosus* juegan un papel importante en la economía familiar de los campesinos de la Mixteca Baja y del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. De acuerdo con estos autores, tal importancia económica se ve reflejada en un alto grado de intensidad de manejo y de producción de frutos por hectárea (3298.8 kg/ha de *S. stellatus*) en poblaciones cultivadas de estas especies. Dicha producción es suficiente para cubrir los requerimientos de la población y genera excedentes para el intercambio. De forma similar, Pimienta-Barrios (1999) documentó la importancia económica de las plantaciones comerciales de *Stenocereus queretaroensis* en Jalisco desde principios del siglo XX, mientras que Mercado y Granados (1999), identificaron las principales zonas del país en donde se comercializan los frutos de cactáceas columnares. Estos últimos autores sintetizaron información sobre la comercialización de frutos de *Stenocereus griseus*, *S. stellatus*, *Escontria chiotilla*, *Polaskia chende*, *P. chichipe* y *Mirtillocactus geometrizans* en las zonas de la Mixteca Baja y el Valle de Tehuacán, así como de *S. fricci*, *S. quevedonis* y *S. chrysocarpus* en la región Presa de Infiernillo, de *S. queretaroensis* en la región colindante de Jalisco y Michoacán y de los frutos de *Pachycereus pringlei*, *S. thurberi*, *S. gummosus* y *Carnegiea gigantea* del Desierto Sonorense.

De acuerdo con Pérez-Negrón (2002) y Pérez-Negrón y Casas (2007), los frutos de *Escontria chiotilla*, *Pachycereus weberi*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Myrtillocactus geometrizans*, representan una fuente importante de alimento que complementa la dieta campesina en Santiago Quiotepec, además de representar una fuente de ingresos económicos para las familias que se

dedican a su comercialización. Los frutos de estas especies se comercializan en los mercados regionales, generalmente como frutos frescos, pero algunos de éstos son procesados, logrando con ello un valor agregado. Por su parte, Arellano y Casas (2003) documentaron que los frutos de *Escontria chiotilla* se consumen en fresco por los habitantes del municipio de Coxcatlán, pero también se usan para preparar aguas de sabor, paletas, mermeladas y dulces, los cuales se comercializan a nivel local y representan una importante fuente de recursos económicos. Los autores reportan un precio de \$10.00 por kg de fruta de esta especie en el mercado de Coxcatlán para el año 2000.

Datos reportados por Carmona y Casas (2005) indican que los frutos de *Polaskia chichipe* representan un recurso económico para los pobladores de San Luis Atolotitlán y Los Reyes Metzontla, en el Valle de Tehuacán. Estos autores encontraron que algunas familias de estas comunidades venden o cambian los frutos frescos por maíz. De acuerdo con Rodríguez-Arévalo *et al.* (2006), hace aproximadamente entre 20 y 50 años los frutos de *Pachycereu hollianus* constituyeron una importante fuente de ingresos económicos entre los pobladores del Valle de Zapotitlán. Sin embargo, actualmente la comercialización de dichos frutos es prácticamente nula.

Aspectos a considerar en el manejo sustentable de cactáceas columnares

En la búsqueda de estrategias sustentables de aprovechamiento de los frutos de cactáceas columnares es necesario evaluar, primeramente, cuál es la producción global de frutos dentro de los ambientes en los que se encuentran. Asimismo, evaluar cuál es su aporte actual a las economías campesinas y cuál es la capacidad de los sistemas para mantener tal potencial productivo a largo plazo bajo los ritmos actuales de extracción. Junto a esta evaluación, es necesario saber también cuáles son las condiciones del mercado para los frutos y sus productos transformados, la oferta, la demanda, los precios y analizar las posibilidades de ampliar el mercado actual con el fin de estimar las potencialidades económicas de los recursos. Y consecuentemente, es necesario evaluar cuáles son las posibilidades de que las poblaciones de las especies analizadas tengan la capacidad de abastecer tales demandas del mercado sin afectar las posibilidades de mantener a largo plazo tanto las poblaciones eventualmente explotadas como las comunidades bióticas en las que se encuentran.

Sin embargo, bajo un sistema de manejo sustentable no todos los frutos que se producen en las poblaciones de especies útiles pueden ser aprovechados por los seres humanos, pues parte de los frutos son requeridos para mantener el crecimiento de la población de plantas que los producen, y parte de ellos también son requeridos por otros organismos de la comunidad biótica que naturalmente interactúan con las especies de interés humano. Por lo tanto, para estimar los frutos que se pueden aprovechar en forma sustentable es necesario descontar los frutos que se requieren para el mantenimiento de las poblaciones que se aprovechan, así como para el mantenimiento de la comunidad de frugívoros y de consumidores de semillas. Es decir, el diagnóstico del potencial productivo de los recursos está obligado a considerar el costo de mantener el crecimiento de las poblaciones aprovechadas y el costo de mantener las interacciones bióticas que establecen las especies aprovechadas con el resto de la comunidad biótica en que se encuentran.

Diferentes enfoques de investigación son de gran utilidad para generar información que ayude a definir criterios de aprovechamiento y manejo sustentable de los recursos que aportan las cactáceas columnares. Los estudios de genética de poblaciones, por ejemplo, permiten evaluar la variabilidad y estructura genética de una población, y dicha información es sumamente importante para diseñar estrategias de aprovechamiento y/o conservación que eviten la disminución de la variabilidad genética, pues ésta podría representar una pérdida de la capacidad de adecuación de una especie y aumentar la probabilidad de su extinción (Real 1994). Las poblaciones silvestres de cactáceas columnares se encuentran bajo diferentes formas de manejo, los cuales pueden generar cambios en los niveles de diversidad genética, así como divergencias genéticas como resultado de la selección artificial a favor de algunas variantes morfológicas y/o fisiológicas que poseen atributos favorables para los seres humanos (Casas *et al.*, 1997). Los estudios de genética de poblaciones dirigidos a la conservación permiten identificar sitios en donde existen genotipos raros sobre los cuales es necesario efectuar medidas especiales de protección; también permiten identificar procesos determinantes de pérdida de diversidad genética por fragmentación de las poblaciones y endogamia, por ejemplo, sugiriendo importantes pautas para el manejo dirigido a subsanar tales problemas. Existen estudios disponibles sobre genética de poblaciones para especies de cactáceas columnares como *Lophocereus schottii* (Parker y Hamrick 1992), *Pachycereus pringlei* (Fleming *et al.*, 1994), *Stenocereus griseus* (Nassar *et al.*, 2003), *Pilosocereus repandus* (Nassar *et al.*, 2003) *Polaskia chichipe* (Otero-Arnaiz *et al.*, 2005a,

2005b, Lucio 2005), *Escontria chiotilla* (Tinoco *et al.*, 2005), *Polaskia chende* (Ruíz-Durán 2007) y *Stenocereus stellatus* (Casas *et al.*, 2006). Estos estudios en general indican que las cactáceas columnares poseen elevados niveles de diversidad genética, que la mayor proporción de ésta se encuentra dentro de las poblaciones, más que entre las poblaciones. De manera que los esfuerzos de conservación dirigidos hacia algunas poblaciones permitirían la conservación de una alta proporción de la variabilidad genética. También han indicado que en general el manejo *in situ* y el cultivo tradicionales por campesinos indígenas es altamente conservador de la diversidad genética, que existe un elevado flujo génico entre las poblaciones, y que las estrategias tradicionales de manejo son clave para la conservación *in situ* de la diversidad genética.

Los estudios sobre biología reproductiva que se han realizado en cactáceas columnares revelan que en general el sistema reproductivo de éstas es autoincompatible (véase Valiente-Banuet *et al.*, 1996, 1997; 2002a; 2006; Casas *et al.*, 1999; Cruz y Casas 2002; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003; Oaxaca-Villa *et al.*, 2006), lo cual resalta la importancia de mantener la variabilidad genética en las poblaciones como una medida para asegurar el éxito reproductivo. Esto es sobre todo importante en aquellas especies de cactáceas columnares que presentan reproducción vegetativa, en las cuales la baja variabilidad genética o la predominancia de clones pueden determinar una baja o nula reproducción sexual y, por lo tanto, producción de frutos. Dicha información, entonces, es clave para diseñar estrategias de aprovechamiento, conservación y/o restauración de poblaciones. Estos estudios también indican que la mayor parte de las especies es polinizada por murciélagos y que estos vectores permiten la conexión genética de poblaciones distantes, pues los murciélagos pueden moverse hasta 100 km en una sola noche (Horner *et al.*, 1998). Pero un grupo importante de especies que presentan antésis diurna son polinizadas por abejas, principalmente de los géneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis* y *Plabeia*, y posiblemente también por colibríes de los géneros *Amazilia* y *Cinanthus*. En estos casos la movilidad de los vectores es menor que la de los murciélagos involucrados en la polinización de las especies de antésis nocturna, pero los continuos de individuos pueden constituir puentes de conexión genética, cuya permanencia es de vital importancia para mantener el flujo génico vía polen. Todos estos estudios revelan la extraordinaria importancia de conservar a los polinizadores de cactáceas columnares como parte fundamental de los programas de conservación de tales plantas.

Los estudios de ecología de poblaciones, particularmente los estudios demográficos constituyen también herramientas sumamente útiles en la toma de decisiones sobre manejo. Este tipo de análisis permite evaluar la contribución relativa que tiene cada uno de los diferentes estadios de vida a la tasa finita de crecimiento (λ) de una población (Caswell 1989). Con ello es posible determinar las plantas de qué fases del ciclo de vida son factibles de aprovecharse y las plantas de qué fases se deben proteger, con la finalidad de aprovechar y conservar los recursos y asegurar su permanencia a largo plazo. Para el caso de las cactáceas columnares existen estudios demográficos de *Stenocereus thurberi* (Parker 1988), *Carnegiea gigantea* (Pierson and Turner 1998), *Pachycereus pringlei* (Bullock *et al.* 2005), *Neobuxbaumia tetetzo* (Godínez-Alvarez *et al.* 1999, 2002, 2004), *Escontria chiotilla* (Ortega 2001), *N. macrocephala* (Esparza-Olguín *et al.* 2002; Godínez-Alvarez *et al.* 2004), y *Polaskia chichipe* (Farfán-Heredia 2006). Un análisis de los patrones demográficos de este grupo de plantas se puede consultar en Godínez-Álvarez *et al.* (1999). Estos estudios muestran que en general las poblaciones estudiadas se encuentran creciendo a tasas (λ) superiores a 1, y que la permanencia es el principal parámetro demográfico para el mantenimiento del crecimiento de la población. El estudio de Farfán-Heredia (2006) con *Polaskia chichipe* generó simulaciones para analizar distintos niveles de cosecha y su efecto en el crecimiento de las poblaciones. En este caso el análisis encontró que aún bajo niveles de cosecha de entre el 60% y el 90% de los frutos las poblaciones podrían mantener su crecimiento. No obstante, la misma autora advierte que es necesario considerar las fuertes variaciones de las condiciones ambientales entre un año y otro, así como los costos de mantenimiento de los frugívoros y consumidores de semillas para poder hacer un cálculo más adecuado de tasas de cosecha sustentable.

Pero en la búsqueda de un marco de aprovechamiento sustentable es necesario considerar también que las poblaciones no son entes aislados, y que sus atributos demográficos son en parte producto de las múltiples interacciones (positivas y negativas) que mantienen con otros organismos. En el caso de las cactáceas columnares, diversos estudios muestran que generalmente éstas son componentes importantes de las comunidades en las que se distribuyen, frecuentemente siendo dominantes (Valiente-Banuet *et al.* 2000). También indican que dependen de la interacción con diversas especies de animales para llevar a cabo la polinización y la dispersión de semillas (Valiente-Banuet *et al.* 1996, 2002a; Gibson y Nobel 1986). Asimismo, los productos de las cactáceas asociados a la reproducción (néctar, polen, flores, frutos, semillas)

constituyen recursos muy importantes para poblaciones de diversas especies de murciélagos, abejas, aves y hormigas que se alimentan de ellos (Silva 1988; Valiente-Banuet *et al.* 1996; Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet 2000). Diversos estudios también han demostrado que las cactáceas columnares dependen de la interacción con otras especies de plantas consideradas como “nodrizas” para lograr el establecimiento exitoso de plántulas y la sobrevivencia de plantas juveniles. Ello es debido a los microambientes favorables que determinan en términos de protección contra la radiación, nutrientes y humedad en el suelo, así como de protección contra depredadores (Turner *et al.* 1966; Steebergh y Lowe 1969; Valiente-Banuet y Ezcurra 1991). Por todo lo anterior, en las estrategias de aprovechamiento es necesario incluir medidas que permitan conservar las interacciones más importantes que mantienen las poblaciones con el resto de la comunidad biótica (Valiente-Banuet *et al.* 1995; Vivar 2003; Farfán-Heredia 2006).

Economía y manejo sustentable

Junto con la ecología, la economía es la disciplina que quizás mayores retos tienen en relación con el logro de sociedades sustentables o estrategias de aprovechamiento y manejo sustentables, y por ello esta ciencia ha requerido del desarrollo de enfoques de investigación novedosos (Ludwig 2000; Kates 2001). El surgimiento de la economía ambiental ha fortalecido la capacidad de la ciencia económica para analizar al ambiente. Esta disciplina plantea como premisa que para proteger a los ecosistemas es de gran utilidad evaluar los costos del deterioro ambiental que produce una actividad económica (Ruesga y Durán 2000). Bajo una perspectiva similar la economía ecológica busca valorar el conjunto de atributos, recursos naturales y servicios ecosistémicos, así como el potencial económico desaprovechado o perdido como consecuencia de su depredación o sustitución (Vega 1997).

Con el fin de valorar la conservación, la economía ambiental plantea como una actividad prioritaria calcular el valor económico del medio ambiente, asignándole valores monetarios a los bienes y servicios ambientales (Bockstael *et al.* 1995; Vega-López 1997; Costanza *et al.* 1997; Bräuer 2003; Chee 2004). Esta premisa parte de considerar que los ecosistemas están formados por bienes (los recursos naturales) y servicios (servicios ambientales o ecosistémicos) que generalmente no son considerados en los modelos económicos. En el caso de los bienes y servicios ambientales considerados libres (por ejemplo el aire, el agua, el suelo, la polinización), su valor es poco reconocido y difícilmente equiparable en las mismas unidades en las que son

evaluados los bienes económicos, lo cual dificulta la asignación de un precio que regule su utilización (Ruesga y Durán 2000). El concepto de valoración económica de los recursos naturales parte de considerar que el medio ambiente no es un bien libre, aunque no existan mercados convencionales para los mismos, y que la valoración de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos es de la mayor importancia para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible. En términos de la economía ambiental, una valoración adecuada es aquella que incorpora el valor económico total de un recurso natural, incluyendo no sólo los valores directos e indirectos presentes, sino también futuros (valor de opción) derivados de su valor de uso y de su valor de no uso; es decir, el valor de existencia de los recursos naturales (Ruesga y Durán 2000).

Existen diversos trabajos en los que se han valorado tanto los recursos naturales como los servicios ambientales en términos monetarios. En el ámbito internacional destaca el trabajo realizado por Costanza *et al.* (1997), en el que se estima el valor económico de 17 servicios ecosistémicos para 16 biomas. Estos autores estimaron que los ecosistemas proveen un promedio de \$33 trillones de dólares en servicios anualmente. La mayor parte de los servicios valorados se encuentra fuera de los sistemas de mercado actuales, tal es el caso de la regulación de gases, la cual fue valorada en \$1.3 trillones de dólares al año. Otro ejemplo es la regulación de perturbaciones (resiliencia), la cual fue valorada en \$1.8 trillones de dólares al año, el ciclo de nutrientes fue valorado en \$17 trillones de dólares al año. Los sistemas marinos contribuyen con el 63% (\$20.9 trillones de dólares al año) del valor económico estimado. No obstante el gran esfuerzo por valorar los servicios ecosistémicos, existe una fuente enorme de errores que limitan dicha valoración económica (Costanza *et al.* 1997).

El sistema de estudio. Hipótesis

El escenario del presente estudio es la comunidad de Santiago Quiotepec, la cual se encuentra ubicada al noreste del estado de Oaxaca, en el municipio de Cuicatlán, dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. En su territorio la vegetación es predominantemente bosque tropical deciduo, jiotillal dominado por *Escontria chiotilla*, tetechera dominada por *Neobuxbaumia tetetzo* y cardonal dominado por *Pachycereus weberi* (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007). Existe un alto grado de transformación de los ecosistemas naturales, sobre todo en las áreas próximas al poblado, las cuales son resultado del interés humano por incrementar el área destinada a prácticas productivas, principalmente la agricultura y la ganadería

de libre pastoreo (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007). Para disminuir el impacto ambiental generado por estas actividades, diversos sectores de la comunidad y de las autoridades gubernamentales, así como ONGs e instituciones académicas, han considerado la necesidad de generar propuestas alternativas de manejo basadas en criterios de sustentabilidad que permitan crear mejores condiciones para la conservación y restauración de las áreas deterioradas, frenar la expansión de la frontera agrícola y generar opciones de ingresos económicos. Dentro de las posibles alternativas, el aprovechamiento de los productos forestales no maderables como los frutos de las cactáceas columnares puede desempeñar un papel relevante, como se discutió anteriormente.

En este contexto, la presente investigación partió de las siguientes premisas: (1) Con un adecuado plan de manejo basado en información ecológica, los recursos forestales no maderables podrían ser aprovechados de manera sustentable, considerando como sustentable un manejo de los recursos que busca aprovechar los recursos que es posible aprovechar sin que las poblaciones de recursos ni las comunidades bióticas en las que se encuentran pongan en riesgo su mantenimiento futuro, (2) el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales no maderables permitiría generar ingresos económicos que podrían mejorar la economía de las familias campesinas locales, y (3) los sistemas de aprovechamiento sustentable de recursos no maderables podrían sustituir prácticas productivas con efectos destructivos del ambiente y su reemplazo permitiría abatir tales efectos.

De manera más específica, en este estudio se partió de considerar que en los campos de cultivo establecidos en las áreas forestales de la zona existe una baja producción de maíz, la cual comprende en promedio 569 kg/ha/año en sistemas agrícolas de temporal, de acuerdo con Pérez-Negrón (2002). Aunado a ello, este cereal tiene un bajo precio en el mercado (\$2.20/kg, de acuerdo con SAGARPA 2006), así como un relativamente elevado costo de insumos (semilla, fertilizante, pesticidas) y de otros aspectos del proceso productivo, como la renta de la yunta y el pago de jornaleros. Todos estos elementos permiten suponer que el cultivo de maíz es poco rentable. En contraparte, en los diferentes tipos de vegetación de la zona existe una alta densidad de cactáceas columnares cuyos productos son aprovechados en el presente. Por ejemplo, Pérez-Negrón (2002) registró en el jiotillal un promedio de 300 ind/ha de *Escontria chiotilla*. En el cardonal, el mismo autor registró 490 ind/ha de *Pachycereus weberi* y en la tetechera se

regitraron 300 ind/ha de *Myrtillocactus geometrizans* y 1320 ind/ha de *Neobuxbaumia tetetzo*. Adicionalmente, los frutos de las especies mencionadas tienen valor en el mercado. Por ejemplo, Pérez Negrón (2002) encontró que los frutos de *Escontria chiotilla* valen \$25.46/kg, los botones florales de *Neobuxbaumia tetetzo* tienen un precio de \$11.25/kg, y las semillas de *Pachycereus weberi* valen en promedio \$180.00/kg en el mercado regional. Todos estos elementos permiten suponer que:

- (1) la extracción sustentable de frutos de cactáceas columnares por hectárea es más rentable y determina menor impacto ecológico que la agricultura temporalera de maíz.
- (2) la sustitución de prácticas agrícolas por extracción forestal es económicamente factible en las áreas de temporal.

Objetivos

Los propósitos generales del estudio fueron analizar el potencial de producción de frutos de cactáceas columnares en diferentes tipos de vegetación en Quiotepec, la importancia económica de los frutos de esas plantas y el valor económico de estos bosques por hectárea, las condiciones necesarias para una extracción sustentable, así como discutir la factibilidad de sustituir prácticas agrícolas por extracción forestal en las áreas de temporal.

Objetivos particulares:

- Estimar la producción de frutos por hectárea de *Escontria chiotilla*, *Pachycereus weberi*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Myrtillocactus geometrizans*, en las diferentes asociaciones vegetales en las que se encuentran estas especies en la zona (jiotillal de *Escontria chiotilla*, cardonal de *Pachycereus weberi* y tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*, *sensu* Valiente-Banuet *et al.* 2000).
- Delimitar la distribución espacial y estimar la superficie total que cubren las principales asociaciones vegetales (jiotillal de *Escontria chiotilla*, cardonal de *Pachycereus weberi*, tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*), que conforman los bosques de cactáceas columnares dentro del territorio de la comunidad de Santiago Quiotepec, con el fin de estimar la producción global de frutos de estas cactáceas dentro del territorio de la comunidad.

- Evaluar la importancia económica de cactáceas columnares en términos de extracción, consumo por las familias campesinas y mercado actual de sus frutos y estimar el valor económico de estos frutos en los diferentes tipos de asociaciones vegetales analizados y en el territorio de la comunidad.
- Analizar el potencial de extracción en un contexto sustentable, con base en análisis de la dinámica de las poblaciones de las especies estudiadas y de la información disponible sobre sus interacciones con otras especies de las comunidades en las que se encuentran.
- Analizar la factibilidad de sustituir las prácticas agrícolas por sistemas de extracción sustentable de frutos de cactáceas columnares en las áreas de temporal.

Resumen

La presente investigación se realizó en la comunidad de Santiago Quiotepec, Oaxaca, dentro de la Reserva de la Biosfera del Valle de Tehuacán-Cuicatlan. Se evaluó el potencial de producción de frutos por hectárea de las cactáceas columnares *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus weberi* y *Myrtillocactus geometrizans*, en tres asociaciones de bosque de cactáceas columnares, jiotillal dominado por *E. chiotilla*, cardonal dominado por *P. weberi* y tetechera dominado por *N. tetetzo*. Se documentó la importancia que tienen los frutos de estas cactáceas como complemento de la dieta familiar, las tasas actuales de extracción, y su valor económico total por hectárea. Se delimitó su distribución espacial y se estimó la superficie total que cubre cada una de las unidades ambientales dentro del territorio de la comunidad. Se analizaron las condiciones para una extracción sustentable de frutos y su importancia potencial en el mercado regional. Las cactáceas columnares representan recursos cuyo aprovechamiento puede ser más sustentable que las prácticas agrícolas y pecuarias predominantes en la zona. La producción anual de frutos por hectárea es de 221.6 kg/ha de *P. weberi*, 29.9 kg/ha de *E. chiotilla*, 6.1 kg/ha de *N. tetetzo* y 2.6 kg/ha de *M. geometrizans* en el cardonal, 17.4 kg/ha de *P. weberi*, 97.5 kg/ha de *E. chiotilla* y 4.4 kg/ha de *M. geometrizans* en el jiotillal, en la tetechera 21.3 kg/ha de *P. weberi*, 3.3 kg/ha de *E. chiotilla*, 237.6 kg/ha de *N. tetetzo* y 1.0 kg/ha de *M. geometrizans*. El cardonal cubre 2,170 ha, el jiotillal 320 ha, la tetechera 1,070 ha. Las tasas actuales de extracción de frutos en Santiago Quiotepec representan tan sólo el 0.17% de la producción global de frutos dentro del territorio de la comunidad. El valor económico total por hectárea de los frutos de *E. chiotilla*, *N. tetetzo* y *P. weberi* en el cardonal es de \$3,465.75, en el jiotillal es de \$2,691.15 y en la tetechera es de \$1,910.78. Mientras que los ingresos anuales que se obtienen por hectárea de maíz de temporal son del orden de \$1,252.00. Se construyeron modelos demográficos para *E. chiotilla* y *N. tetetzo* con base en datos de estructura de tamaños en los sitios estudiados y las probabilidades de transición y fecundidad calculados en otros estudios dentro de la región. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a las estructuras poblacionales observadas y las esperadas en las poblaciones estables predichas por los modelos. Esto indica que las estructuras observadas no se encuentran en equilibrio; no obstante, los valores de λ indican que las poblaciones están en crecimiento. De acuerdo con los modelos demográficos desarrollados a nivel poblacional, en el jiotillal es posible extraer 70% de los frutos de *E. chiotilla* y en la tetechera 95% de los frutos sin que el valor de λ sea menor a la unidad en ambos casos. Sin embargo, estas tasas no son recomendables pues el modelo no considera las

variaciones ambientales interanuales ni el volumen de frutos que consumen los frugívoros de la región. Bajo un enfoque de manejo más conservador, considerando la frugivoría y las fluctuaciones ambientales se consideró pertinente modelar tres escenarios de cosecha basados en el 50%, 25% y 10% de los frutos. Estos modelos se discuten en el marco de un manejo adaptativo con miras en la sustentabilidad. En términos del grado de sustentabilidad, el modelo con mayor grado de sustentabilidad está representado por el modelo con 25% de extracción. Sin embargo, el modelo con mayores ingresos económicos está representado por el modelo con 50% de extracción de frutos. En términos generales, los sistemas alternativos con 50%, 25% y 10% de extracción de frutos, son más sustentables que el sistema de maíz de temporal. Se discute la posibilidad de lograr bajos impactos en la cosecha de frutos a partir de ampliar la superficie de recolección y discutir la viabilidad de los modelos tecnológicos de estos sistemas a partir de monitoreos en campo tomando como base el concepto de manejo adaptativo. También se discute la posibilidad de aumentar la utilidad de la cosecha de recursos forestales no maderables a partir de agregarles valor a los productos. Con estas consideraciones, la cosecha sustentable de frutos de cactáceas columnares podría ser más sustentable que la agricultura temporalera de maíz en el área de estudio, y el diseño de sistemas de aprovechamiento que busquen agregar valor a los productos permitiría generar opciones productivas de bajo impacto ambiental capaces de mantener niveles dignos de bienestar social.

Abstract

The present investigation was carried out in the community of Santiago Quiotepec, Oaxaca, inside the Biosphere Reserve of the Tehuacán-Cuicatlan Valley. The potential of fruits production was evaluated by hectare of the columnar cactus *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus weberi* and *Myrtillocactus geometrizans*, in three associations of columnar cactus forest, jiotillal dominated for *E. chiotilla*, cardonal dominated for *P. weberi* and tetechera dominated for *N. tetetzo*. The importance was documented that have the fruits of these cactus like complement of the family diet, the current rates of extraction, and its economic total value for hectare. Their space distribution was defined and the total surface was estimatet for each one of the environmental units inside the territory of the community. The conditions for a sustainable extraction of fruits and their potential importance in the regional market were analyzed. The columnar cactus represents resources whose use can be more sustainable than the agricultural and cattle predominant practices in the area. The annual production of fruits for hectare is 221.6 kg/ha of *P. weberi*, 29.9 kg/ha of *E. chiotilla*, 6.1 kg/ha of *N. tetetzo* and 2.6 kg/ha of *M. geometrizans* in the cardonal, 17.4 kg/ha of *P. weberi*, 97.5 kg/ha of *E. chiotilla* and 4.4 kg/ha of *M. geometrizans* in the jiotillal, in the tetechera 21.3 kg/ha of *P. weberi*, 3.3 kg/ha of *E. chiotilla*, 237.6 kg/ha of *N. tetetzo* and 1.0 kg/ha of *M. geometrizans*. The cardonal sufase are 2,170 ha, the jiotillal sufase are 320 ha, the tetechera sufase are 1,070 ha. The current rates of extraction of fruits in Santiago Quiotepec only represents 0.17% of the global production of fruits inside the territory of the community. The economic total value for hectare of the fruits of *E. chiotilla*, *N. tetetzo* and *P. weberi* in the cardonal is of \$3,465.75, in the jiotillal is of \$2,691.15 and in the tetechera is of \$1,910.78. While the annual incomes that are obtained by hectare of temporal corn are of the order of \$1,252.00. Demographic models were built for *E. chiotilla* and *N. tetetzo* with base in data of structure of sizes in the studied places and the transition probabilities and fecundity was calculated in other studies inside the region. They were significant differences as for the populational observed structures and the prospective ones in the populations stable predictet for the models. This indicates that the observed structures are not in balance; nevertheless, the values of λ indicates that the populations are in growth. In accordance with the demographic models developed at populational level, in the jiotillal it is possible to extract 70% of the fruits of *E. chiotilla* and in the tetechera 95% of the fruits without the value of λ be smaller to the unit in both cases. However, these rates are not advisable because the pattern doesn't consider the interannual environmental variations neither

the volume of fruits that consume the frugivores of the region. Under a conservative management focus, considering the frugivoria and the environmental fluctuations was considered pertinent a model of sustainable crop based on 50% of the fruits to discuss. This model be discusses in the mark of a adaptive management. In terms of the sustentabilidad grade, it was determined that this model is more sustainable than the system of temporal corn. The monitoreo actions and evaluation of the pattern are discussed in the context of a adaptive management.

II. ÁREA DE ESTUDIO Y ESPECIES ESTUDIADAS

• Localización geográfica

La comunidad de Santiago Quiotepec ocupa una superficie de aproximadamente 49.3 km². Se encuentra ubicada al noreste del estado de Oaxaca, entre los 17° 54' de latitud norte y los 96° 59' de longitud oeste (Figura 1), a una altitud de 545 msnm (García, 1981). Se encuentra en la depresión denominada “Cañada Poblano-Oaxaqueña”, colindando al norte y oeste con la comunidad de Tecomavaca, al noreste con Coyula, al este con Concepción Pápalo, y al sur con Cuicatlán. Pertenece al Municipio de Cuicatlán, formando parte de La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

• Clima

El clima es del tipo BSo(h')w''(w)(e)g, que corresponde a un clima semiárido, el más seco de los BS, en el que el coeficiente P/T se encuentra por debajo del punto crítico de 22.9. Presenta un régimen de lluvias de verano, con una precipitación media anual de 508.4 mm, y una temperatura media anual de 25.1 °C (Cuadro 1) (García, 1981). En Santiago Quiotepec se encuentran el río Grande, el río Salado, el río Cacahuatal, y el río Chico. Los ríos Grande y Salado se unen para formar el río Santo Domingo, el cual es tributario del Papaloapan. La presencia de estos ríos permite que la comunidad cuente con una amplia red de canales de riego para la agricultura.

Cuadro 1. Temperatura y precipitación de Santiago Quiotepec registrados durante 12 años (García, 1981). En negritas se indican los niveles máximos.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom	
T °C	21.2	22.7	25.7	28.0	28.9	27.9	25.8	26.6	26.1	24.5	22.6	21.0	25.1
P mm	2.8	1.1	3.0	12.0	40.0	100.2	121.2	64.1	99.0	57.6	6.5	0.9	508.4

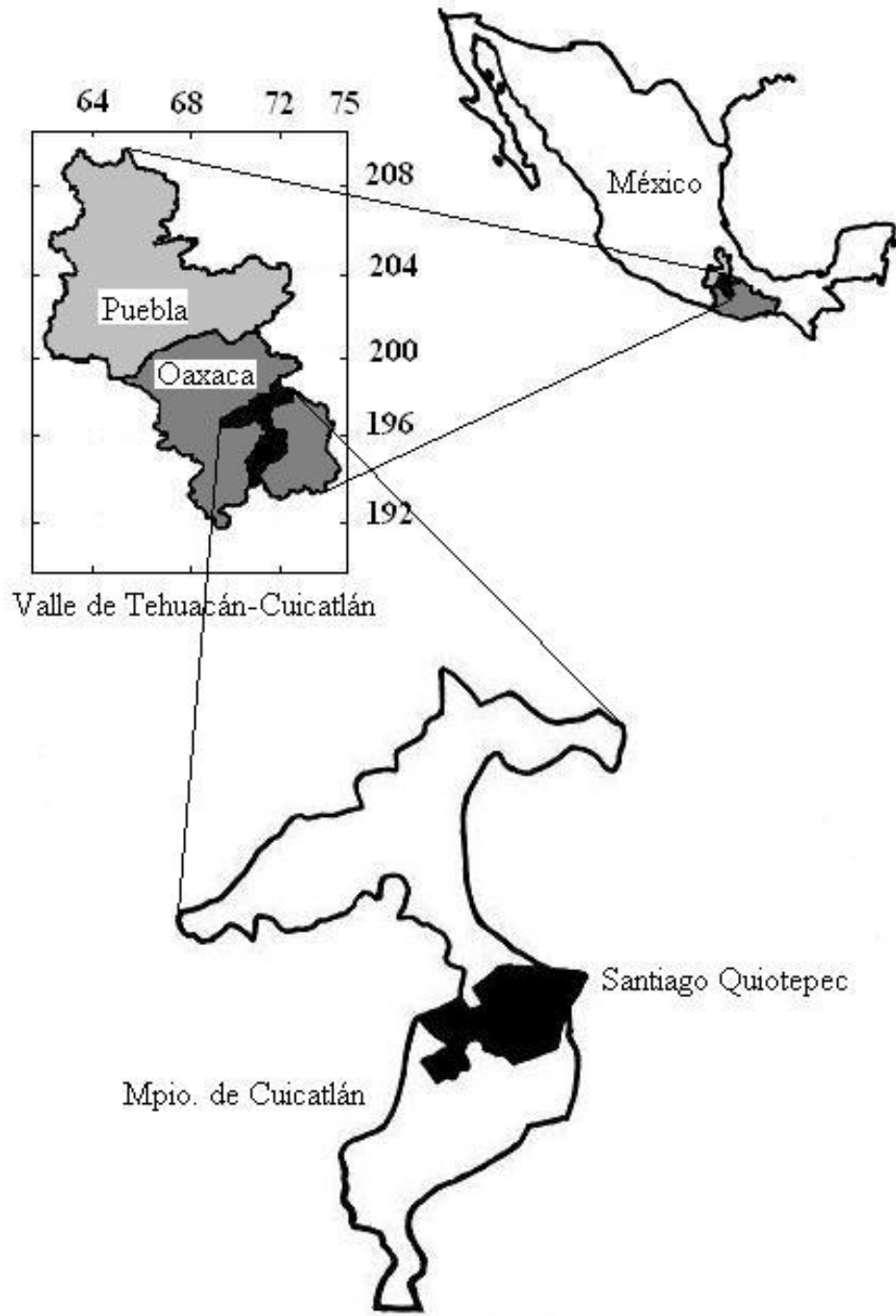


Figura 1. Localización geográfica de la comunidad de Santiago Quiotepec en el municipio de Cuicatlán, Oaxaca, dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Vegetación

La vegetación de Quiotepec es predominantemente bosque tropical decíduo, jiotillal, tetechera, cardonales dominados por *Pachycereus weberi* y bosque de galería, de acuerdo con los tipos de asociaciones vegetales descritos por Valiente-Banuet *et al.* (2000).

Los jiotillales de *Escontria chiotilla* de esta zona incluyen en los estratos arbóreo y arbustivo las siguientes especies: *Mimosa luisana*, *Acacia cochliacantha*, *Echinopterys eglandulosa*, *Lippia graveolens*, *Opuntia pilifera*, *Karwinskia mollis*, *Solanum tridynamum*, *Senna wislizenii* y *Opuntia puberula*. Mientras que en el estrato herbáceo se encuentran presentes: *Urochloa fasciculata*, *Gomphrena decumbens*, *Coursetia caribaea*, *Sida abutifolia*, *Parthenium bipinnatifidum*, *Gonolobus* sp., *Acalypha* sp., *Euphorbia macropus*, *Cathestecum varium*, *Desmodium axillare*, *Tragus berteronianus* y *Aristida adscensionis* (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007).

Estudios previos de Pérez-Negrón (2002) registraron en los jiotillales densidades de 300 ind./ha de *Escontria chiotilla*, 40 ind./ha de *Pachycereus weberi*, 30 ind./ha de *Stenocereus pruinosus*, 10 ind./ha de *S. stellatus*.

Las especies presentes en los estratos arbóreo y arbustivo de la tetechera de *Neobuxbamia tetetzo* son: *Viguiera pinnatilobata*, *Juliania adstringens*, *Pedilanthus tehuacanus*, *Bursera aptera*, *Bursera schlechtendalii*, *Fouquieria formosa*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Echinopterys eglandulosa* y *Hechtia* sp. Mientras que en el estrato herbáceo se encuentran presentes: *Cathestecum varium*, *Physalis* sp., *Gonolobus* sp., *Urochloa fasciculata*, *Bouteloua curtipendula*, *Selaginella lepidophylla* y *Tradescantia monosperma* (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007). Pérez-Negrón (2002) registró en las tetecheras densidades de 1320 ind./ha de *Neobuxbamia tetetzo* y 300 ind./ha *Myrtillocactus geometrizans*.

Las especies presentes en los estratos arbóreo y arbustivo del cardonal de *Pachycereus weberi* en Quiotepec, son: *Opuntia pilifera*, *Parkinsonia praecox*, *Viguiera dentata*, *Lippia graveolens*, *Echinopterys eglandulosa*, *Solanum tridynamum*, *Escontria chiotilla* (220 ind./Ha), *Melochia pyramidata* y *Croton* sp. En el estrato herbáceo se encuentran presentes: *Parthenium bipinnatifidum*, *Cenchrus ciliaris*, *Aristida adscensionis*, *Setaria grisebachii*, *Chamaesyce* sp. y

Gomphrena sp. (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007). Pérez-Negrón (2002) documentó en los cardonales densidades de 490 ind. /ha de *Pachycereus weberi*, 220 ind. / ha de *Escontria chiotilla* y 170 ind. /ha de *Myrtillocactus geometrizans*.

Las especies presentes en los estratos arbóreo y arbustivo del Bosque de galería son: *Cedrela oaxacensis*, *Annona cherimola*, *Prosopis laevigata*, *Astianthus viminalis*, *Vellesia glabra*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Celtis pallida*, *Rauwolfia heterophylla*, *Citrus aurantifolia*, *Bauhinia* sp. (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007).

- **Economía campesina**

En Santiago Quiotepec la economía del 92% de las familias campesinas está basada en actividades agrícolas y pecuarias, el resto se dedica al comercio y a actividades secundarias. La producción de granos básicos (maíz, frijol) está destinada básicamente al autoconsumo. El tipo de agricultura predominante es la milpa de riego, siendo el sistema de policultivo la modalidad de cultivo utilizada con mayor frecuencia, con asociaciones de maíz-frijol y maíz-calabaza. La producción promedio anual de maíz en la comunidad asciende a 44.8 ton, mientras que el consumo promedio anual es de 75 ton; por lo tanto, deben importar 30.1 ton de maíz al año. Este hecho indica que la producción de maíz en esta comunidad es deficiente. En cuanto a la producción de frijol, la comunidad es autosuficiente, produciendo un promedio anual de 17.4 ton. La producción agrícola de temporal es marginal (en promedio 569 kg/ha) y su papel en la economía es complementaria para las familias que la llevan a cabo.

La fruticultura desempeña un papel central en la economía de muchas familias de Santiago Quiotepec, determinando sus principales ingresos monetarios. La comercialización de frutos como el limón, mango, chicozapote, papaya, zapote negro, anona y ciruela, representa una fuente importante de ingresos a la economía familiar, con los cuales cubren parte de sus necesidades básicas. Se estima una producción de 222 ton/año de limón, y el 60% de las familias producen esta fruta. El 36% de las familias producen mango, y se estima una producción de 40 ton/año (Pérez-Negrón 2002).

Desafortunadamente en ocasiones las familias campesinas no logran obtener ingresos económicos derivados de esta actividad, debido a condiciones ambientales y, con mayor

frecuencia, debido a los bajos precios de la fruta en el mercado, lo que ocasiona que no sea rentable para compensar el costo de la cosecha y del transporte de la fruta para su comercialización. Debido a estas razones, se sigue manteniendo el uso de un amplio espectro de recursos vegetales silvestres. El aprovechamiento de recursos vegetales silvestres es especialmente marcado en temporadas de escasez de productos agrícolas, cuando la mayor parte de los recursos vegetales silvestres son utilizados para el autoconsumo; sin embargo, muchos de estos recursos vegetales silvestres son comercializados en mercados regionales, proporcionando ingresos económicos que son utilizados para adquirir otros productos básicos. Es por ello que recursos vegetales silvestres como las cactáceas columnares tienen un aporte significativo en la economía campesina local.

- **Especies estudiadas**

***Escontria chiotilla* (weber) Rose.**

Esta especie recibe el nombre común de chonosle, quiotilla, jiotilla, chiotilla o xonostle. Su nombre común en cuicateco es **nún yaati**. De acuerdo con Casas *et al.* (2001) y Arellano y Casas (2003), los frutos de esta especie son comestibles, los tallos verdes sirven como forraje, los tallos secos se usan como leña y su madera se usa en la construcción de cercas; se promueve la presencia de la planta completa en los bordes de terrazas y de campos agrícolas para prevenir la pérdida de suelos. Es una planta arborescente, de 3 a 4 m de altura, con tronco corto y grueso de aproximadamente 40 cm de diámetro (Figura 2a). Las ramas son numerosas, de color verde oscuro, de 20 cm de diámetro, dicotómicas, con 7 u 8 costillas prominentes. Cuando envejecen, las ramas se retuercen característicamente en forma helicoidal. Las aréolas se encuentran muy próximas entre sí, y a menudo son confluentes; son de forma elíptica de 1 cm de longitud. Presentan de 3 a 5 espinas centrales, una mucho más larga, de hasta 7 cm de longitud; son rectas subuladas, ligeramente aplanadas, de color moreno grisáceo con la punta más oscura. Las flores se encuentran en la terminación de las ramas, son infundibuliformes, de 3 cm de longitud y de color amarillo. Los frutos son globosos de color café rojizo, de 3.5 cm de diámetro, presentan escamas translúcidas muy características (Figura 2c). Las semillas son de color negro y miden aproximadamente 15 mm de longitud. Esta especie se distribuye en los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Michoacán (Bravo-Hollis 1978). Se encuentra principalmente en el bosque tropical caducifolio y en matorrales xerófilos. Llega a formar asociaciones vegetales en las que la

especie es dominante con densidades elevadas. A esta asociación Valiente-Banuet *et al.* (2000) la denominaron jiotillal.

De acuerdo con Oaxaca-Villa *et al.* (2006), las flores de *Escontria chiotilla* presentan antésis diurna asincrónica. La mayor frecuencia de visitantes florales se presenta a las 12:00, y entre éstos los más frecuentes son las abejas *Apis mellifera* y *Bombus pensylvanicus*, así como colibríes como *Cynanthus sordidus* y *Amazilia violiceps*. El sistema reproductivo es autoincompatible. La producción de flores es continua a lo largo del año, no se observa un marcado pico de floración, aunque se registraron significativamente más flores en antésis en los meses de febrero y marzo. En los meses de mayo y agosto existe una mayor disponibilidad de frutos.

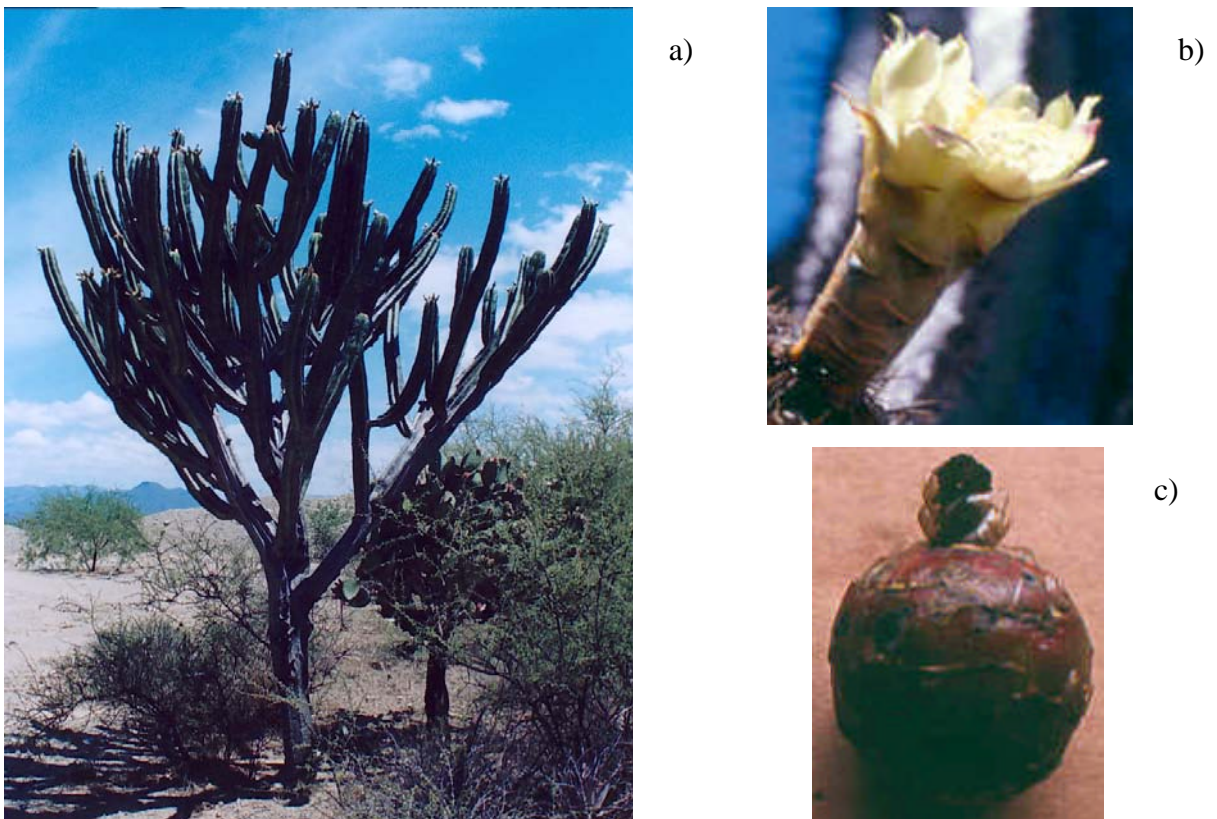


Figura 2. Aspecto de *Escontria chiotilla*. **a)** estructura del individuo, **b)** flor, **c)** fruto

Con base en análisis morfológicos, Arellano y Casas (2003) encontraron diferencias significativas entre poblaciones silvestres y manejadas *in situ* de *E. chiotilla*, especialmente en

caracteres de los frutos tales como tamaño, peso, cantidad de pulpa, número y tamaño de las semillas, cantidad y grosor de la cáscara. De acuerdo con estos autores, los valores promedio de estos parámetros son mayores en las poblaciones manejadas *in situ* y atribuyen tales diferencias al manejo *in situ*, ya que bajo este tipo de manejo se dejan en pie los individuos con características deseables al momento de abrir terrenos para la agricultura, favoreciendo con ello un aumento en la frecuencia de los fenotipos deseados por la gente (Arellano y Casas 2003).

De acuerdo con estudios de genética de poblaciones realizados por Tinoco (2002), las poblaciones de *E. chiotilla* manejadas *in situ* presentan ligeramente menor variación genética que las poblaciones silvestres. El manejo *in situ* de esta especie ha ocasionado también cambios importantes en la estructura genética de las poblaciones, ya que dicha forma de manejo consiste en dejar en pie únicamente aquellos individuos que poseen atributos deseables en sus frutos (Tinoco *et al.* 2005; Arellano y Casas 2003). Sin embargo, los efectos de esta práctica de manejo se ven contrarrestados por el elevado flujo génico vía polen que existe entre las poblaciones silvestres y manejadas *in situ*, así como por el flujo génico vía semillas que se presenta por medio de las aves, las cuales dispersan semillas de una población a otra (Tinoco 2002).

Ortega (2001) analizó el establecimiento de *E. chiotilla* bajo diferentes plantas nodrizas y distintas superficies edáficas. Evaluó el efecto del tipo de superficie edáfica y del microambiente en la tasa de germinación de las semillas, encontrando que bajo condiciones de laboratorio la capacidad germinativa de las semillas fue de $19.7\% \pm 1.94$, mientras que en condiciones naturales fue muy baja ($1.38\% \pm 0.13$) e influida por el tipo de superficie edáfica. Este autor observó que la densidad de individuos de *E. chiotilla* también varía de manera significativa entre las superficies edáficas. Encontró que las especies de nodrizas a las cuales se asocia *E. chiotilla* con mayor frecuencia son: *Acacia cochliacantha*, *Mimosa luisana* y *Mimosa polyantha*. También analizó aspectos demográficos de esta especie en dos superficies edáficas, encontrando que la tasa finita de crecimiento (λ) no presentó diferencias significativas con respecto a la unidad en las diferentes superficies edáficas estudiadas. Los análisis de elasticidad revelaron que el aspecto demográfico más importante es la permanencia.

Vivar (2003) realizó un análisis de la sustentabilidad en el manejo del jiotillal en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Analizó la estructura de la vegetación de los jiotillales bajo condiciones

de manejo intensivo y silvestre, con la finalidad de evaluar si las actividades humanas en estos sistemas representan prácticas de aprovechamiento sustentable. Dicho análisis se enfocó en las especies que son dejadas en pie y en las plantas perennes que fungen como nodrizas. La comparación de los sistemas se realizó con base en: riqueza de especies, diversidad de Shannon, similitud de Jaccard entre sistemas manejados y silvestres. Encontró que los jiotillales silvestres presentan una mayor diversidad de especies con respecto a los manejados, los cuales presentan una disminución del 24.2 al 57.9%, mientras que los cercanos a los centros de población fueron los que presentaron menor riqueza de especies. Documentó que existe una tendencia a aumentar el número de especies útiles en los jiotillales manejados.

***Pachycereus weberi* (Coult.) Backeberg**

Esta especie recibe el nombre común de cardón o candelabro. Su nombre común en cuicateco es **nún nooó**. De acuerdo con Casas *et al.* (2001), los frutos de esta especie son comestibles y también se usan para preparar una bebida alcohólica fermentada a manera de vino denominada “**nochoctli**”, en náhuatl. Sus semillas tienen un importante mercado regional ya que se usan para preparar tesmole, un tipo de salsa muy apreciada por los pobladores del área. Sus tallos secos se utilizan como leña y para la construcción, y sus ramas verdes se utilizan como forraje. Es una planta arborescente de aspecto candelabroforme que llega a medir hasta 10 m de alto. Su tronco principal es leñoso y está bien definido, es bastante grueso y llega a medir hasta 2 m de alto (Figura 3a). Presenta numerosas ramas largas y verticales, de aproximadamente 20 cm de diámetro, de color verde glauco, con 10 costillas separadas por senos profundos. Las aréolas se encuentran a una distancia de 2 a 3 cm entre sí, son grandes y ovales, con fieltro blanco grisáceo. Tienen 6 a 12 espinas radiales de 1 a 2 cm de largo, éstas son relativamente más gruesas que en otras especies y engrosadas en la base. Presentan 1 espina central que mide hasta 10 cm de largo, es gruesa y algo aplanada, al principio de color café rojizo casi negro, después grisácea. Las flores son infundibuliformes de 8 a 10 cm de largo, de color blanco, se desarrollan en aréolas laterales (Figura 3b). Los frutos son globoso, y miden de 6 a 7 cm de diámetro, presentan abundantes espinas setosas de color amarillento. Al madurar el fruto se abre, generalmente en cuatro partes, exponiendo la pulpa color rojo púrpura y las semillas negras (Figura 3c). Esta especie se distribuye en los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero (Bravo 1978). Se le encuentra principalmente en bosque tropical caducifolio.

De acuerdo con Valiente-Banuet *et al.* (1997) la floración de *P. weberi* ocurre de noviembre a febrero, presentando un pico de floración en el mes de febrero, mientras que la fructificación se presenta de febrero a marzo. La antésis es nocturna y su sistema de cruzamiento es autoincompatible. De acuerdo con los autores mencionados, las flores son polinizadas por los siguientes murciélagos: *Leptonycteris curasoae*, *Leptonycteris nivalis*, *Choeronycteris mexicana*, *Stumira liliium*, *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus intermedius*, *Chiroderma salvini*, *Glossophaga soricina*.

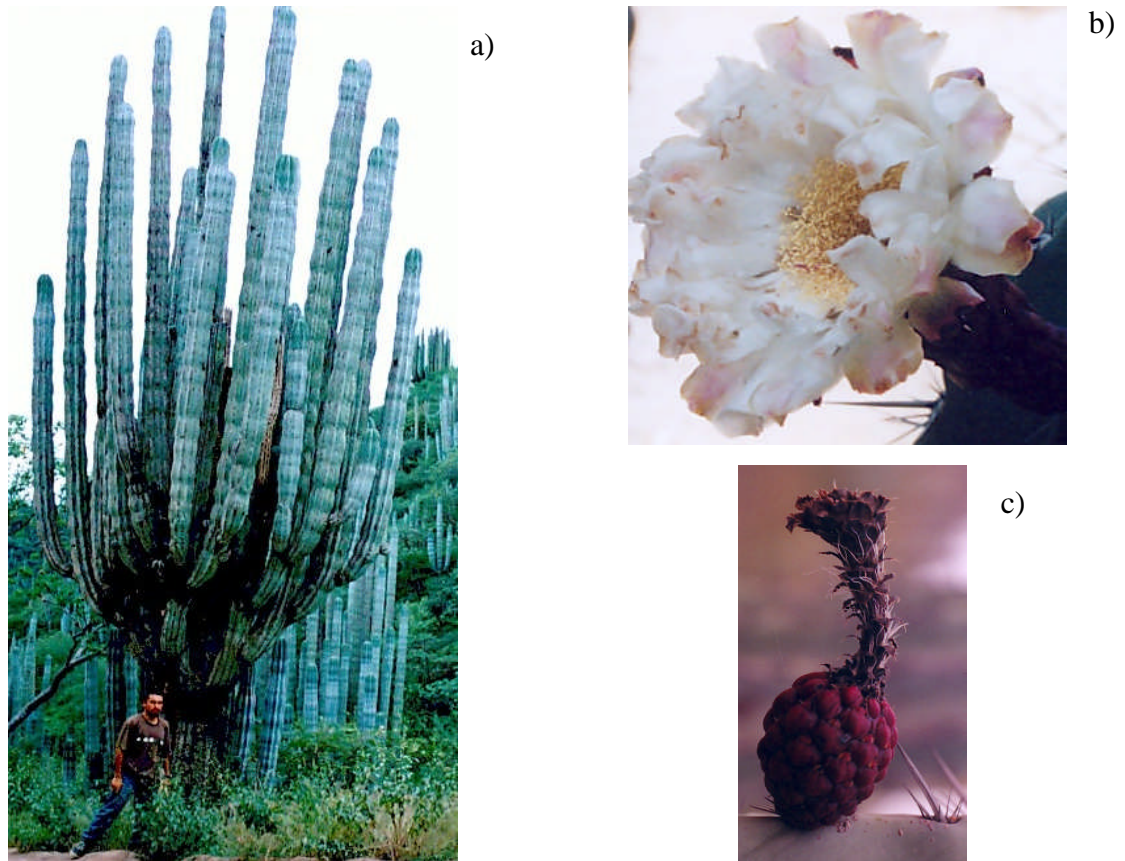


Figura 3. Aspecto de *Pachycereus weberi*. **a)** estructura del individuo, **b)** flor, **c)** fruto

Neobuxbaumia tetetzo (Coulter) Backeberg

Esta especie recibe el nombre común de teteche, tetecho o tetecha. De acuerdo con Casas *et al.* (2001), los botones florales y frutos de esta especie son comestibles, sus tallos secos se usan como leña y en la construcción de tejados y cercas, y sus tallos verdes se usan como forraje. Es

una planta arborescente de 1.5 a 15 m de alto, generalmente poco ramificadas, su tronco principal mide de 9 a 60 cm de diámetro (Figura 4a). Sus ramas son de color verde grisáceo claro, y presentan de 13 a 17 costillas, a veces más; los podarios de las costillas están ligeramente elevados, llevando las aréolas en su parte superior, y provistos debajo de éstas, de una depresión obdeltoidea fuertemente marcada. Las aréolas se encuentran separadas entre sí a una distancia de 7 a 35 mm, y miden de 10 a 15 mm de longitud. Son obovadas, ovadas o casi redondeadas, provistas de abundante fieltro moreno hasta amarillento claro cuando jóvenes, después grisáceo. Presentan de 7 a 12 espinas radiales, las cuales miden de 5 a 20 mm de largo y de 1 a 3 espinas centrales, la de mayor longitud llega a medir hasta 4 cm. Las flores son tubular-infundibuliformes, de 5.5 cm de longitud, de color blanco verdoso y nacen en el ápice de las ramas. Los frutos son ovoides de hasta 4 cm de diámetro, de color verde algo rojizo y están provistos de podarios con escamas. Permanecen adheridos al tallo hasta que se secan. Las semillas son pequeñas, oblicuo-raniformes, de 2 mm de largo, de color moreno oscuro brillante. Esta especie se distribuye en los estados de Puebla y Oaxaca (Bravo 1978). Se encuentra principalmente en bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo, sobre suelos calizos.

Valiente-Banuet *et al.* (1996) reportaron que la floración de *Neobuxbaumia tetetzo* se presenta de abril a junio, y documentaron que la antésis de esta especie es nocturna. Sin embargo, estos autores registraron la afluencia de visitantes florales tanto diurnos (*Amazilia violiceps*, *Cynanthus sordidus*, *Apis mellifera* y *Melanerpes hypopolius*) como nocturnos (*Leptonycteris curasoae yerbabuenae*, *Choeronycteris mexicana*, *Artibeus jamaicensis yucatanicus*), y encontraron que los principales polinizadores son los murciélagos y que el sistema de cruzamiento de esta especie es autoincompatible.

Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet (1998) realizaron diversos análisis para determinar el comportamiento germinativo y el crecimiento de plántulas de diferentes especies de cactáceas del Valle de Tehuacán. Para el caso de *N. tetetzo* documentaron una germinación del 95% en el tratamiento control, la inmersión de estas semillas en diferentes concentraciones de ácido no incrementó la tasa de germinación, pero la tasa de germinación disminuyó significativamente cuando las semillas se colocaron durante 48 h en agua, mientras que la temperatura constante y las fluctuaciones de ésta no afectaron la tasa germinativa, y el tratamiento de escarificación redujo en un 50% la capacidad germinativa. Encontraron que la sombra tiene un efecto

significativo en el crecimiento de las plántulas de *N. tetetzo*, y que los elevados niveles de nutrientes presentes bajo las nodrizas no incrementan su tasa de crecimiento.

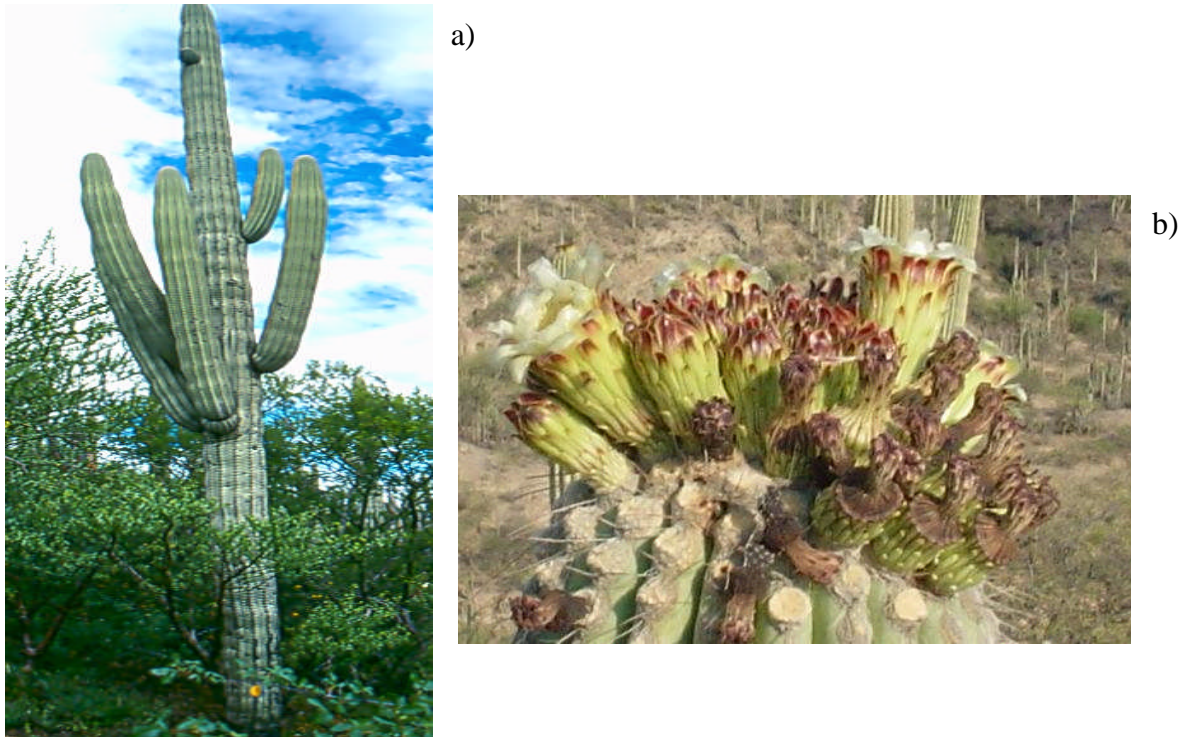


Figura 4. Aspecto de *Neobuxbaumia tetetzo* **a)** estructura del individuo, **b)** flor y fruto.

Godínez-Alvarez *et al.* (1999) analizaron la importancia de las interacciones bióticas en la dinámica poblacional de *N. tetetzo*, documentando que las semillas presentan una baja probabilidad de sobrevivencia (6.12×10^{-4}), debido a la depredación por las palomas *Columba livia*, *Columbina inca*, *C. passerina*, *Zenaida asiática* y *Z. macroura*, así como por una hormiga del género *Pogonomyrmex*. También encontraron que la principal causa de mortalidad de plántulas es la exposición directa a la radiación solar, y que la probabilidad de sobrevivencia incrementa para el resto de las categorías. Estimaron una tasa de incremento poblacional finita de 1.0, también encontraron diferencias en la estructura estable de edades que predecía el modelo y la estructura actual observada. Enfatizaron la importancia que tienen los murciélagos y aves como dispersores de semillas, ya que estos animales depositan las semillas bajo nodrizas.

Godínez-Alvarez *et al.* (2002) analizaron el rol de los dispersores de semillas en la dinámica poblacional de *N. tetetzo*, documentando que el sistema de dispersión es muy complejo, ya que existen diferentes especies de aves y mamíferos que consumen los frutos de esta especie y dispersan las semillas en diferentes cantidades y con diferente calidad. Por tal razón, estos animales frugívoros tienen un efecto directo en la dinámica poblacional de esta cactácea. Encontraron que *Leptonycteris curasoae* es el dispersor de semillas más importante para esta especie. Estos autores consideran que de acuerdo con su efectividad como dispersor de semillas y al impacto que tiene dicha actividad en la tasa finita de incremento poblacional, *Leptonycteris curasoae* puede representar una especie clave en la ecología de esta cactácea columnar.

***Myrtillocactus geometrizans* (Martius) Console.**

Esta especie recibe el nombre común de garambullo o padre nuestro. Su nombre común en cuicateco es **nún chidu**. De acuerdo con Casas *et al.* (2001) los frutos de esta especie son comestibles y también se preparan bebidas alcohólicas en espíritu o licores, se utiliza además como forraje, como leña, cerca viva y en el control de suelos. Esta planta es arborescente y llega a medir 4 m de altura, tiene un tronco corto bien definido abundantemente ramificado, formando una copa bastante amplia, como de 5 m de diámetro (Figura 5a).

Sus ramas son numerosas y llegan a medir de 6 a 10 cm de diámetro, presentando de 5 a 6 costillas con el margen redondeado. Sus aréolas son lanosas y se distancian entre sí 1.5 a 3 cm. Las espinas radiales y centrales son muy diferentes entre sí, las espinas radiales generalmente son 5, a veces 8 o 9, cortas de 2 a 10 mm de largo, de color rojizo cuando jóvenes, algo aplanadas o hinchadas en la base. La espina central es marcadamente más grande, de color negro, en forma de daga, aplanada lateralmente, y mide de 1 a 7 cm de largo y 6 mm de ancho. Las flores son pequeñas, de 2.5 a 3.5 cm de ancho, de color blanco verdoso, se desarrollan varias en la misma areola (Figura 5b). El fruto es pequeño de 1 a 2 cm de diámetro, globoso o elipsoide, de color moreno purpúreo, sin espinas (Figura 5b). Esta especie se distribuye en los estados de Tamaulipas hasta Oaxaca, Querétaro, Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí, Guerrero, Durango, Zacatecas, Jalisco y Michoacán (Bravo 1978). Se encuentra principalmente en bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo, con menos frecuencia en pastizal y bosque de *Quercus*. Florece en los meses de febrero y abril (Arias *et al.* 1997).

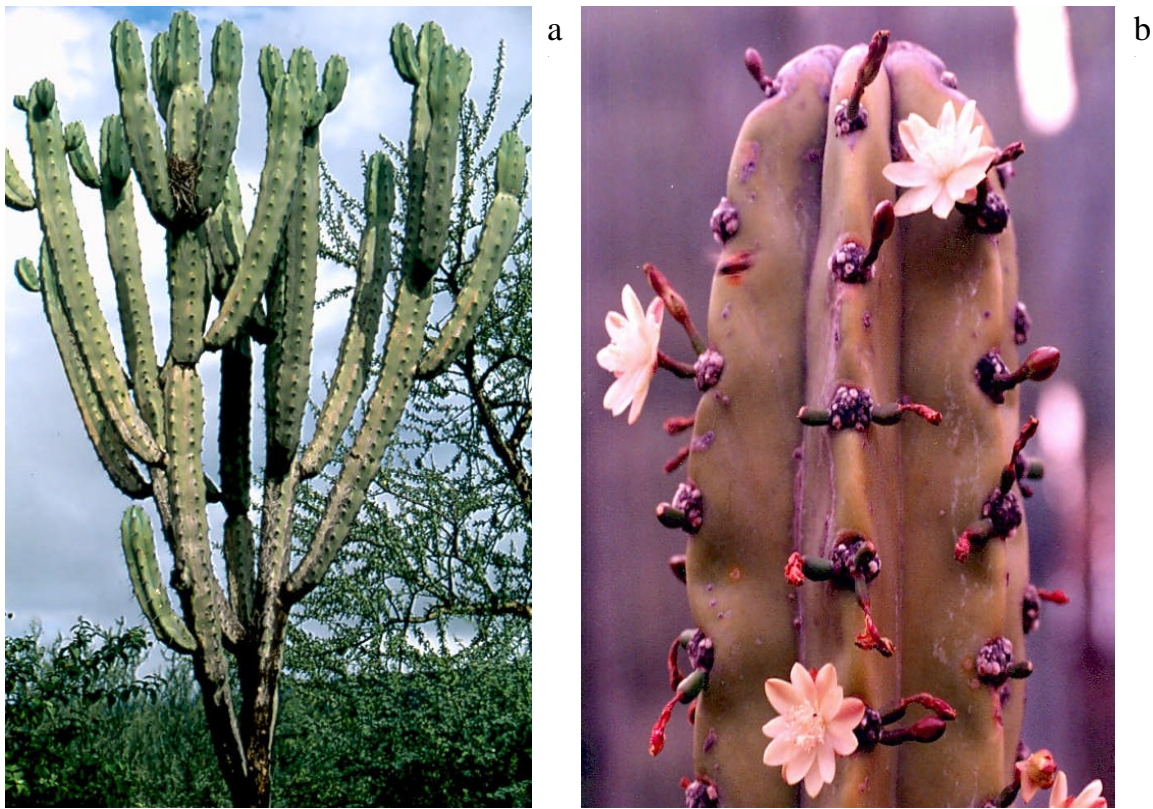


Figura 5. Aspecto de *Myrtillocactus geometrizans* a) estructura del individuo, b) flor y fruto.

- **Frugívoros**

En general, los frutos de las cactáceas columnares del Valle de Tehuacán, incluidos los de las especies estudiadas, son consumidos por diversas especies de aves y mamíferos. Entre las especies de aves frugívoras de la región, de acuerdo con Arizmendi y Espinosa de los Monteros (1996) y Arizmendi y Valiente-Banuet (2007) se encuentran *Ortalis poliocephala*, *Columba livia*, *Zenaida asiática*, *Zenaida macroura*, *Columbina incana*, *C. passerina*, *Geococcyx velox*, *Cyananthus sordidus*, *C. latirostris*, *Amazilia violiceps*, *Calothorax lucifer*, *C. pulcher*, *Archilochus colubris*, *Trogon elegans*, *Melanerpes hypopolius*, *Picoides scalaris*, *Colapses auratus*, *Calocitta formosa*, *Aphelocoma coerulescens*, *Corvus corax*, *Mimus polyglottos*, *Toxostoma curvirostre*, *Phainopepla nitens*, *Pheucticus chrysopleus*, *P. melanocephalus*, *Guiraca caerulea*, *Passerina versicolor*, *Pipilo albicollis*, *Aimophila mystacalis*, *A. humeralis*, *A. ruficeps*, *A. notosticta*, *Quiscalus mexicanus*, *Molothrus aeneus*, *Icterus wagleri*, *I. cucullatus*, *I. pustulatus*, *I. parisorum*, *Carpodacus mexicanus*, *Carduelos psaltria*.

Dentro de los mamíferos frugívoros destacan los murciélagos, los cuales juegan un papel clave como dispersores de semillas. Entre los murciélagos frugívoros presentes en el Valle de Tehuacán destacan *Macrotus waterhousii maxicanus*, *Glossophaga soricina handleyi*, *Anoura geoffroyi lasiopiga*, *Choeronycteris mexicana*, *Leptonycteris curasoae yerbabuenae*, *Leptonycteris nivalis*, *Sturnira lilium parvidens*, *Artibeus intermedius*, *Artibeus jamaicensis yucatanicus*, *Centurio senex senex*, *Chiroderma salvini scopaeum*, *Vampirops helleri* (Rojas-Martínez y Valiente-Banuet 1996), otros mamíferos como *Canis latrans*, e insectos como *Pogonomyrmex barbatus*, *Pheidole* sp., también se alimentan de estos productos, y la dispersión de semillas y el mantenimiento de las poblaciones y comunidades dependen fuertemente de estas interacciones (Godínez-Alvarez *et al.* 1999; Godínez-Alvarez *et al.* 2002; Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Unidades de muestreo

Se definieron 3 unidades de muestreo en los tipos de asociaciones vegetales en los que se encuentran presentes las especies estudiadas, los cuales incluyeron el jiotillal de *Escontria chiotilla*, el cardonal de *Pachycereus weberi* y la tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo*. En el cardonal y la tetechera se encontraron las cuatro especies estudiadas mientras que en el jiotillal estuvo ausente *Neobuxbaumia tetetzo*. En cada unidad se delimitó un cuadrante de una hectárea (100 x 100 m).

2. Estimación de la producción de frutos por hectárea

Para determinar la producción de frutos de *Pachycereus weberi* se contabilizó de manera directa la cantidad de frutos de los árboles que se encontraron dentro de las hectáreas muestreadas. Adicionalmente se colectó una muestra de 30 frutos maduros, los cuales se pesaron con el fin de estimar el peso promedio por fruto, así como el número y el peso promedio de las semillas por fruto. Esto último se realizó debido a que los frutos de esta cactácea columnar, son cosechados principalmente por sus semillas.

Para determinar la producción de frutos de *Myrtillocactus geometrizans* se contabilizó de manera directa la cantidad de frutos en los árboles que se encontraron dentro de las hectáreas muestreadas en el cardonal, jiotillal y tetechera. Se colectó una muestra de 30 frutos maduros, los cuales se pesaron con el fin de estimar el peso promedio por fruto.

En el caso de *Escontria chiotilla*, debido a la gran cantidad de frutos y ramas que presentan los individuos de esta especie, la estimación de la producción de frutos se hizo contabilizando el número de frutos maduros, así como el número de frutos inmaduros, el de flores y el de botones por rama de los individuos que se encontraron en dos subcuadrantes de 10 x 100 m (2000 m²). Se marcaron 100 botones y se observó la probabilidad de transición de botón a fruto maduro con el fin de estimar la cantidad de frutos posibles a partir del número de botones y flores contados. Debido al comportamiento fenológico de esta especie, se monitoreó la producción de frutos durante dos periodos del año (abril y octubre). Con estos datos se estimó el número promedio de frutos por punta de rama. Se contaron todas las puntas de ramas que se

encontraron en una hectárea (cuadrante de 100 x 100 m), y se estimó la producción de frutos por hectárea. Al igual que en las otras especies, se colectó una muestra de 30 frutos maduros, los cuales se pesaron con el fin de estimar el peso promedio por fruto.

Debido a la alta densidad de individuos de *Neobuxbaumia tetetzo* por hectárea y a la dificultad del conteo de frutos, para estimar la producción de frutos de esta especie, se contaron los frutos de los árboles que se encontraron en un subcuadrante de 10 x 100 m (1000 m²) y se estimó el número promedio de frutos por punta. Con base en esta información se contaron todas las puntas de rama que se encontraron en 4000 m², y con estos datos se estimó la producción de frutos por hectárea. Se colectó una muestra de 30 frutos maduros, los cuales se pesaron con el fin de estimar el peso promedio por fruto. También se determinó el peso de los botones florales debido a que son estas estructuras las que se comercializan principalmente.

Para estimar la producción de frutos en kilogramos por hectárea se determinó el peso promedio por fruto para cada una de las especies de interés. Debido a que los frutos de *P. weberi* generalmente no se comercializan como fruto fresco, y son sus semillas las que se comercializan con mayor frecuencia, se determinó tanto el número y peso promedio de éstas por fruto, así como el porcentaje que éstas representan del peso total de un fruto.

3. Distribución espacial, superficie total del jiotillal, cardonal y tetechera, y estimación de la producción global de frutos de estas cactáceas dentro del territorio de Santiago Quiotepec.

Por medio del análisis de cuatro ortofotos digitales escala 1:20,000 (INEGI 1995), así como mediante el uso de una carta topográfica escala 1:50,000 (INEGI 1981) y recorridos en campo, se generó el mapa de cobertura vegetal del territorio de Santiago Quiotepec. Las ortofotos digitales se ensamblaron con el programa ILWIS 3.1 para generar el mosaico. Posteriormente se interpretaron y se generó el mapa de polígonos, con el cual se determinó la distribución espacial y la superficie en hectáreas que ocupa cada una de las unidades ambientales dentro del territorio de Santiago Quiotepec. Con el mapa de polígonos generado se realizaron recorridos de campo con la finalidad de corroborar la posición y el estado de una muestra de 53 puntos y etiquetar correctamente los polígonos delimitados en las ortofotos. Para estimar la producción global de frutos en el territorio de Santiago Quiotepec, los datos de superficie de cada una de las unidades ambientales se multiplicaron por la producción de frutos por hectárea.

4. Evaluación de la importancia económica de las cactáceas columnares en términos de extracción, consumo y mercado.

Se realizaron encuestas a campesinos de la localidad, con el fin de evaluar la importancia económica actual de los frutos de las cactáceas columnares objeto de estudio (véase Anexo1). Se eligió una muestra al azar de 25 familias campesinas, que representan el 30% de las familias de la población estudiada, a las cuales se les preguntó sobre la cantidad de frutos que actualmente se extraen de cada una de las especies estudiadas por temporada reproductiva, la cantidad de frutos consumidos por unidad familiar, la cantidad de frutos que se comercializa, en dónde se comercializan y el valor que tienen. Se efectuaron además entrevistas a comerciantes en los principales mercados regionales (Cuicatlán, Santiago Quiotepec, San Juan los Cúes, Tecomavaca, Teotitlán del Camino, Zinacatepec, Ajalpan y Tehuacán), con el fin de evaluar la demanda de frutos de las cactáceas estudiadas, los precios a lo largo de la temporada, la procedencia de los productos y otros aspectos que permitieron evaluar el estado actual del mercado y analizar sus potencialidades (Anexo 1). Las unidades de medida empleadas por los comerciantes locales (litro, medida, ciento) fueron transformadas a su equivalente en kilogramos.

5. Matrices de proyección de crecimiento poblacional

Para el caso de *Escontria chiotilla* se construyó una matriz de transición con base en los datos generados por Ortega (2001) para la superficie edáfica denominada por el autor como “IIP”. Para el caso de *Neobuxbaumia tetetzo*, la matriz de transición se construyó a partir de los datos publicados por Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet (2004). Usando tales matrices de transición poblacional se realizaron las proyecciones poblacionales para determinar los valores de λ , utilizando el programa Pop Tools 2.7 para Microsoft Excel, se realizaron análisis de perturbación modificando las tasas de fecundidad en las matrices de transición para simular diversos regímenes de cosecha y observar los cambios en los valores de λ , con lo cual se determinaron los límites de extracción de frutos a nivel poblacional.

La estructura de tallas reales (observadas) se determinó midiendo todos los individuos que se encontraron dentro de las unidades de muestreo (1 hectárea en cada tipo de vegetación) y se clasificaron de acuerdo con las categorías propuestas por Ortega (2001), Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet (2004) para el caso de *Escontria chiotilla* y *Neobuxbaumia tetetzo*, respectivamente. La estructura de tallas estable (esperada) se obtuvo a partir de la proyección

poblacional (iteración de la matriz), utilizando el programa Pop Tools 2.7 para Microsoft Excel. Con ayuda del programa STATISTICA 6.1, se compararon las proporciones de las estructuras de tallas observadas y esperadas por medio de un análisis de X^2 con la finalidad de determinar si existían diferencias significativas entre las estructuras de las poblaciones observadas y las estructuras estables esperadas.

6. Análisis de sustentabilidad

Para el análisis de sustentabilidad se tomó como base el marco para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS) desarrollado por Masera *et al.* (1999). De acuerdo con este marco, se contemplaron las siguientes fases en el análisis:

Descripción de los sistemas de manejo evaluados. Se consideraron datos socio-económicos que permitieron caracterizar a la comunidad de Santiago Quiotepec como una comunidad rural en la que predominan las actividades económicas primarias. De un total de población de 250 habitantes, el 87% se dedica al sector primario (INEGI 2001). El cultivo de granos básicos se lleva a cabo predominantemente en el sistema milpa de riego, tanto en monocultivo como en policultivo; sin embargo, se sigue practicando el cultivo de la milpa de temporal. Los rendimientos son de 1.8 ton/ha de maíz de riego y 569 kg/ha de maíz de temporal (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas, 2007). El cultivo de maíz se destina principalmente al autoconsumo; sin embargo, cuando llegan a tener un excedente en la producción de maíz éste se comercializa principalmente dentro de la propia comunidad.

El análisis se enfocó en el sistema de manejo de maíz de temporal y sistemas alternativos de manejo (silvicultura de cactáceas columnares). Estos sistemas se diferencian por el tipo de manejo y destino de la producción: con y sin desmonte, con y sin labores de labranza, con y sin uso de insumos, autoconsumo y autoconsumo más comercialización.

Sistema de manejo de maíz de temporal. La producción de este sistema se destina al autoconsumo, se cultiva tanto en la modalidad de monocultivo como en policultivo de maíz-frijol y maíz-calabaza. Se siembra principalmente en laderas con pendiente pronunciada, las cuales se desmontan para su uso, practican diferentes periodos de rotación o descanso de la tierra, los

cuales van de 1 a 3 años. La fuerza de trabajo empleada es principalmente familiar, para las labores de labranza se utiliza tracción animal (yunta), utilizan semillas criollas y generalmente aplican agroquímicos (fertilizantes y pesticidas).

Sistemas alternativos de manejo (recolección de frutos de cactáceas columnares en poblaciones silvestres). Estos sistemas se plantearon como escenarios de aprovechamiento de recursos forestales no maderables hipotéticos, con base en la recolección del 10%, 25% y 50% de los frutos de las cactáceas columnares estudiadas, en los cuales una pequeña parte de la producción se destinaría al autoconsumo y el resto se comercializaría. Estos sistemas no requerirían transformar las unidades ambientales naturales, ni tampoco efectuar labores de labranza, ni periodos de rotación o descanso de la tierra. La fuerza de trabajo que se requeriría sería mucho menor que la empleada en el sistema de manejo de maíz de temporal y no se necesitaría aplicar ningún tipo de agroquímico.

Se definieron los puntos críticos y se seleccionaron los indicadores económicos, ambientales y sociales para cada escenario (Cuadro 2). Con base en los datos generados por Pérez-Negrón (2002) y Pérez-Negrón y Casas (2007), se asignaron los valores de los indicadores y se construyeron las gráficas de tipo ameba (Maserá *et al.* 1999). Los valores de los indicadores incluyen valores tanto cuantitativos como cualitativos.

Cuadro 2.- Criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad para evaluar los sistemas de manejo de recursos naturales (datos tomados de Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas, 2007).

Atributo	Puntos críticos	Criterio de diagnóstico	Indicadores	Área de evaluación
Productividad	Baja productividad agrícola	Eficiencia	Rendimiento de grano	Ambiental
	Baja rentabilidad		Utilidad	Económica
			Demanda de fuerza de trabajo	Económica
Equidad	Bajo nivel de acceso diferenciado	Equidad en el acceso a sistemas	Diferenciación en el acceso a insumos y sistemas	Social
Estabilidad	Diversidad biológica	Diversidad	No. de spp. presentes	Ambiental
			Índice de Shannon	Ambiental
	Riesgo	Variación interanual de lluvia	Variabilidad de la productividad de maíz	Ambiental
	Estabilidad del sistema	Mantenimiento de interacciones bióticas	Impacto en interacciones bióticas	Ambiental
Adaptabilidad	Adopción de nuevos sistemas	Capacidad de cambio e innovación	Aceptación del sistema	Social
Autogestión	Dependencia del exterior	Autosuficiencia	Grado de dependencia de insumos	Ambiental

IV. RESULTADOS

Potencial de Producción de frutos de las cactáceas columnares en los bosques de Santiago Quiotepec

El Cuadro 3 muestra el número de frutos producidos en promedio por individuos de las especies estudiadas. Los frutos de *Pachycereus weberi* contenían en promedio 809.6 (4.07 g) semillas por fruto. Se puede apreciar que en el cardonal están presentes las cuatro especies estudiadas, aunque *P. weberi* es marcadamente la especie dominante. El porcentaje de individuos reproductivos es superior al 30% en tres de las especies estudiadas, solamente en el caso de *N. tetetzo* los individuos reproductivos fueron alrededor del 24%. En este tipo de vegetación la producción total de frutos por hectárea fue de 260 kg.

Cuadro 3. Número de individuos reproductivos y frutos por hectárea en las unidades ambientales.

Unidad ambiental	<i>Pachycereus weberi</i>	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	<i>Escontria chiotilla</i>	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>
Individuos	452	43	95	97
Cardonal Individuos reprod	139 (30.7%)	13 (30.2%)	29 (30.5%)	23 (23.7%)
Frutos / ha	3,647	5,705	2,521	590
kg de fruta /ha	221.6	2.6	29.9	6.1
Individuos	17	6	155	0
Jiotillal Individuos reprod	4 (23.5%)	4 (66.7%)	39 (25.2%)	0
Frutos / ha	287	9,803	8,223	0
kg de fruta / ha	17.4	4.4	97.5	0
Individuos	28	350	125	2,630
Tetechera Individuos reprod	10 (35.7%)	50 (14.3%)	8 (6.4%)	1,380 (52.5%)
Frutos /ha	351	2,288	279	23,010
kg de fruta / ha	21.3	1.0	3.3	237.6
Peso promedio por fruto	60.764(±19.077 g)	0.449(±0.184 g)	11.851(±2.451 g)	10.324(±2.392 g)

En el jiotillal estuvo ausente *N. tetetzo*, y la dominancia de *E. chiotilla* es muy marcada, produciendo 8,223 frutos por hectárea. En esta asociación le sigue en importancia *P. weberi*, pues

aunque produce tan solo 287 frutos por hectárea su biomasa es mayor que la de *M. geometrizzans* que produce 9,803 frutos por hectárea. En la tetechera están presentes las cuatro especies, siendo marcadamente dominante *N. tetetzo*, produciendo cerca de 23,000 frutos por hectárea. En términos de biomasa comestible, aquí le siguen en importancia *P. weberi*, *E. chiotilla* y *M. geometrizzans*, produciendo 21.3, 3.3 y 1.0 kg/fruta/ha respectivamente.

Producción global de frutos dentro del territorio de Santiago Quiotepec.

En la Figura 6 se muestra el mapa de cobertura vegetal de la comunidad de Santiago Quiotepec. Se puede apreciar la distribución espacial de las diferentes unidades ambientales de la comunidad (cardonal, jiotillal, tetechera, cuajiotal, encinares, vegetación riparia y unidad antropogénica) y algunas variaciones de estas unidades (cardonal con cuajote, cardonal perturbado, jiotillal perturbado, cuajiotal con *Pilosocereus chrysacanthus*, cuajiotal con *P. weberi*, vegetación riparia con frutales, asentamientos humanos, vegetación secundaria, área sin vegetación aparente).

Con la finalidad de hacer un análisis más detallado de la distribución espacial y el estado de la cobertura vegetal, se subdividieron las unidades ambientales de la siguiente forma: la unidad ambiental cardonal se subdividió en cardonal, cardonal con cuajote y cardonal perturbado. La unidad ambiental jiotillal se subdividió en jiotillal y jiotillal perturbado. La unidad ambiental Cuajiotal se subdividió en cuajiotal con *Pilosocereus chrysacanthus* y cuajiotal con *P. weberi*. La unidad ambiental vegetación riparia se subdividió en vegetación riparia y vegetación riparia con frutales. La unidad antropogénica se subdividió en asentamientos humanos, cultivos, vegetación secundaria y área sin vegetación aparente. Se puede observar que en general las áreas con mayor grado de deterioro o transformación por actividades campesinas son zonas aledañas a los ríos, cerca de los asentamientos humanos.

En el Cuadro 4 se puede observar que las unidades ambientales más importantes en términos de extensión son: el cardonal de *Pachycereus weberi* con una superficie de 2,170 ha, representando el 44.02% del territorio de Santiago Quiotepec, seguido por la tetechera de *Neobuxbaumia tetetzo* con una superficie de 1,070 ha, lo cual representa el 21.7% del territorio.

El jiotillal presenta una superficie de 320 ha, representando el 6.49% del total del territorio. Estas tres unidades ambientales constituyen en conjunto el 72.21% del territorio de Santiago Quiotepec.

Cuadro 4. Superficie y porcentaje de cobertura vegetal.

Subunidades ambientales	Superficie en Ha	% del territorio
Cardonal	1640	33.27
Cardonal con cuajote	360	7.30
Cardonal perturbado	170	3.45
Total de cardonal	2170	44.02
Jiotillal	300	6.09
Jiotillal perturbado	20	0.41
Total de jiotillal	320	6.5
Tetechera	1070	21.70
Cuajjotal con Pilosocereus	600	12.17
Cuajjotal con P. weberi	60	1.22
Total cuajjotal	660	13.39
Vegetación riparia	90	1.83
Vegetación riparia con frutales	30	0.61
Total vegetación riparia	120	2.44
Encinares	50	1.01
Río	90	1.83
Playón	90	1.83
Asentamientos humanos	10	0.20
Cultivos	240	4.87
Vegetación secundaria	90	1.83
Área sin vegetación aparente	20	0.41
Total de unidades antropisadas	360	7.31

En el Cuadro 5 se presenta de manera detallada la estimación de la producción global de frutos dentro del territorio que ocupa la comunidad de Santiago Quiotepec. La estimación de la producción global de frutos asciende a 509.3 toneladas de *Pachycereus weberi*, 267.4 toneladas de *Neobuxbaumia tetetzo*, 99.6 toneladas de *Escontria chiotilla*, 8.1 toneladas *Myrtillocactus geometrizans*. Esta estimación de la producción de frutos corresponde a una superficie de 3560 hectáreas, que es donde estas especies son dominantes y conforman el cardonal, la tetechera y el jiotillal.

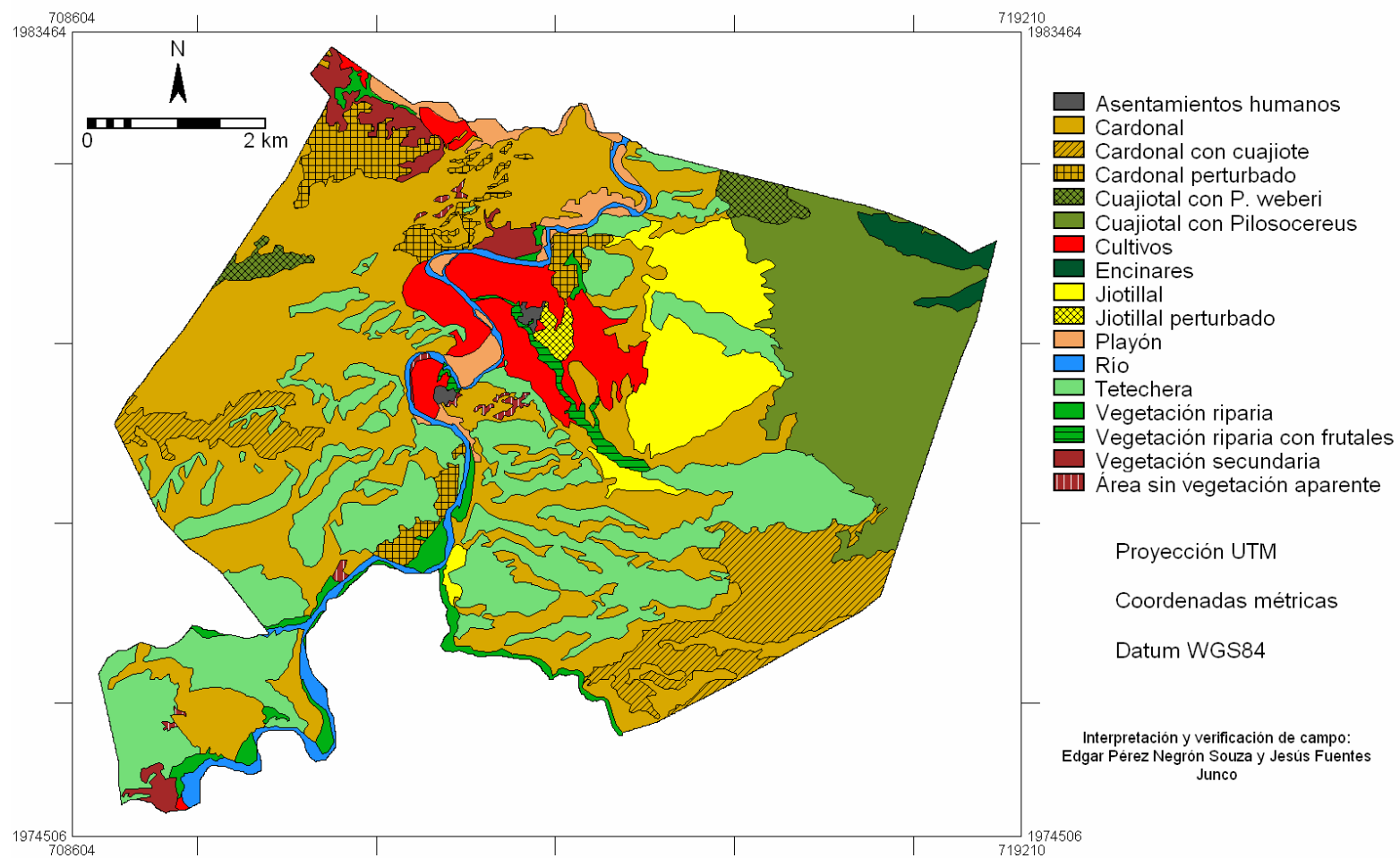


Figura 6. Mapa de cobertura vegetal de Santiago Quioitepec.

Cuadro 5. Producción global de frutos en el territorio de Santiago Quiotepec.

Especie	Cardonal (ton/año)	Tetechera (ton/año)	Jiotillal (ton/año)	Total (ton/año)
<i>Pachycereus weberi</i>	480.9	22.8	5.6	509.3
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	13.2	254.2	0	267.4
<i>Escontria chiotilla</i>	64.8	3.5	31.2	99.5
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	5.6	1.1	1.4	8.1

Importancia Económica de los frutos de cactáceas columnares

De acuerdo con la información recabada en los mercados locales de Ajalpan, Zinacatepec, Teotitlán, Tecomavaca, San Juan de los Cues, Santiago Quiotepec y Cuicatlán (Figuras 7 y 8), el precio de los frutos de *Escontria chiotilla* varía a lo largo de la temporada, entre mercados y dentro de un mismo mercado (Cuadro 6). Los precios por kg de jiotilla van de los \$16.00 a los \$40.00, siendo el precio promedio de \$25.46. Por otro lado, los botones florales de *Neobuxbaumia tetetzo* oscilan entre los \$5 y los \$20 por kg, alcanzando un precio promedio de \$11.25 kg. Mientras que la semilla de *Pachycereus weberi* se vende en \$10.00 por medida de 55.65gr; es decir, el kilogramo de semilla cuesta en promedio \$180.00. Para el caso de *Myrtillocactus geometrizans* no se registró la comercialización de sus frutos en los mercados locales.

En cuanto a la producción promedio de maíz por hectárea, ésta es de 1,800 kg en el sistema de riego y de 569 kg en el sistema de temporal (Pérez-Negrón 2002). Los gastos promedio en insumos y jornales (no se incluyen los jornales de la familia) por hectárea de maíz de temporal ascienden a \$851.25. Los ingresos promedio por hectárea de maíz de temporal son de \$1,252.00 ha/año.

Los frutos de cactáceas columnares extraídos en Santiago Quiotepec (Cuadro 7), representan ingresos promedio que alcanzan \$323.60 fam/año. Estos ingresos, representan el 25.8% de los ingresos promedio por familia obtenidos de la producción de maíz de temporal. En general los frutos que cosechan los pobladores de Santiago Quiotepec se destinan al autoconsumo; sin embargo, algunas familias mencionan que ocasionalmente llegan a vender frutos en el pueblo o incluso en otros pueblos para obtener algunos ingresos adicionales.

Cuadro 6. Precio promedio (en pesos) de los frutos, botones florales y semillas de *Escontria chiotilla* *Neobuxbaumia tetetzo* y *Pachycereus weberi*, respectivamente, en distintos mercados de la región.

Mercados	<i>Escontria chiotilla</i>	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	<i>Pachycereus weberi</i>
Ajalpan	30.28 ±4.06 (n=7)	10±2 (n=2)	
Teotitlán	30 ± 10 (n=2)	7.5±2.5 (n=2)	180 (n=1)
Tecomavaca	20 ± 0 (n=4)		
San Juan los Cues	28 ±0 (n=2)	17.5 ± 2.5(n=2)	
Coxcatlán	30 ±5.77 (n=4)	10 (n=1)	
Cuicatlán	20 ±0 (n=2)		
Quiotepec	20 (n=1)		
Promedio general	25.46±1.95	11.25±2.17	180



Figura 7.- Mercado de Teotitlán del Camino (venta de *Escontria chiotilla*).



Figura 8.- Mercado de Teotitlán del Camino, a) venta de *Escontria chiotilla*, b) venta de semilla de *Pachycereus weberi*.

Cuadro 7.- Extracción actual de frutos de cactáceas columnares en la comunidad de Santiago Quiotepec.

Especie	Consumo promedio kg/año/familia (n=25)	Ingresos	Consumo prom. kg/año/comunidad
<i>Escontria chiotilla</i> (fruto)	9.29 (\pm 9.62)	\$236.52	761.78
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> (botones florales)	2.81 (\pm 3.75)	\$31.61	230.42
<i>Pachycereus weberi</i> (semilla)	0.308 (\pm 9.04)	\$55.47	25.25
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (fruto)	0.11 (\pm 0.44)	-	9.02

La tasa actual de extracción de frutos de *Escontria chiotilla* por toda la comunidad de Santiago Quiotepec equivale a los frutos disponibles en una superficie de 7.8 hectáreas de jiotillal de un total de 320 hectáreas disponibles. Esta tasa de extracción representa tan sólo el 2.4% del potencial total disponible en el jiotillal. En el caso de *Neobuxbaumia tetetzo*, la tasa de extracción actual por la comunidad representa una superficie 1.7 hectáreas de tetechera de un total de 1,070 hectáreas disponibles, dicha extracción representa el 0.16% del total disponible en la tetechera. La tasa de extracción de frutos de *Pachycereus weberi* equivale a una superficie de 1.7 hectáreas

de cardonal de un total de 2,170 hectáreas de cardonal disponibles. Esta tasa de extracción representa tan sólo el 0.08% del potencial disponible de cardonal. No existe, sin embargo, información suficientemente clara sobre qué tan localizados o qué tan dispersos se encuentran en el espacio los sitios de recolección.

En el Cuadro 8 se muestran los datos del valor económico total de cada una de las especies estudiadas en las diferentes asociaciones vegetales donde predominan las cactáceas columnares en Santiago Quiotepec. Se puede observar que el valor económico total de los frutos de cactáceas columnares en una hectárea de cardonal es de \$3,465.75, mientras que el valor económico promedio de una hectárea de maíz de temporal es de \$1,252.00. Esta comparación permite observar que el valor económico total de los frutos de cactáceas columnares en una hectárea de cardonal es superior en un 63.9% con respecto al potencial económico de una hectárea de maíz cultivado bajo el sistema de temporal. De igual manera, el valor económico total de frutos de cactáceas columnares en una hectárea de jiotillal es superior en un 53.48% al potencial económico de una hectárea de maíz. En el caso de la tetechera el valor económico total de frutos de cactáceas columnares es mayor en un 34.48% al valor de una hectárea de maíz.

Cuadro 8.- Valor económico del total de botones, frutos y semillas de *N. tetetzo*, *E. chiotilla* y *Pachycereus weberi*, respectivamente en el territorio por hectárea

Unidad ambiental	Especie	Valor económico total / ha	Valor económico global de frutos
Cardonal	Cardón	\$2,664.00	\$5'780,880.00
	Jiotilla	\$761.25	\$1'651,912.50
	Tetecho	\$40.50	\$87,885.00
	Garambullo	-	-
	Total	\$3,465.75	\$7'520,677.50
Jiotillal	Jiotilla	\$2,482.35	\$794,352.00
	Cardón	\$208.80	\$66,816.00
	garambullo	-	-
	Total	\$2,691.15	\$861,168.00
Tetechera	Tetecho	\$1,569.37	\$1'679,225.90
	Cardón	\$257.40	\$275,418.00
	Jiotilla	\$84.01	\$89,890.70
	Garambullo	-	-
	Total	\$1,910.78	\$2'044,534.60
Total territorio			\$10'426,380.10

En la Figura 9 se esquematiza la red del comercio de frutos de cactáceas columnares que se documentó en el presente estudio. Se puede observar de dónde se extraen los frutos y en dónde se comercializan. En general se puede apreciar que el flujo comercial de los frutos es local, sin embargo, para el caso de Santiago Quiotepec no se presenta tal flujo. Esto puede deberse a que dichos recursos son muy abundantes en la comunidad de Santiago Quiotepec, así como, a la baja densidad poblacional que habita en esta comunidad.

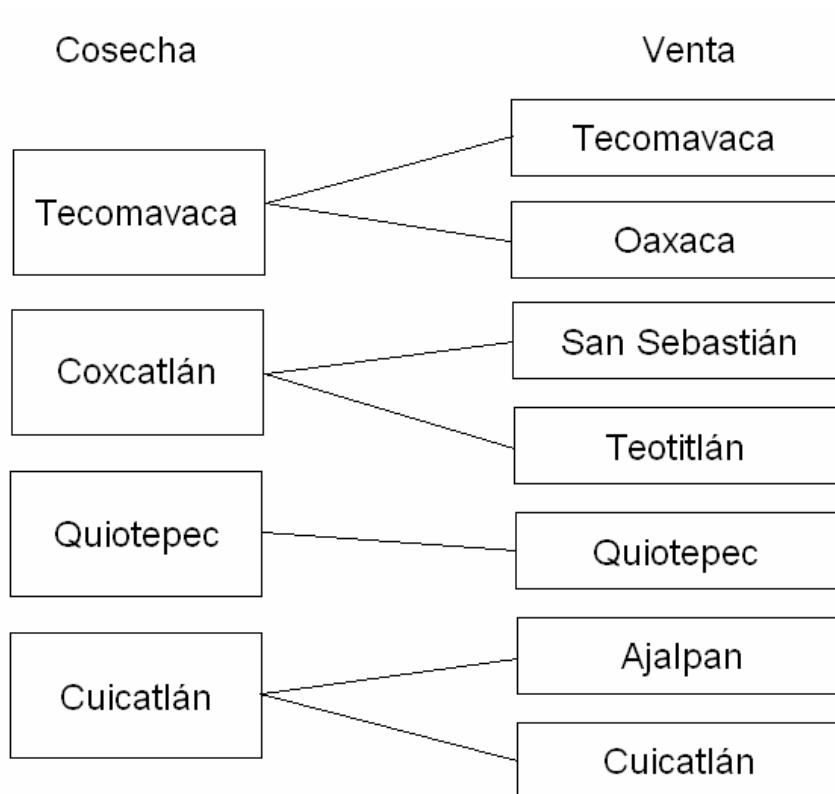


Fig 9.- Red comercial de frutos, botones florales y semillas de las cactáceas columnares estudiadas entre comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Los límites a la extracción de productos forestales

Estructura poblacional

Los Cuadros 9, 10 y 11 muestran la estructura de tallas de las especies estudiadas en cada una de las asociaciones vegetales (cardonal, tetechera, jiotillal). En el Cuadro 9 se observa que las

tres primeras clases de tallas de *P. weberi*, *N. tetetzo* y *E. chiotilla*, prácticamente no se encuentran representadas, mientras que las clases 12 de *P. weberi*, 11 de *N. tetetzo* y 9 de *E. chiotilla* son las mejor representadas en las poblaciones estudiadas en el cardonal.

Cuadro 9.- Estructura de tallas de *Pachycereus weberi*, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Escontria chiotilla* en el cardonal estudiado (muestreo de una hectárea).

Clase	Longitud (m)	# de indiv.	Longitud (m)	# de indiv.	Longitud (m)	# de indiv.
		<i>P. weberi</i>		<i>N. tetetzo</i>		<i>E. chiotilla</i>
1	0 – 0.02	0	0 – 0.02	0	0 - 0.05	0
2	0.021 – 0.080	3	0.021 – 0.080	0	0.051 - 0.100	0
3	0.081 - 0.150	0	0.081 - 0.150	1	0.101 - 0.150	0
4	0.151 – 0.450	47	0.151 – 0.450	7	0.151 - 0.200	1
5	0.451 – 1.000	84	0.451 – 1.000	7	0.201 - 0.300	3
6	1.001 – 1.500	35	1.001 – 1.500	4	0.301 - 0.500	5
7	1.501 – 2.500	31	1.501 – 2.500	3	0.501 - 0.800	9
8	2.501 – 3.500	23	2.501 – 3.500	7	0.801 - 1.000	8
9	3.501 – 4.500	33	3.501 – 4.500	12	1.001 - 2.000	25
10	4.501 – 5.500	46	4.501 – 5.500	16	2.001 - 3.000	13
11	5.501 – 6.500	58	5.501 – 6.500	22	3.001 - 5.000	23
12	>6.500	92	>6.500	18	>5.001	8

En el Cuadro 10 se observa que la clase 1 de *N. tetetzo* es la que presenta menor cantidad de individuos, mientras que las clases 8, 9, 10 y 11 son las que se encuentran mejor representadas en la población estudiada en la tetechera. Como se puede observar, los individuos de *P. weberi* prácticamente no se encuentran representados en esta unidad ambiental. También se puede observar que los individuos de *Escontria chiotilla* se encuentran muy poco representados en esta asociación vegetal.

En el Cuadro 11 se puede apreciar que las clases 1, 2, 3, 4 y 5 de *E. chiotilla* se encuentran muy poco representadas en la población estudiada en el jiotillal. En contraparte, la clase 9 fue la mejor representada en esta asociación vegetal. Por otro lado *P. weberi* no presentó ningún individuo en las tres primeras clases, y en general se encuentra muy poco representado en esta asociación vegetal.

En el Cuadro 12 se puede observar que tres de las cuatro especies presentes en el cardonal, presentan más del 30% de sus individuos en fase reproductiva. Para el caso de la asociación vegetal denominada tetechera, se puede apreciar que más del 50% de los individuos de *N. tetetzo* son reproductivos, mientras que el más del 60% de los individuos de *E. chiotilla* que se encuentran en el jiotillal son reproductivos.

Cuadro 10.- Estructura de tallas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus weberi* y *Escontria chiotilla* en la tetechera (muestreo de 4000m²).

Clase	Longitud (m)	# de indiv. <i>N. tetetzo</i>	Longitud (m)	# de indiv. <i>P. weberi</i>	Longitud (m)	# de indiv. <i>E. chiotilla</i>
1	0 – 0.02	2	0 – 0.02	0	0 - 0.05	1
2	0.021 – 0.080	26	0.021 – 0.080	0	0.051 – 0.100	5
3	0.081 - 0.150	22	0.081 - 0.150	0	0.101 – 0.150	4
4	0.151 – 0.450	45	0.151 – 0.450	1	0.151 – 0.200	2
5	0.451 – 1.000	30	0.451 – 1.000	0	0.201 – 0.300	7
6	1.001 – 1.500	21	1.001 – 1.500	0	0.301 – 0.500	5
7	1.501 – 2.500	67	1.501 – 2.500	0	0.501 – 0.800	7
8	2.501 – 3.500	126	2.501 – 3.500	2	0.801 – 1.000	2
9	3.501 – 4.500	227	3.501 – 4.500	1	1.001 – 2.000	9
10	4.501 – 5.500	221	4.501 – 5.500	3	2.001 – 3.000	4
11	5.501 – 6500	189	5.501 – 6500	2	3.001 – 5.000	4
12	>6.500	76	>6.500	2	>5.001	0

En los Cuadros 13 y 14 se muestran las matrices de transición poblacional de *Escontria chiotilla* y *Neobuxbaumia tetetzo* usadas para simular el efecto de diferentes regímenes de cosecha de frutos en los valores de λ . En la primera fila se muestran los valores de fecundidad, la diagonal superior muestra los valores de permanencia, mientras que la diagonal inferior muestra los valores de transición a la siguiente categoría. El valor de λ producto de la proyección de la matriz de transición poblacional de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cuadro 15) es de: $\lambda=1.07$, con un intervalo de confianza de 0.94-1.09 para el 95% (datos tomados de Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet 2004).

Cuadro 11.- Estructura de tallas de *E. chiotilla* y *P. weberi* en la hectárea de jiotillal (muestreo de 10,000m²).

Clase	Longitud (m)	# de indiv.	Longitud	# de indiv.
		<i>E. chiotilla</i>	(m)	<i>P. weberi</i>
1	0 - 0.05	1	0 - 0.02	0
2	0.051 - 0.100	2	0.021 - 0.080	0
3	0.101 - 0.150	3	0.081 - 0.150	0
4	0.151 - 0.200	4	0.151 - 0.450	2
5	0.201 - 0.300	4	0.451 - 1.000	2
6	0.301 - 0.500	12	1.001 - 1.500	2
7	0.501 - 0.800	13	1.501 - 2.500	2
8	0.801 - 1.000	6	2.501 - 3.500	2
9	1.001 - 2.000	38	3.501 - 4.500	1
10	2.001 - 3.000	27	4.501 - 5.500	1
11	3.001 - 5.000	25	5.501 - 6.500	2
12	>5.001	20	>6.500	3

Cuadro 12.- Total de individuos e individuos reproductivos de *Pachycereus weberi*, *Escontria chiotilla*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Neobuxbaumia tetetzo* por hectárea de cardonal, tetechera y jiotillal en Santiago Quiotepec, Oaxaca.

Aso. Vegetal	Especie	# Individuos ha	# Indv reproductivo ha
Cardonal	<i>P. weberi</i>	452	139 (30.7%)
	<i>E. chiotilla</i>	95	29 (30.5%)
	<i>M. geometrizans</i>	43	13 (30.2%)
	<i>N. tetetzo</i>	97	23 (23.7%)
Tetechera	<i>P. weberi</i>	28	10 (35.7%)
	<i>E. chiotilla</i>	350	8 (2.2%)
	<i>M. geometrizans</i>	350	50 (14.2%)
	<i>N. tetetzo</i>	2630	1390 (52.8%)
Jiotillal	<i>P. weberi</i>	17	4 (23.5%)
	<i>E. chiotilla</i>	155	39 (25.1%)
	<i>M. geometrizans</i>	6	4 (66.6%)

Cuadro 13.- Matriz de transición poblacional de *Escontria chiotilla* (tomada de Ortega 2001).

	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12
Clase 0	0											7.92	25.31
Clase 1	0.05	0.34											
Clase 2		0.41	0.45										
Clase 3			0.39	0.63									
Clase 4				0.33	0.55								
Clase 5					0.40	0.83							
Clase 6						0.17	0.80						
Clase 7							0.20	0.91					
Clase 8								0.09	0.65				
Clase 9									0.35	0.86			
Clase 10										0.14	0.91		
Clase 11											0.09	0.84	
Clase 12												0.16	0.88

Categorías por tamaño: clase 1 = 0-0.05 m; clase 2 = 0.101-0.150 m; clase 3 = 0.101-0.150 m; clase 4 = 0.151-0.200 m; clase 5 = 0.201-0.300 m; clase 6 = 0.301-0.500 m; clase 7 = 0.501-0.800 m; clase 8 = 0.801-1.000 m; clase 9 = 1.001-2.000 m; clase 10 = 2.001-3.000 m; clase 11 = 3.001-5.000 m; clase 12 = >5.001.

Cuadro 14.- Matriz de transición poblacional de *Neobuxbaumia tetetzo* (tomada de Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet 2004).

	se	sa	j	im	m1	m2	m3	m4	m5	m6
Se	0.76					8.7	14.9	22.4	28.2	29.3
Sa	0.07	0.89								
J		0.09	0.92							
Im			0.07	0.96						
m1				0.04	0.94					
m2					0.06	0.93				
m3						0.06	0.93			
m4							0.06	0.95		
m5								0.05	0.82	
m6									0.11	0.95

Categorías por tamaño: se = 0-15 cm; sa = 15.1-45 cm; j = 45.1-100 cm; im = 100.1-150 cm; m1 = 150.1-250 cm; m2 = 250.1-350 cm; m3 = 350.1-450 cm; m4 = 450.1-550 cm; m5 = 550.1-650 cm; m6 = \geq 650.1.

Como se muestra más adelante, los valores de λ indican que las poblaciones de ambas especies están en crecimiento. Sin embargo, en las Figuras 10 y 11 se puede observar que la proporción de individuos de diferentes tallas observada en campo y la proporción de tallas esperadas en la estructura estable de tamaños predicha por el modelo demográfico se encuentran prácticamente invertidas. Al analizar las estructuras de tallas observadas y esperadas por medio de una prueba de X^2 se encontraron diferencias altamente significativas tanto para *Escontria chiotilla* ($X^2 = 1622.206$, para 11 g.l., $p < 0.0000$) como para *Neobuxbaumia tetetzo* ($X^2 = 351974.1$, para 9 g.l., $p < 0.0000$). En ambos casos, entonces, es notorio que existe un bajo reclutamiento de plántulas, por lo que la estructura observada es inestable. Este aspecto es de particular importancia para entender las condiciones para el mantenimiento de las poblaciones; por ello, como se discute más adelante, identificar qué factor o factores determinan tal déficit resulta crucial para diseñar una estrategia de aprovechamiento de estos recursos.

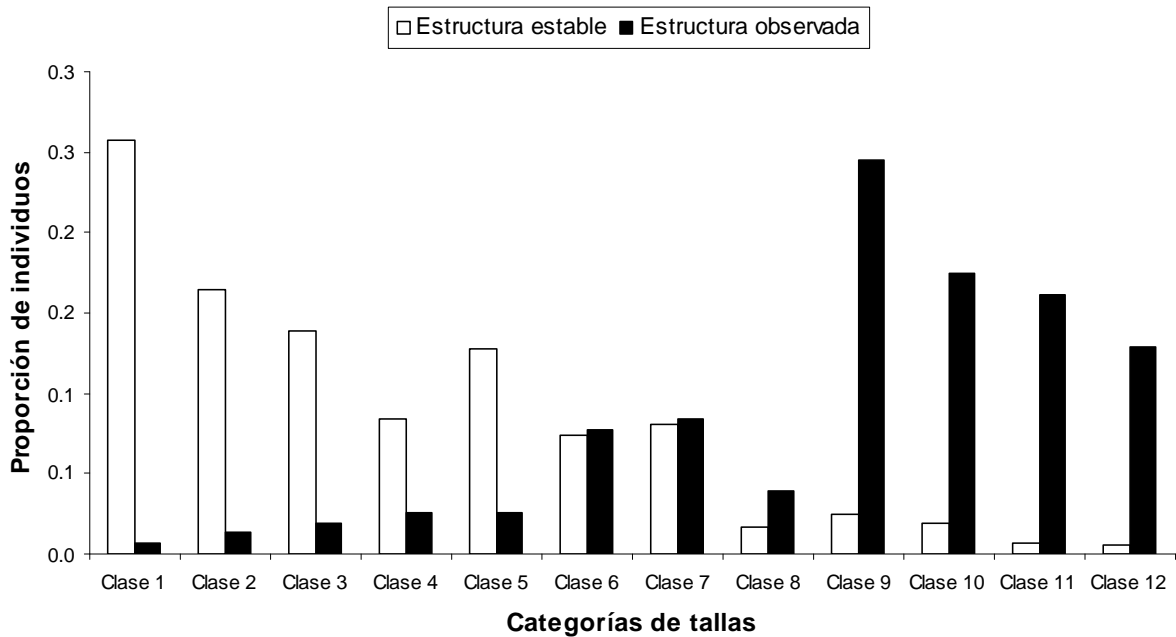
Estructura de tallas de *E. chiotilla* en el jiotillal

Figura 10.- Estructuras de tallas observada (barras negras) y estable (barras blancas) predicha por el modelo demográfico, para *Escontria chiotilla* en el jiotillal de Santiago Quiotepec, Oaxaca.

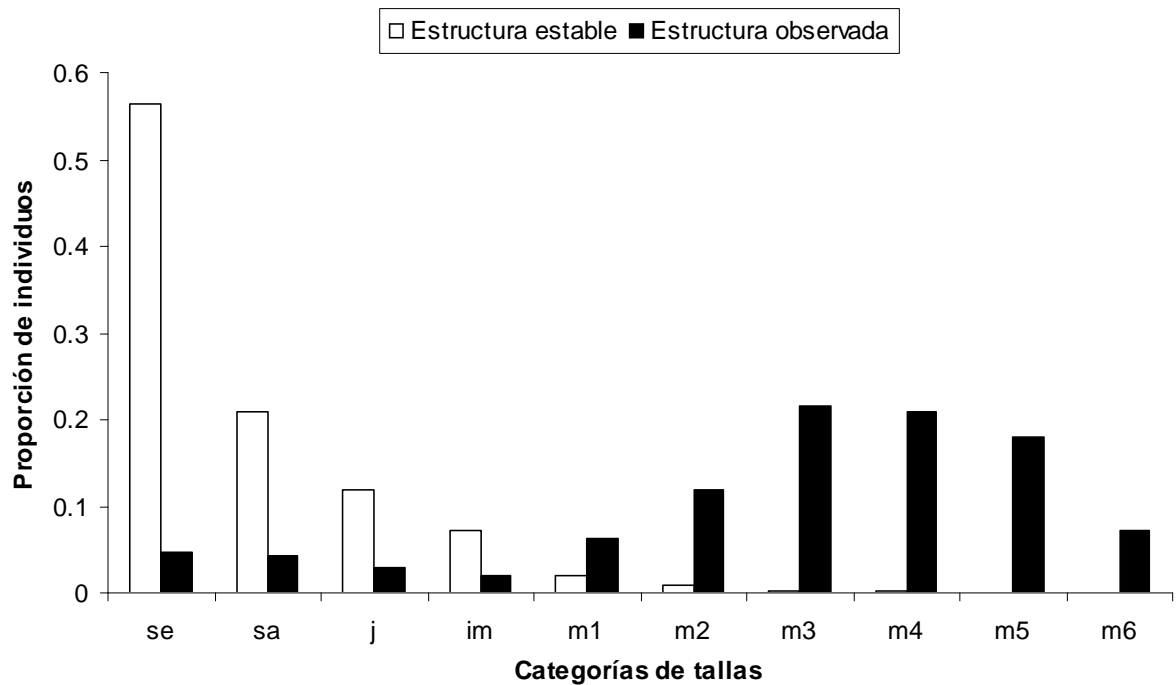
Estructura de tallas de *N. tetetzo* en la tetechera

Figura 11.- Estructuras de tallas observada (barras negras) y estable (barras blancas) predicha por el modelo demográfico, para *Neobuxbaumia tetetzo* en la tetechera en Santiago Quiotepec.

Los análisis de perturbación efectuados modificando los valores de fecundidad de las matrices de proyección poblacional se muestran en los Cuadros 15 y 16. En el Cuadro 15 se observa que la extracción de hasta un 70% de los frutos de *Escontria chiotilla*, permite que el valor de λ sea superior a la unidad. En otras palabras, desde el punto de vista del modelo demográfico generado, hasta tal valor de extracción la población se mantendría en equilibrio; es decir, la población se mantendría a lo largo del tiempo. Este hecho se debe a que la permanencia en la misma categoría es el proceso demográfico más importante en los análisis de elasticidad (Ortega 2001).

Cuadro 15. Análisis de perturbación por extracción de frutos en la población de *Escontria chiotilla*.

Proporción de extracción de frutos	Fecundidad Clase 11	Fecundidad Clase 12	Tasa finita λ
0%	7.92	25.31	1.025
10%	7.13	22.78	1.023
20%	6.34	20.25	1.021
30%	5.54	17.72	1.019
40%	4.75	15.19	1.016
50%	3.96	12.66	1.013
60%	3.17	10.12	1.009
70%	2.38	7.59	1.005
80%	1.58	5.06	0.999
90%	0.79	2.53	0.988
100%	0.000	0.000	0.910

En el Cuadro 16 se puede observar que, de acuerdo con el modelo, la extracción de hasta un 95% de los frutos de *Neobuxbaumia tetetzo*, permite que el valor de λ sea superior a la unidad. Este hecho se debe a que la sobrevivencia (91.4%) es el proceso demográfico más importante en los análisis de elasticidad, mientras que la fecundidad representa tan sólo el 0.8% de importancia (Godínez-Álvarez *et al.* 1999).

En la Figura 12 se muestra el efecto de la cosecha de frutos de *Escontria chiotilla* en los valores de λ . Se observa que una cosecha del 80% provoca que el valor de λ sea inferior a la unidad, también se observa que una extracción superior al 90% provoca una caída drástica en los

valores de λ . Si las tasas de extracción fueran iguales o superiores al 80%, la población declinaría y de mantenerse dichas tasas nuestra población se extinguiría.

Cuadro 16. Análisis de perturbación por extracción de frutos en la población de *Neobuxbaumia tetetzo*.

Proporción de extracción de frutos	Fec m2	Fec m3	Fec M4	Fec m5	Fec m6	Tasa finita λ
0%	8.70	14.90	22.40	28.20	29.30	1.077
10%	7.83	13.41	20.16	25.38	26.37	1.075
20%	6.96	11.92	17.92	22.56	23.44	1.073
30%	6.09	10.43	15.68	19.74	20.51	1.070
40%	5.22	8.94	13.44	16.92	17.58	1.066
50%	4.35	7.45	11.20	14.10	14.65	1.063
60%	3.48	5.96	8.96	11.28	11.72	1.058
70%	2.61	4.47	6.72	8.46	8.79	1.053
80%	1.74	2.98	4.48	5.64	5.86	1.046
90%	0.87	1.49	2.24	2.82	2.93	1.035
95%	0.44	0.75	1.12	1.41	1.47	1.025
100%	0	0	0	0	0	0.960

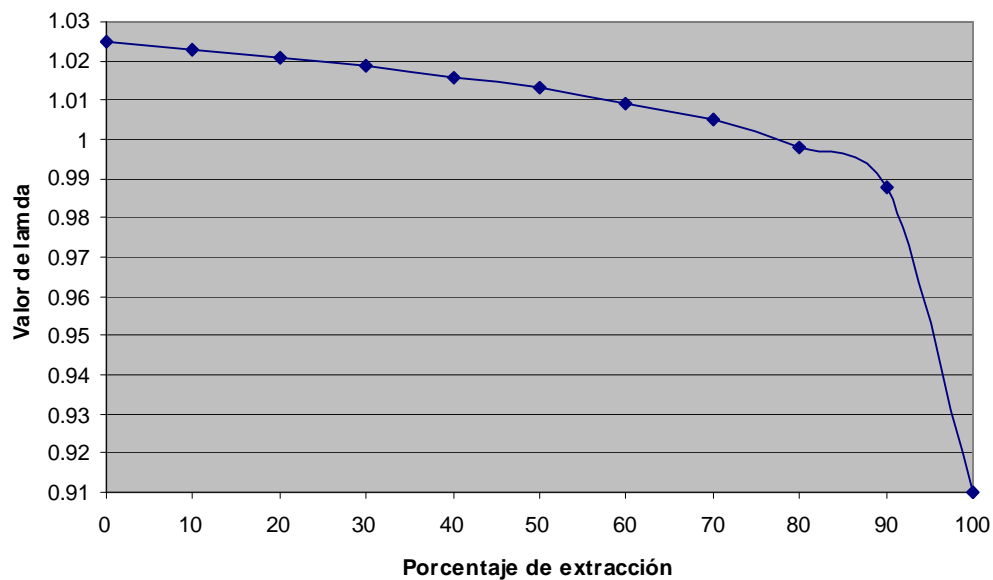


Figura 12. Efecto de la cosecha de frutos de *Escontria chiotilla* en el valor de λ .

En la Figura 13 se muestra el efecto de la cosecha de frutos de *Neobuxbaumia tetetzo* en los valores de λ . Se observa que una cosecha superior al 95% provoca una caída drástica en los valores de lambda. De permanecer dicha tasa de extracción, la población declinaría rápidamente hasta llegar a la extinción.

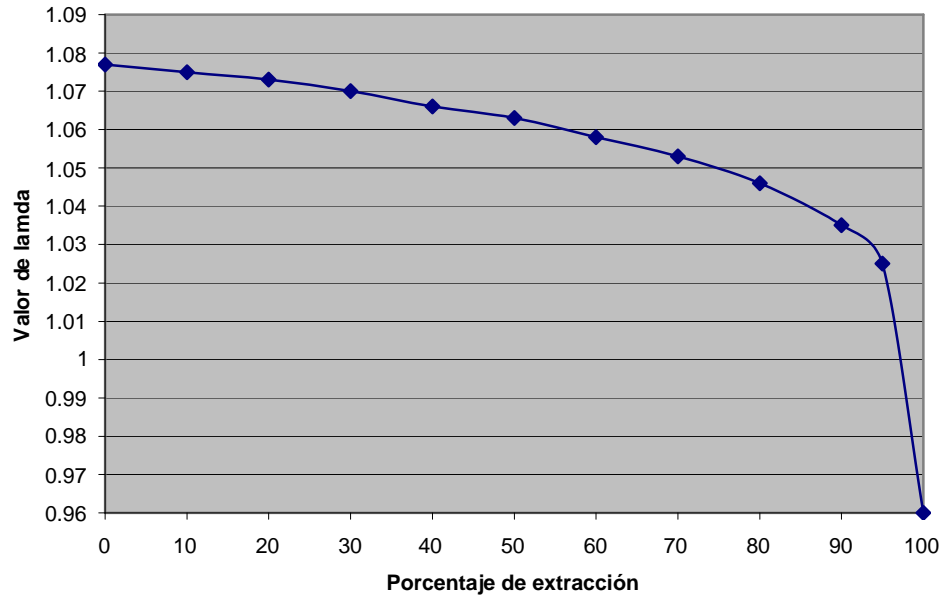


Figura 13. Efecto de la cosecha de frutos de *Neobuxbaumia tetetzo* en el valor de λ .

De acuerdo con las entrevistas realizadas, la extracción de frutos de cactáceas columnares que actualmente practica la comunidad de Santiago Quiotepec es, para *E. chiotilla* de 761.78 kg, que representan el 0.31% del potencial global de frutos disponibles en la comunidad, mientras que de *N. tetetzo* se extraen en promedio 230.42 kg, que representan el 0.093% del potencial disponible. Por otro lado, la extracción de frutos de *P. weberi* (25.25 kg) representa tan sólo el 0.45% del potencial global de frutos en la comunidad.

Tomando como referencia los límites máximos de extracción de frutos estimados a partir de los análisis de perturbación (*E. chiotilla* 70%, *N. tetetzo* 95%) y extendiendo este criterio a una extracción del 70% de frutos de *P. weberi*, el valor económico de las diferentes asociaciones vegetales disminuiría de la siguiente manera: cardonal \$2,436.00/ha, jiotillal \$1,883.70/ha tetechera \$1,729.8/ha (compárese con el valor económico total por hectárea de cada tipo de

asociación vegetal en el Cuadro 8). Estas reducciones del valor económico de los ecosistemas analizados resultan de considerar únicamente el costo del mantenimiento de las propias poblaciones. Pero como se discute más adelante, a estos valores debe descontarse también las cantidades de frutos que consumen los frugívoros. No existen evaluaciones de la remoción de frutos por frugívoros en el área de estudio; sin embargo, el estudio de Fleming y Sosa (1994) reporta que el intervalo de remoción posible de frutos de cactáceas columnares en el Desierto Sonorense es del orden de entre el 10 y el 80%. Por su parte, Godínez-Alvarez *et al.* (2002), documentaron una remoción de semillas del 25% por aves, y de hasta 75% por murciélagos, para el caso de *N. tetetzo* en Zapotitlán de las Salinas. Por eso, en el siguiente apartado se discuten modelos alternativos de aprovechamiento bajo diferentes escenarios de cosecha que consideran el balance entre los requerimientos probables asociados a la frugivoría, así como el incentivo económico que en la economía campesina contribuiría a evitar la tala del bosque para abrir terrenos de cultivo. Tales escenarios consideran tasas de cosecha de 10%, 25% y 50%, de los frutos.

Análisis de sustentabilidad

Los Cuadros 17, 18 y 19 muestran los valores de los indicadores obtenidos en las diferentes unidades ambientales para los diferentes sistemas analizados, así como los valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad empleados en el análisis. Se puede apreciar que el rendimiento del sistema de maíz de temporal en cantidad de grano cosechado es superior al rendimiento en kilogramos de frutos de los sistemas alternativos; sin embargo, la utilidad anual de los sistemas alternativos es superior a la utilidad anual del sistema de maíz de temporal. En cuanto a la riqueza de especies, se puede apreciar que el sistema alternativo en la tetechera presenta la mayor diversidad biológica, seguido por el sistema alternativo en el cardonal, por el sistema alternativo en el jiotillal y por el sistema de maíz de temporal, respectivamente.

En la Figura 14 se muestra en forma comparativa el análisis de sustentabilidad entre los sistemas: (1) agricultura de maíz de temporal, (2) sistema alternativo, (3) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 50%, (4) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 25%, (5) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 10% y (6) el sistema de referencia u óptimo, en el cardonal. En esta Figura se puede apreciar qué tanto el rendimiento del sistema de maíz de temporal es superior a los obtenidos en los sistemas

alternativos. Pero también, la gráfica muestra que la utilidad del producto del sistema de maíz de temporal es menor a la utilidad de los productos de los sistemas alternativos. La apreciación de todos los indicadores en su conjunto permite ver que los sistemas alternativos con 25% y 10% de extracción son más sustentables que el sistema alternativo y el sistema de maíz de temporal, respectivamente.

En la Figura 15 se analiza comparativamente la sustentabilidad entre los sistemas: (1) agricultura de maíz de temporal, (2) sistema alternativo, (3) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 50%, (4) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 25%, (5) sistema alternativo sustentable bajo una tasa de extracción del 10% y (6) el sistema de referencia u óptimo, en el jiotillal. Se puede apreciar una disminución en la utilidad de los sistemas alternativos con respecto a la utilidad obtenida en el cardonal, no obstante, la utilidad obtenida en los sistemas alternativos es superior a la utilidad producto del sistema de maíz de temporal. De manera similar al caso anterior, la suma de todos los indicadores permite observar que los sistemas alternativos con 25% y 10% de extracción son más sustentables que el sistema alternativo y el sistema de maíz de temporal respectivamente.

En la Figura 16 se observa que tanto los valores de rendimiento como de utilidad de los sistemas alternativos con 50%, 25% y 10% de extracción son inferiores con respecto a los valores del sistema de maíz de temporal. No obstante, los sistemas alternativos son más sustentables que el sistema de maíz de temporal

Cuadro 17.- Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en el cardonal (fuente: Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007).

Indicador	Sistema de maíz de temporal	Sistema alternativo 10% de extracción	Sistema alternativo 25% de extracción	Sistema alternativo 50% de extracción	Óptimo
Rendimiento de grano o frutos (kg/ha)	556 (58.2%)	260 (27.2%)	260 (27.2%)	260 (27.2%)	956 (100%)
Utilidad (\$/año)	1,252 (36.1%)	346.5 (10%)	866.4 (25%)	1,732.8 (50%)	3,465.75 (100%)
Demanda de fuerza de trabajo	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Acceso al recurso	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)
No. de spp. Presentes	10 (16.7%)	46 (76.7%)	46 (76.7%)	46 (76.7%)	60 (100%)
Índice de Shannon	0.699(49.2%)	1.263 (88.9%)	1.263 (88.9%)	1.263 (88.9%)	1.421(100%)
Variabilidad de la productividad de maíz o frutos	Alta (33.3%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Aceptación del sistema	Alta (100%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Alta (100%)
Grado de dependencia de Insumos	Alta (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)
Impacto en interacciones bióticas	Alto (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Alto (33.3%)	Bajo (100%)

Cuadro 18.- Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en la tetechera (fuente: Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007).

Indicador	Sistema de maíz de temporal	Sistema alternativo 10% de extracción	Sistema alternativo 25% de extracción	Sistema alternativo 50% de extracción	Óptimo
Rendimiento de grano o frutos (kg/ha)	556 (58.2%)	263 (27.5%)	263 (27.5%)	263 (27.5%)	956 (100%)
Utilidad (\$/año)	1,252 (36.1%)	191.1 (5.5%)	477.7 (13.8%)	955.4 (27.6%)	3,465.75 (100%)
Demanda de fuerza de trabajo	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Acceso al recurso	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)
No. de spp. Presentes	10 (16.7%)	60(100%)	60(100%)	60(100%)	60 (100%)
Índice de Shannon	0.699(49.2%)	1.421(100%)	1.421(100%)	1.421(100%)	1.421(100%)
Variabilidad de la productividad de maíz o frutos	Alta (33.3%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Aceptación del sistema	Alta (100%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Alta (100%)
Grado de dependencia de Insumos	Alta (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)
Impacto en interacciones bióticas	Alto (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Alto (33.3%)	Bajo (100%)

Cuadro 19.- Valores obtenidos para los diferentes sistemas y valores óptimos para los indicadores de sustentabilidad en el jiotillal (fuente: Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007).

Indicador	Sistema de maíz de temporal	Sistema alternativo 10% de extracción	Sistema alternativo 25% de extracción	Sistema alternativo 50% de extracción	Óptimo
Rendimiento de grano o frutos (kg/ha)	556 (58.2%)	119 (12.4%)	119 (12.4%)	119 (12.4%)	956 (100%)
Utilidad (\$/año)	1,252 (36.1%)	269.1 (7.8%)	672.8 (19.4%)	1,345.6 (38.8%)	3,465.75 (100%)
Demanda de fuerza de trabajo	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Acceso al recurso	Alta (33.3%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)	Baja (100%)
No. de spp. Presentes	10 (16.7%)	44 (73.3%)	44 (73.3%)	44 (73.3%)	60 (100%)
Índice de Shannon	0.699(49.2%)	1.308 (92%)	1.308 (92%)	1.308 (92%)	1.421(100%)
Variabilidad de la productividad de maíz o frutos	Alta (33.3%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Media (66.6%)	Baja (100%)
Aceptación del sistema	Alta (100%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Baja (33.3%)	Alta (100%)
Grado de dependencia de Insumos	Alta (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)
Impacto en interacciones bióticas	Alto (33.3%)	Bajo (100%)	Bajo (100%)	Alto (33.3%)	Bajo (100%)

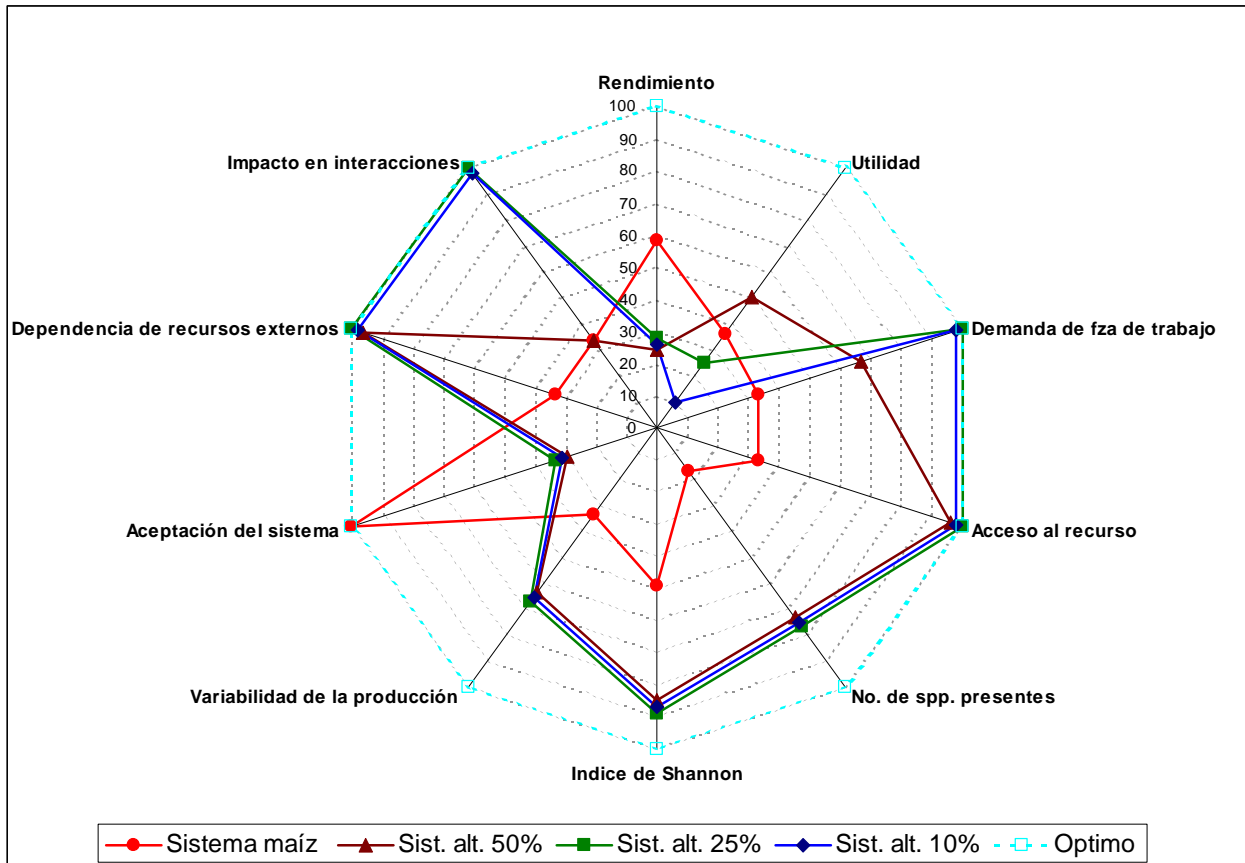


Figura 14. Análisis de sustentabilidad en el cardonal. Se puede observar que el sistema con mayor grado de sustentabilidad está representado por el sistema alternativo con un 25% de extracción, seguido del sistema alternativo con un 10% de extracción, mientras que el sistema de maíz de temporal es el menos sustentable. El grado de sustentabilidad está dado por la suma de los valores de cada uno de los indicadores. Los valores cercanos a 100 representan los valores óptimos de sustentabilidad.

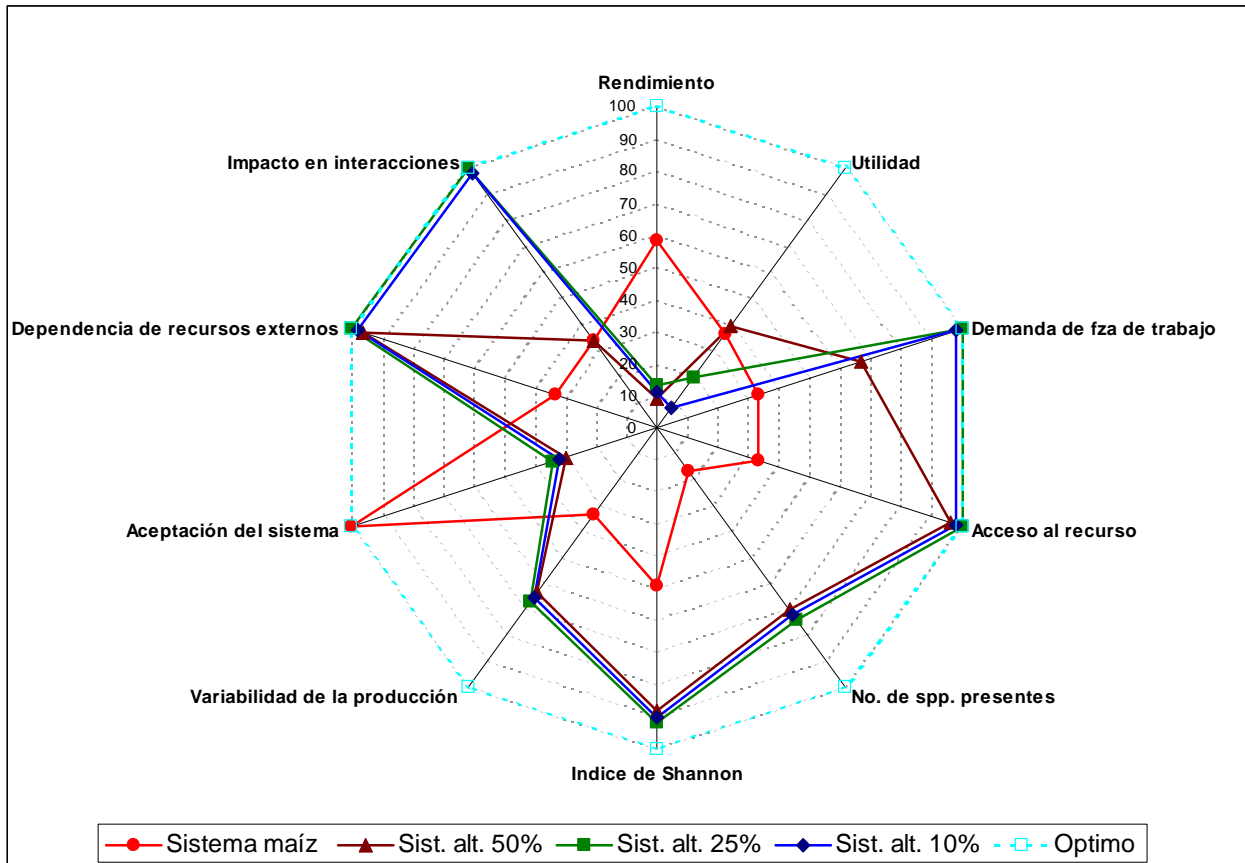


Figura 15. Análisis de sustentabilidad en el jiotillal. Se observa que el sistema con mayor grado de sustentabilidad está representado por el sistema alternativo con 25% de extracción, seguido del sistema alternativo con 10% de extracción, mientras que el sistema de maíz de temporal es el menos sustentable. También se observa que los ingresos económicos (utilidad) obtenidos en los sistemas alternativos con 25% y 10% de extracción, son inferiores a los obtenidos en el sistema de maíz de temporal.

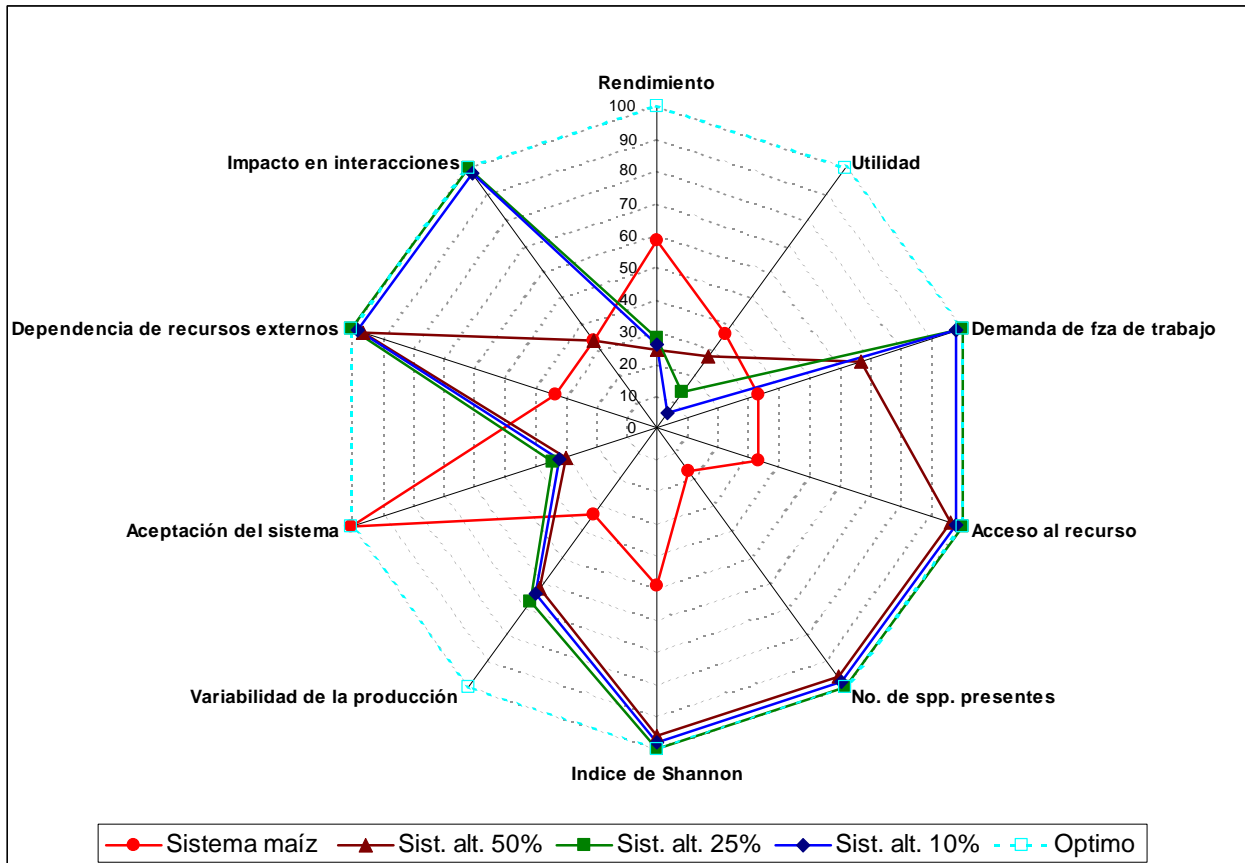


Figura 16. Análisis de sustentabilidad en la tetechera. En esta figura se observa que tanto los valores de rendimiento como de utilidad de los sistemas alternativos con 50%, 25% y 10% de extracción son inferiores con respecto a los valores del sistema de maíz de temporal. No obstante, los sistemas alternativos son más sustentables que el sistema de maíz de temporal.

V. DISCUSION

Estudios etnobotánicos y ecológicos previos en la comunidad de Santiago Quiotepec por Pérez-Negrón (2002) y Pérez-Negrón y Casas (2007) mostraron que la recolección y consumo de plantas silvestres juega un papel muy importante en la subsistencia familiar campesina, y que dicha actividad adquiere mayor importancia en las temporadas en las que escasean los productos agrícolas, pues los productos silvestres complementan directamente los requerimientos de subsistencia. Así, por ejemplo, para la alimentación, en la comunidad se utilizan 74 especies de plantas silvestres comestibles (Pérez-Negrón 2002; Pérez-Negrón y Casas 2007). Debido a que la comunidad de Santiago Quiotepec se encuentra asentada en una zona semiárida, las cactáceas columnares representan el grupo de recursos silvestres más importante de la zona. Este hecho, aunado a la predominancia y altas densidades de estas especies en distintos tipos de vegetación de la zona, son indicadores del gran potencial que representan como recursos. En este mismo sentido, también puede resaltarse que la producción potencial de frutos por hectárea es elevada, como se puede apreciar en el Cuadro 5. De las unidades estudiadas, la tetechera fue la unidad con mayor producción de frutos, mientras que el cardonal tuvo una producción intermedia y el jiotillal tuvo la menor producción de frutos por hectárea.

Los bosques de cactáceas columnares cubren 3,560 hectáreas que representan el 72.21% del total del territorio de Santiago Quiotepec. La unidad ambiental más extensa es el cardonal de *Pachycereus weberi*, el cual cubre el 44.02% del territorio de la comunidad. Mientras que las unidades con mayor impacto antrópico representan tan sólo el 7.30% del total del territorio. Las zonas más impactadas o con mayor grado de transformación, son generalmente zonas aledañas a los ríos, debido a que son zonas más planas y con disponibilidad de agua, lo cual favorece el desarrollo de actividades agrícolas.

En términos generales, los bosques de cactáceas columnares de Santiago Quiotepec han sido transformados en relativamente poca extensión. Las zonas de cardonal perturbado, cubren tan sólo 7.8% de la superficie total de cobertura de los cardonales, mientras que la superficie de jiotillal perturbado representa el 6.2% de la cobertura total de los jiotillales. El grado de perturbación en los jiotillales es muy variable, pudiendo observarse desde zonas poco perturbadas hasta zonas que han perdido prácticamente su cobertura vegetal original.

La producción total anual de frutos de las especies estudiadas dentro del territorio de la comunidad se estima en 509.3 ton de *Pachycereus weberi*, 267.4 ton de *Neobuxbaumia tetetzo*, 99.5 ton de *Escontria chiotilla* y 8.1 ton de *Myrtillocactus geometrizans*. De esta producción total, en la actualidad se extrae anualmente el 0.07% de *Pachycereus weberi*, el 0.15% de *Neobuxbaumia tetetzo*, el 0.76% de *Escontria chiotilla*, y el 0.11% de *Myrtillocactus geometrizans*. Estos datos sugieren que las tasas actuales de extracción de estos recursos no ponen en riesgo a las poblaciones de estas especies; sin embargo, no existe una evaluación de si la extracción se concentra en sólo algunas áreas o si ésta se efectúa en áreas extendidas. Es posible que este patrón sea relevante para determinar un mayor o menor impacto sobre las comunidades bióticas. Como lo discuten Pérez-Negrón y Casas (2007), la extracción de una cierta cantidad de recursos forestales tendrá menor impacto si se efectúan en un área más extensa que si se efectúa en un área más localizada.

No obstante la relativamente baja extracción de frutos de cactáceas columnares, actualmente esta actividad representa en promedio el 25.84% (\$323.60) del ingreso total obtenido por familia por la producción de maíz de temporal (\$1,252.00). Dicha extracción de frutos se destina principalmente al autoconsumo; sin embargo, algunas familias llegan a comercializar parte de los frutos que extraen.

El valor económico de toda la fruta de cactáceas columnares por hectárea en el cardonal, el jiotillal y la tetechera, es superior a los ingresos que se obtiene en promedio de una hectárea de maíz de temporal (cardonal \$3,465.75/ha, jiotillal \$2,691.15/ha, tetechera \$1,910.78/ha, maíz de temporal \$1,252.00/ha). De acuerdo con la información registrada en el año del muestreo efectuado, el valor económico potencial del total de frutos de cactáceas columnares que se producen en Santiago Quiotepec en un año es de \$10'426,380.10. Debe advertirse que estos calculos se refieren al valor económico total de los frutos, lo que no implica que sea ni realista ni deseable su extracción como se discute más adelante.

Los frutos de cactáceas columnares generalmente se comercializan en la misma comunidad en donde se cosechan; sin embargo, algunas de las personas que se dedican a su comercialización prefieren venderlos en otros pueblos o incluso en algunas ciudades más lejanas,

en donde obtienen mayores ingresos por el producto. Pero la comercialización de los frutos en las ciudades es muy esporádica. Ello se debe en parte a los costos de transporte, así como al corto periodo de perentoriedad de los frutos. El diseño de estrategias de aprovechamiento sustentable de estos recursos pasa, entonces, por considerar medios de transportación y conservación de frutos en fresco, así como procesos de industrialización sencillos, que permitan resolver el problema de caducidad de los frutos, dando mayor tiempo para colocar el producto en los mercados, además de darle un valor agregado al producto y permitir ampliar el marco de los mercados actuales.

Los análisis de perturbación simulando diferentes regímenes de cosecha de frutos sugieren que la extracción de hasta el 70% de los frutos de *Escontria chiotilla* y hasta el 95% de los frutos de *Neobuxbaumia tetetzo* permiten que el valor de λ se mantenga por arriba de la unidad. Para *Pachycereus weberi* y *Myrtillocactus geometrizans* no fue posible por el momento hacer estimaciones similares debido a la carencia de estudios demográficos con tales especies. Es muy importante advertir que las tasas de extracción estimadas representan tan sólo una aproximación con base en herramientas que permiten los estudios demográficos y la información disponible. Sin embargo, existe un conjunto de limitaciones tanto en los análisis como en la información disponible que determinan que tales cifras estén muy lejos de convertirse en alguna recomendación. Así, por ejemplo, los modelos demográficos en los cuales se basan estos cálculos incluyen registros de crecimiento y fecundidad de tan sólo un año en el caso de *E. chiotilla* (Ortega 2001) y de tan sólo dos años en el caso de *N. tetetzo* (Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet 2004). En general, los estudiosos de la ecología de poblaciones reconocen la importancia de realizar estudios demográficos de mediano y largo plazo, especialmente en especies perenes longevas de lento crecimiento, como son los casos de las cactáceas columnares en general. Esta advertencia es particularmente importante para los casos de las especies estudiadas, pues además de ser plantas longevas de lento crecimiento se encuentran en zonas áridas, las cuales se caracterizan por una alta variación y una marcada impredecibilidad en las condiciones ambientales entre años. En las zonas áridas las variaciones interanuales del medio biótico y abiótico tales como cambios en la periodicidad e intensidad de las lluvias, cambios de temperatura, fluctuaciones de las poblaciones animales que interactúan con estas especies (polinizadores, dispersores de semillas, depredadores, parásitos), o eventos catastróficos que eventualmente ocurren, pueden marcar escenarios entre un año y otro radicalmente distintos a los

que se encontraron durante el año del presente estudio y durante los años en los que se efectuaron los estudios demográficos sobre los que se apoyan los análisis efectuados.

Debe tomarse en cuenta también que las matrices de proyección poblacional fueron desarrolladas con base en información de poblaciones asentadas en localidades distintas a las del presente estudio. Aunque esas poblaciones se encuentran dentro de la misma región, es necesario considerar que las variaciones ambientales entre los sitios podrían tener influencia sobre la estructura y dinámica poblacional.

Tanto el caso de *Escontria chiotilla* como en el de *Neobuxbaumia tetetzo* el vector de la población en estructura estable de tallas predicho por el modelo y el vector de la poblacional observado en campo, difieren de manera altamente significativa. Esta información muestra entonces que las poblaciones estudiadas tienen una estructura inestable. En ambos casos es notoria la baja tasa de reclutamiento de plántulas, y este hecho es de vital importancia para el mantenimiento de las poblaciones. Si se pretende aprovechar estos recursos es necesario identificar qué factor o factores están determinando tal déficit de reclutamientos. La baja tasa de reclutamiento de plántulas y el déficit de plantas juveniles puede deberse a diversos factores tanto bióticos como abióticos, naturales y antrópicos; como por ejemplo cambios temporales y espaciales en la intensidad y régimen de lluvia, cambios en la temperatura, en la densidad y efectividad de polinizadores y dispersores de semillas, en la depredación de semillas y/o plántulas, en la competencia por recursos, en la incidencia del ganado, en la historia de aperturas del terreno al cultivo, etc., los cuales podrían estar desfavoreciendo periódicamente a las plantas jóvenes. Sea cual sea la causa del déficit de reclutamientos, la identificación de este signo puede convertirse en un indicador usado como criterio para determinar poblaciones cuyo aprovechamiento es o no factible y, en todo caso, las medidas de conservación y/o restauración pertinentes para prevenir la extinción de las poblaciones. Quizás una recomendación válida en este contexto es vedar el aprovechamiento (tanto para agricultura como pastoreo y extracción forestal) de las áreas que presentan déficits de reclutamiento de plántulas como los identificados en este estudio.

Todo lo anterior obliga a ser muy cuidadosos y conservadores al momento de usar la información derivada de los modelos, la cuál, no está reflejando fielmente la dinámica

poblacional de las especies estudiadas. Por tal razón, es necesario tener presente dichas diferencias al momento de realizar los análisis de perturbación y tener presente que las tasas de extracción derivadas de estas simulaciones, únicamente representan un punto de referencia al analizar tasas de extracción de frutos que es pertinente considerar.

Los análisis efectuados no permiten determinar con precisión cuáles son los regímenes de cosecha óptimos bajo un criterio de sustentabilidad, quizás para lograrlo se requerirían varios años de monitoreo de las poblaciones y las interacciones entre las cactáceas columnares y plantas y animales de las comunidades bióticas a las que pertenecen. Hasta este punto del análisis tan sólo es posible visualizar el orden de rangos de cosecha que permite el análisis efectuado desde el punto de vista demográfico con la información disponible. Como se discute más adelante, los modelos demográficos no son el único criterio que debe considerarse, pero es uno importante.

El desarrollo de una propuesta de extracción sustentable de frutos en los bosques de cactáceas columnares, obliga a considerar a otras especies que dependen de estos recursos y que por la naturaleza de sus interacciones juegan un papel importante en la dinámica poblacional de las cactáceas columnares. Tal es el caso de las aves, murciélagos y otros mamíferos del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, los cuales dependen de los frutos de estas especies y son los principales responsables de la dispersión de las semillas en sitios apropiados para su germinación, en este caso bajo plantas que fungen como nodrizas. Una reducción drástica de la disponibilidad de frutos afectaría la tasa de fecundidad de las cactáceas columnares, ya que determinaría una menor cantidad de semillas y abatiría la probabilidad de que esas pocas semillas fueran dispersadas en sitios favorables.

Existe muy poca información disponible sobre tasas de remoción de frutos de cactáceas columnares por frugívoros y, por lo tanto, resultará de primordial importancia efectuar estudios en esta dirección. Los estudios de Fleming y Sosa (1994) documentaron tasas de remoción de las semillas disponibles de cactáceas columnares por noche en el desierto sonorense por murciélagos del género *Leptonycteris*, observando que la remoción de semillas oscila entre el 10 y el 80% por noche. Godínez-Alvarez *et al.* (2002) documentaron que los murciélagos remueven el 75% de las semillas de frutos de *Neobuxbaumia tetetzo* disponibles por la noche en Zapotitlán de las Salinas, mientras que las aves remueven el 25% de los frutos disponibles en el día. Aunque no existe

información sobre la proporción de frutos que son consumidos, los estudios sobre remoción de semillas permiten una aproximación general a esta pregunta. De esta forma, el escenario de cosecha del 25% de los frutos permite aproximarse a un valor de bajo impacto sobre la frugivoría y el escenario de 10% de cosecha de frutos los es más bajo aún. El escenario de extracción del 50% de los frutos es de mayor impacto, y sin embargo se consideró en el análisis pues tendría un mayor beneficio económico que los escenarios anteriores, lo cual se quiso evaluar para discutir la posibilidad de lograr dicho beneficio a partir de obtener el mismo volumen de cosecha en un área mayor; es decir, abatiendo la tasa de extracción a partir de ampliar el área de recolección.

Los diferentes escenarios que se modelaron y cuyos grados de sustentabilidad se analizaron tan sólo representan posibles puntos de partida para el diseño de estrategias de aprovechamiento que aspiran ser sustentables, y guiadas por un enfoque de manejo adaptativo. El manejo adaptativo es un concepto clave en el manejo de ecosistemas (Holling, C.S. 1978; Grumbine 1994, 1997). Se funda en la idea de establecer estrategias de manejo con base en la información disponible e iniciar un proceso de evaluación de las acciones efectuadas, con el fin de hacer ajustes a la estrategia de manera recurrente (Holling, C.S. 1978; Walters 1986; McLain y Lee 1996; Johnson 1999; Skogen 2003). En el caso analizado, los sistemas de aprovechamiento basados en tasas de cosecha del 10% y 25% de frutos parten de un criterio conservador con base en la información disponible, y representarían puntos de partida dentro de una estrategia de manejo que aspira a ser sustentable. Las tasas de extracción propuestas no son necesariamente las tasas óptimas que garanticen la mayor cantidad extraíble posible con el menor costo para las poblaciones y comunidades sujetas a dicha explotación. Bajo la idea del manejo adaptativo los sistemas propuestos estarían obligados a someterse a un monitoreo continuo de las poblaciones y las comunidades bajo manejo. El propósito de tal monitoreo sería redefinir continuamente los ajustes necesarios a las tasas de extracción de acuerdo con el comportamiento de la estructura poblacional de las especies y poblaciones sujetas a este tipo de manejo a lo largo del tiempo. El monitoreo debe contemplar, desde luego, una evaluación de la frugivoría en las áreas bajo manejo y en las áreas no manejadas, así como una comparación de la estructura y la dinámica de las poblaciones de tales áreas. Solamente este tipo de acciones podría garantizar que el manejo se aproximara a un aprovechamiento sustentable. La sustentabilidad, en esta perspectiva, no es vista como un estado, sino un proceso (Gunderson y Holling 2002, Toledo 2003)

El análisis de la sustentabilidad de las áreas forestales no transformadas con respecto a las áreas transformadas para la agricultura tomando como base el marco para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS) (véase Masera *et al.*, 2000), aporta importantes elementos de discusión ya que permite ver al sistema en las dimensiones sociales y económicas, además de la ecológica. Una de las virtudes de este tipo de análisis de sustentabilidad es que permite identificar cuáles son los puntos fuertes de cada uno de los sistemas y cuáles son los puntos débiles en los cuáles se debe trabajar para poder incrementar paulatinamente el grado de sustentabilidad de los sistemas de manejo (Masera *et al.*, 2000).

El valor económico total de frutos por hectárea por año en el cardonal es de \$3,465.75, en el jiotillal es de \$2,691.15 y en la tetechera es de \$1,910.78, mientras que los obtenidos en la agricultura de maíz \$1,252.00. Considerando globalmente los indicadores ecológicos, económicos y sociales, el sistema con mayor grado de sustentabilidad en las tres unidades ambientales (cardonal, jiotillal y tetechera) es el sistema alternativo con 25% de extracción de frutos. Sin embargo, los ingresos económicos que se obtendrían con esta tasa de extracción, son inferiores a los ingresos económicos que se obtienen en una hectárea de maíz de temporal, lo cual, representaría una dificultad práctica para la aspiración de sustituir una práctica de alto impacto ecológico (la apertura de terreno de cultivo) por una de bajo impacto (dejar intacto el bosque y cosechar frutos). Esto es así, pues el económico es uno de los factores con mayor peso en la toma de decisiones de manejo en las instituciones campesinas. Por otro lado, el sistema de cosecha del 50% de los frutos en el cardonal y el jiotillal, ofrece ingresos económicos superiores a los obtenidos en promedio por hectárea en la agricultura temporalera de maíz aunque, como se discutió arriba, podrían implicar un mayor impacto en las comunidades bióticas. Una posible solución a esta disyuntiva podría ser el desarrollo de sistemas de extracción del 25% de los frutos en el doble de extensión de terreno (2 hectáreas). Este sistema mantendría el beneficio económico del volumen de frutos cosechados, diluyendo el impacto en el área cosechada, pero aumentaría el esfuerzo y tiempo de cosecha. Sistemas similares podrían diseñarse para abatir aún más la tasa de extracción por hectárea a partir de incrementar la superficie cosechada. Desde luego, la evaluación de la viabilidad técnica de estos sistemas y de su impacto real en las poblaciones solamente puede tener un sustento a partir de monitoreos de campo y ello constituiría el gran reto de este tipo de propuestas antes de pretender generar e implementar cualquier recomendación.

Pero si bien es cierto que los indicadores económicos desempeñan un papel muy importante en la toma de decisiones sobre el manejo de recursos, también es cierto que los ingresos netos de las familias campesinas y la aceptación de un sistema de manejo pueden incrementarse no sólo a costa de incrementar el impacto sobre los ecosistemas. Por ejemplo, es posible agregar valor a los productos extraídos, por medio de procesos de elaboración de productos artesanales (mermeladas, ates y licores), algunos de los cuales se encuentran ya en fases de experimentación en centros en tecnología de alimentos.

El impacto ambiental generado por la extracción de frutos es significativamente menor, comparado con el impacto que ocasionan otras actividades productivas como la agricultura, la ganadería o la extracción y comercialización ilegal de plantas completas. El mantenimiento de la integridad de los ecosistemas podría apoyarse en sistemas de extracción basados en tasas de cosecha de 25% o menos de frutos por hectárea ampliando la superficie sujeta a extracción para equiparar por lo menos los volúmenes de frutos que resultarían de cosechar el 50% de frutos por hectárea. Estos sistemas podrían representar alternativas económicas que podrían contribuir a mitigar la degradación de los ecosistemas naturales del área y contribuir a mejorar las condiciones de vida de la población local. La gestión de un mercado justo, la diversificación de productos y la implementación de mecanismos para agregarles valor podrían contribuir sustancialmente en esta dirección.

VI. CONCLUSIONES

Las poblaciones de cactáceas columnares estudiadas representan actualmente recursos de aporte significativo a la subsistencia campesina local, ya que de ellas se consumen frutos, botones florales, flores y semillas, y los frutos llegan a comercializarse.

Las tasas actuales de extracción de frutos representan el 0.17% del potencial global, lo que resulta sumamente bajo en comparación con la disponibilidad global de frutos. Sin embargo, es necesario aún evaluar qué tan concentrada o dispersa se lleva a cabo esta práctica en el espacio, pues ello podría determinar mayor o menor impacto, respectivamente.

La cobertura vegetal primaria presenta en general un buen estado de conservación, ya que las áreas con mayor impacto antrópico representan únicamente el 11.1 % del territorio de la comunidad. La cobertura de los bosques de cactáceas columnares es la más importante en términos de superficie, ya que cubre casi tres cuartas partes del territorio de Santiago Quiotepec.

Los frutos, botones florales y semillas de las cactáceas columnares, representa una fuente importante de recursos económicos, ya que cuentan con un mercado a nivel local y regional. Para algunas de las familias que se dedican a la comercialización de estos productos, esta actividad es su principal fuente de ingresos económicos durante algunos periodos del año.

Las diferencias que existen entre la distribución de tallas observada y la estructura de tallas estable indican que existe un bajo reclutamiento de plántulas. Este aspecto es sumamente importante ya que puede constituir un cuello de botella en la dinámica poblacional, por lo tanto, es prioritario determinar qué factor o factores están determinando este bajo reclutamiento de plántulas. Resulta indispensable evaluar el impacto directo o indirecto que tiene el pastoreo de ganado en la estructura y dinámica poblacional de las cactáceas sujetas a extracción, pues podría ser ésta una causa directa del déficit de reclutamiento de plántulas en las poblaciones. A partir de este reconocimiento podrían ponerse en paráctica acciones para conservar y/o restaurar algunas de las poblaciones e identificar aquellas que son o no factibles de aprovecharse.

Las tasas de extracción de frutos que resultan de las proyecciones poblacionales no consideran el impacto que estas tasas tienen en las poblaciones de frugívoros y dispersores de semillas. Por lo tanto, bajo ninguna circunstancia es recomendable sugerir estos niveles de extracción.

El sistema de manejo forestal basado en la extracción del 25% de frutos de las cactáceas columnares estudiadas representa el sistema con mayor grado de sustentabilidad de todos los analizados. No obstante, los ingresos económicos que se obtendrían con esta tasa de extracción serían inferiores a los obtenidos en una hectárea de maíz. Esta disyuntiva entre mayor ingreso económico o mayor grado de sustentabilidad, se puede subsanar incrementando la superficie aprovechada. Dicha tasa de extracción de frutos, sin embargo representaría únicamente un punto de partida dentro de un esquema de manejo adaptativo con miras hacia la sustentabilidad; por lo tanto, dicha tasa de extracción no necesariamente garantiza la permanencia de las poblaciones sujetas a aprovechamiento.

Debido a la problemática inherente a este tipo de análisis, es necesario que las propuestas de manejo se aborden desde una perspectiva de manejo adaptativo, en donde se delimiten parcelas experimentales que permitan evaluar el impacto producto de los niveles teóricos de extracción sustentable, así como el efecto (directo o indirecto) que tiene el pastoreo de ganado en la estructura y dinámica poblacional de las cactáceas. El monitoreo de dichas parcelas permitiría definir cuáles serían las tasas de extracción con mayor grado de sustentabilidad y permitiría realizar los ajustes necesarios a las tasas de extracción. Es imprescindible desarrollar un proyecto piloto de esta naturaleza antes de pretender realizar una extracción de frutos en una mayor superficie.

El beneficio económico de un sistema de aprovechamiento de recursos forestales no maderables podría incrementarse sustancialmente a partir de estrategias de agregar valor a los productos. Además del potencial económico representado por los botones florales, frutos y semillas de cactáceas columnares, existen otros recursos y servicios ambientales que no se han valorado en términos económicos. Con los cuales, el valor económico de una hectárea de bosque de cactáceas columnares sería superior en varios ordenes de magnitud, que el valor económico de una hectárea de maíz de temporal.

VII. LITERATURA CITADA

- Alvarez-Buya, E. R. 1994. Density dependence and patch dynamics in tropical rain forests: matrix models and applications to a tree species. *The American Naturalist* **143**(1): 155-191.
- Arellano, E. y A. Casas. 2003. Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **50**: 439-453.
- Arias, S., S. Gama y U. Guzmán. 1997. Cactaceae. En: Dávila, P., J. Villaseñor., L. Medina y V. Téllez (eds). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Arias-Cóyotl, E. 2005. Patrones de forrajeo y efectividad de murciélagos como polinizadores del Cactus columnar *Stenocereus stellatus* en poblaciones cultivadas, manejadas y silvestres en la región de chinango, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arizmendi, M. C. y A. Baliente-Vanuet. 2007. Aves de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Margen rojo, S.C. México. D.F.
- Arizmendi, M. C. y A. Espinosa de los Monteros. 1996. Avifauna de los bosques de cactáceas columnares del valle de Tehuacán, Puebla. *Acta Zoológica Mexicana* **67**: 25-46.
- Bartolo, M. C. 2000. Biología reproductiva y procesos de domesticación de la cactácea columnar *Polaskia chichi* Beckeberg en el Valle de Tehuacán, Puebla, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Bernal, R. 1998. Demography of the vegetable ivory palm *Phytelephas seemannii* in Colombia, and the impact of seed harvesting. *Journal of Applied Ecology* **35**: 64-74.
- Bockstael, N., R. Costanza., I. Strand., W. Boynton., K. Bell and L. Wainger. 1995. Ecological economic modeling and valuation of ecosystems. *Ecological Economics* **14**: 143-159.
- Boltvinik, J. 1995. La pobreza en México. II. Magnitud. En: salud Pública de México **37**(4): 298-309.
- Boyce, M. S. y A. W. Haney (ed). 1997. *Ecosystem Management Applications for Sustainable forest and Wildlife Resources*. Yale University press.
- Bräuer, I. 2003. Money as an indicator: to make use of economic evaluation for biodiversity conservation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **98**: 483-491.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. I, U.N.A.M. México.

- Brush, S. B. 1995. *In situ* conservation of landraces in centers of crop diversity : Implications of germplasm conservation and utilization. *Crop science* **35**(2): 346-354.
- Bullock, S. H., N. E. Martijena., R. H. Webb and R. M. Turner. 2005. Twentieth century demographic changes in cirio and cardón in Baja California, México. *Journal of Biogeography* **32**: 127-143.
- Carmona, A. and A. Casas. 2005. Management, phenotypic patterns and domestication of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **60**: 115-132.
- Casas, A. 1997. Evolutionary Trends in *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono Under Domestication. Thesis of Doctor of Philosophy. The University of Reading, Department of Agricultural Botany School of Plant Sciences.
- Casas, A. y A. Valiente-Banuet. 1995. Etnias, recursos genéticos y desarrollo sustentable en las zonas áridas y semiáridas de México. *In*: Anaya, G.M. y Díaz, C.S.F. (eds.). *Memorias del IV Curso sobre desertificación y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe*. Red de Información Ambiental para América Latina y el Caribe (PNUMA), Red de Cooperación Técnica en Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (FAO), Colegio de Posgraduados (CP). México: pp. 37-56.
- Casas, A., B. Pickersgill., J. Caballero, and A. Valiente-Banuet. 1997a. Ethnobotany and the process of domestication of the xoconochtli *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, Mexico. *Economic Botany* **51**: 279-292.
- Casas, A., J. Caballero, and A. Valiente-Banuet. 1999a. Use, management and domestication of columnar cacti in south-central México: A historical perspective. *Journal of Ethnobiology* **19**: 71-95.
- Casas, A., J. Caballero., A. Valiente-Banuet., J. A. Soriano, and P. Dávila. 1999b. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in central Mexico. *American Journal of Botany* **86**: 522-533.
- Casas, A.; A. Valiente-Banuet; J. L. Viveros; P. Dávila; R. Lira; J. Caballero, L. Cortés e I. Rodríguez. 2001. Plant resources of the Tehuacán Valley, Mexico. *Economic Botany* **55**: 129-166.
- Casas, A. and G. Barbera. 2002. Mesoamerican Domestication and Diffusion. *In*: P.S. Nobel. Ed. *Cacti: Biology and uses*. University of California Press.
- Casas, A., A. Otero., E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2003. Manejo y Domesticación de

- Cactáceas en Mesoamérica. Zonas áridas **7**: 75-104.
- Caswell, H. 1989. *Matriz Population Models: Construction, Análisis, and Interpretation*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Agrupación Sierra Madre, S.C. México.
- Chee, Y.E. 2004. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation* **120**: 549-565.
- Costanza, R., R. d'Arge., R. de Groot., S. Farber., M. Grasso., B. Hannon., K. Limburg; S. Naeem., R. V. O'Neill., J. Paruelo., R. G. Raskin., P. Sutton & M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**: 253-260.
- Cruz, M. A. y A. Casas. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **51**: 561-576.
- Daily, G. C y P. R. Ehrlich. 1992. Population, sustainability, and Earth's carrying capacity. *BioScience* **42**: 761-771.
- De la Barrera, E. y P.S. Nobel. 2004. Carbon and water relations for developing fruits of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, including effects of drought and gibberelic acid. *Journal of Experimental Botany*. *55*(397): 719-729.
- Del Amo, S. y J. M. Ramos. 1994. Desarrollo sostenible. Serie cuadernos de Conservación no. 3. Pronatura A.C., México, D.F.
- Díaz, J.L. 1995. Conocimiento del manejo, comercialización y utilización de dos especies de pitaya (*Stenocereu* spp.) en el municipio de Huetamo, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Earley, J. 1997. *Transforming Human Cultura: Social Evolution and the Planetary Crisis*. State University of New York press, Albany.
- Escalante, S., C. Montaña., R. Orellana. 2004. Demography and potencial extractive use of the liana palm, *Desmoncus orthacanthos* Martius (Arecaceae), in southern Quintana Roo, Mexico. *Forest Ecology and Management* **187**: 3-18.
- Esparza-Olguín, L; T. Valverde; E. Vilchis-Anaya. 2002. Demographic análisis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation* **103**: 349-359.

- FAO. 1995. Non-wood forest products for rural income and sustainable forestry. Non-wood forest products. No. 7 FAO Roma.
- Farfán-Heredia, B. 2006. Evaluación del efecto del manejo silvícola en la dinámica poblacional de *Polaskia chichipe* (Glosselin) Backeberg en el valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flannery, K.V. 1986. Guilá Naquitz. Academic Press, New York.
- Fleming, T. H., S. Maurice., S.L. Buchmann and M.D. Tuttle. 1994. Reproductive Biology and Relative male and female fitness in a trioecious cactus, *Pachocereus pringlei* (Cactaceae). American Journal of botany **81**(7): 858-867.
- Fleming, T. H. y V. J. Sosa. 1994. Effects of nectarivorous and frugivorous mammals on reproductive success of plants. Journal of Mammalogy **75**(4): 845-851
- Freckleton, R.P., D.M. Silva-Matos., M.L.A. Bovi and A.R. Watkinson. 2003. Predicting the impacts of harvesting using structured population models: the importance of density-dependence and timing of harvest for a tropical palm tree. Journal of applied Ecology **40**: 846-858.
- Gadgil, M. y P. Iyer. 1993. La diversificación en el uso de los recursos de propiedad común en la sociedad de la India. En: Leff, E. y J. Carabias (Coord.). *Cultura y manejo sustentable de los recursos naturales*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades / Porrúa. México, pp. 551-574.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Tercera edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gare, A. 1995. Postmodernism and the Environmental Crisis. Routledge. UK.
- Gibson, A.C. and P.S. Nobel. 1986. The Cactus Premier. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Godínez-Álvarez and A. Valiente-Banuet. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth **39**: 21-31.
- Godínez-Álvarez, H., A. Valiente-Banuet and L. Valiente-Banuet. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacan Valley, Mexico. Canadian Journal of Botany **77**: 1-6.
- Godínez-Álvarez and A. Valiente-Banuet. 2000. Fruit-feeding behavior of the bats *Leptonycteris*

- curasoe* and *Choeronycteris mexicana* in flight cage experiments: consequences for dispersal of columnar cactus seeds. *Biotropica* **32**: 552-556.
- Godínez-Álvarez, H., A. Valiente-Banuet and A. Rojas-Martínez. 2002. The role of seed dispersers in the population dynamics of the columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo*. *Ecology* **83**(9): 2617-2629.
- Godínez-Álvarez and A. Valiente-Banuet. 2004. Demography of the columnar cactus *Neobuxbaumia macrocephala*: a comparative approach using population projection matrices. *Plant Ecology* **174**: 109-118.
- Grumbine, R.E. 1994. What is ecosystem management?. *Conservation Biology* **8**(1): 27-38.
- Grumbine, R.E. 1997. Reflection on "What is ecosystem management?". *Conservation Biology* **11**(1): 41-47.
- Gunderson, L. H. y C. S. Holling. 1992. *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press.
- Holling, C.S. (ed). 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Wiley, London.
- Holmberg, J. (ed). 1992. *Policies for a small Planet*. London: Earthscan. En: Innes, J. E. 1998. Information in communicative planning. *Journal of the American Planning Association* **64**(1): 52-63.
- Horner, M.A., T.H. Fleming and C.T. Sahley. 1998. Foraging behavior and energetics of a nectar feeding bat, *Leptonycteris curasoe* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Journal of Zoology London* **244**: 575-586.
- Howe, H. F. and Westley. 1988. *Ecological relationships of plants and animals*. Oxford University Press, Oxford, England.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 1981. Carta Topográfica. Clave E14D17 Cuicatlán, escala 1:50,000. Segunda Impresión. Secretaría de Programación y Presupuesto.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 1995. Ortofotos digitales E14D16C, E14D16F, E14D17A, E14D17D, escala 1: 20,000.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI). 2001. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Aguascalientes, Ags., México.
- Johnson, B.L. 1999. Introduction to the special feature: adaptative management-scientifically sound, socially challenged?. *Conservation Ecology* **3**(1):10.
- Kates, R. W., W. C. Clark y R. Corell. 2001. Sustainability science. *Science* **292**: 641-2.

- Statement of the Friibergh Workshop on Sustainability Science.
- Larkin, P. 1977. An epitaph for maximum sustained yield. Transactions of the American Fisheries Society **106**: 1-11.
- Ledig, T. F. 1997. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. En: J. J. Vargas., B. Bermejo y F. T. Ledig (Eds). Manejo de recursos genéticos forestales. USDA/FAO/SEMARNAP. México.
- Lefkovich, L. P. 1965. The study of the population growth in organisms grouped by stages. Biometrics **21**: 1-18.
- Leslie, P. H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. Biometrika **33**: 183-212.
- Leuschner, W. A. 1990. Forest regulation, harvest scheduling and planning schedules. John Wiley & Sons, New York, New York, USA.
- Lucio, J.D. 2005. Variabilidad Genética y procesos de Domesticación de *Polaskia chichipe* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo.
- Ludwig, D. 1993. Environmental Sustainability: Magic, Science, and Religion in natural resource management. Ecological Applications **3**(4): 555-558.
- Ludwig, D., R. Hilborn., C. Walters. 1993. Uncertainty, Resource Exploitation, and Conservation: Lessons from History. Ecological Applications **3**(4): 547-549.
- Maas, J. M. y A. Martínez-Yrizar. 1990. Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias **especial 4**: 10-20
- MacNeish, R. 1967. A summary of the subsistence. En: Byers, D. The prehistory of the Tehuacan Valley. Vol I. University of Texas. London.
- Martínez-Alier, J. 2004. El ecologismo de los pobres. Editorial Icaria-Antraz.
- Masera, O., M. Astier y S. López-Ridura. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. México. Mundi-Prensa México S.A de C.V. México.
- Masera, O. y S. López-Ridura. 2000. Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México Rural. Mundi-Prensa México S.A de C.V. México.
- Mercado, A. y D. Granados. 1999. La pitaya: Biología, Ecología, Fisiología sistemática, Etnobotánica. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- McLain, R.J. y R.G. Lee. 1996. Adaptive management: promises and pitfalls. Environmental Management **20**:437-448.

- Nassar, J.M., J.L. Hamrick and T.H. Fleming. 2003. Population genetic structure of Venezuelan Chiropterophilous columnar cacti (Cactaceae). *American Journal of Botany* **90**(11): 1628-1637.
- Nobel, P. S. 1992. Annual variations in flowering percentage, seedling establishment, and Ramet production for a desert perennial. *International Journal of Plant Sciences*. **153**(1): 102-107.
- Oaxaca-Villa, B. G. 2003. Biología reproductiva de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Oaxaca-Villa, B. G., A. Casas y A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology in wild and silvicultural managed populations of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **53**: 277-287.
- Olmsted, I. and E. R. Alvarez-Buylla. 1995. Sustainable Harvesting of Tropical Trees: Demography and Matrix Models of two Palm Species in Mexico. *Ecological Applications* **5**(2): 484-500.
- Ortega, P. 2001 Establecimiento y demografía de *E. chiotilla* en una cronosecuencia edáfica. Tesis de Maestría. UNAM. México.
- Otero-Arnaiz, A., A. Casas., C. Bartola., E. Perez-Negrón and A. Valiente-Banuet. 2003. Evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) Under Domestication in the Tehuacán Valley, Central Mexico: Reproductive Biology. *American Journal of Botany* **90**(4): 593-602.
- Otero-Arnaiz, A; A. Casas and J.L. Hamrick. 2005a. Direct and indirect estimates of gene flow among wild and managed populations of *Polaskia chichipe*, an endemic columnar cactus in Central Mexico. *Molecular Ecology*. 14: 4313-4322.
- Otero-Arnaiz, A; A. Casas; J.L. Hamrick and J. Cruse-Sanders. 2005b. Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, central Mexico. *Molecular Ecology*. 14: 1603-1611.
- Parker, K. C. 1988. Growth retes of *Stenocereus thurberi* and *Lophocereus schottii* in southern Arizona. *Bot. Gaz.* **149**: 335-346.
- Parker, K. C. y J. L. Hamrick. 1992. Genetic Diversity and clonal structure in a columnar cactus, *Lophocereus schottii*. *American Journal of Botany* **79**(1): 86-96.
- Pérez-Negrón, E. 2002. Etnobotánica y Aspectos Ecológicos de las plantas útiles de Santiago

- Quotepec, Cuicatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Pérez-Negrón, E. y A. Casas. 2007. Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Quotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments* **70**(2): 356-379.
- Pezzey, J. 1992. Sustainable Development concepts; An Economic Analysis. World Bank-The World Bank Environment Paper.
- Pierson, E.A. and R. M. Turner. 1998. An 85-years study of saguaro (*Carnegiea gigantea*) demography. *Ecology* **79**(8): 2676-2693.
- Pimienta-Barrios, E. 1990. El Nopal Tunero, Universidad de Guadalajara, Zapopan, México.
- Pimienta-Barrios, E. and P.S. Nobel. 1994. Pitaya (*Stenocereus* spp., Cactaceae): an ancient and modern fruit crop of Mexico. *Economic Botany* **48**(1): 76-83.
- Pimienta-Barrios, E. 1999. El pitayo en Jalisco y especies afines en México. Editorial Pandora, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco.
- Pimienta-Barrios E. & R. F. del Castillo. 2002. Reproductive Biology. In: *Cacti, Biology and uses*. Park S. Nobel ed. University of California Press.
- Proctor, M., P. Yeo and A. Lack. 1996. The natural history of pollination. Harper Collins, London, UK.
- Rangel, S. y R. Lemus. 2002. *Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los Ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca*. Tesis de licenciatura de la UMSNH.
- Ratsirarson, J., J. A. Silander, JR; A. F. Richard. 1996. Conservation and Management of a Threatened Madagascar Palm species, *Neodypsis decaryi*, Jumelle. *Conservation Biology* **10**(1): 40-52.
- Real, L. A. editor. 1994. *Ecological genetics*. Princeton University Press. Pinceton, New Jersey.
- Rodríguez-Arévalo, I., A. Casas., R. Lira y J. Campos. 2006. Uso, manejo y procesos de domesticación de *Pachycereus hollianus* (F.A.C. Weber) Buxb. (Cactaceae), en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán, México. *Interciencia* **31**(9): 677-685.
- Rojas-Martínez, A. y A. Valiente-Banuet. 1996. Análisis comparativo de la quiroptero fauna del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana* **67**: 1-23.
- Ruesga, S. M. y G. Durán. 2000. *Empresa y medio ambiente*. Pirámide. Madrid.
- Ruíz-Durán, M. E. 2007. Patrones de diversidad genética y procesos de domesticación de *Polaskia chende* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán. Puebla. Tesis de licenciatura de la

UMSNH.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1993. Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press.
- Shanley, P., A. R. Pierce, S. A. Laird y A. Guillén. 2002. Explotando el mercado verde. Certificación y manejo de productos forestales no maderables. Manual de Conservación de la Serie Pueblos y Plantas No. 7. World Wildlife Fund, UNESCO, Royal Botanic Gardens Kew.
- Silva, W.R. 1988. Ornitoria em *Cereus peruvianus* (Cactaceae) na Serra do Japi, Estado de Sao Paulo. Revista Brasileira de Biología **48**: 381-389.
- Silvertown, J., M. Franco., I. Pisanty; A. Mendoza. 1993. Comparative plant demography-relative importante of life-cycle components the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. Journal of Ecology **81**: 465-476.
- Skogen, K. 2003. Adapting adaptive management to a cultural understanding of land use conflicts. Society and Natural Resources **16**(5): 435-450.
- Smil, V. 1987. A perspective on global environmental crises. Futures **19**(3): 240-253.
- Solís L. 2006 *Etnoecología cuicateca en San Lorenzo Pápalo, Oaxaca*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Soulé, M. E. editor. 1986. Conservation biology: The science of scarcity and diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Steebergh, W.H. and C.H. Lowe. 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at the Saguaro National Monument, Arizona. Ecology **50**: 825-834.
- Terborgh, J. 1986. Keystone plant resources in the tropical forest. 330-344: in M. E. Soulé, editor. Conservation biology: The science of scarcity and diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Ticktin, T., P. Nantel., F. Ramirez and T. Johns. 2002. Effects of Variation on Harvest Limits for Nontimber Forest Species in Mexico. Conservation Biology **16**(3): 691-705.
- Tinoco, A. R. 2002. Genética de poblaciones silvestres y manejadas *in situ* de *Escontria chiotilla* (F.A.C. Weber) Rose (Cactaceae) en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Tinoco, A. R., A. Casas., R. Luna y K. Oyama. 2005. Population genetics of *Escontria chiotilla*

- in wild and silvicultural managed populations in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **52**: 525-538.
- Toledo, V. M. y M. J. Ordóñez. 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. En: Ramamoorthy, T.P, R. Bye, A. Lot y J. Fa (compiladores). *Diversidad Biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México.
- Toledo, V. M. 2000. La paz en Chiapas. Ecología, luchas indígenas y modernidad alternativa. Ediciones Quinto Sol / UNAM. México.
- Toledo, V. M. 2003. Ecología, espiritualidad y conocimiento. De la sociedad de riesgo a la sociedad sustentable. Universidad Iberoamericana / Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México.
- Torres, I. 2004. Etnobotánica y aspectos ecológicos de los recursos vegetales en una comunidad popoloca de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de licenciatura.UMSNH
- Turner, R. M., S. M. Alcorn., G. Olin and J. A. Booth. 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette* **127**: 95-102.
- Valiente-Banuet, A., A. Rojas-Martínez., A. Casas., M. C. Arizmendi y P. Dávila. 1997. Pollination biology of two winter-blooming giant columnar cactus in the Tehuacán Valley, central Mexico. *Journal of Arid Environments* **37**: 331-341.
- Valiente-Banuet, A. and E. Ezcurra. 1991. Shade as cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ecology* **79**: 961-971.
- Valiente-Banuet, A., M.C. Arizmendi., A. Rojas-Martínez and L. Domínguez-Canseco. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* **12**: 103-119.
- Valiente-Banuet, A., A. Casas., A. Alcántara., P. Dávila., N. Flores., M.C. Arizmendi., J.L. Villaseñor., J. Ortega y J. A. Soriano. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **67**: 25-74.
- Valiente-Banuet, A., M.C. Arizmendi., A. Rojas-Martínez., A. Casas., H. Godínez-Álvarez., C. Silva & P. Dávila. 2002a. Biotic Interactions and Population Dynamics of Columnar Cacti. In: *Columnar Cacti and Their Mutualists: Evolution, Ecology, and Conservation*. Edited by Theodor H. Fleming and Alfonso Valiente-Banuet. The University of Arizona Press

Anexo 1.- Formato de Encuesta**ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE CONSUMO Y COMERCIALIZACIÓN DE FRUTOS DE CACTÁCEAS COLUMNARES EN SANTIAGO QUIOTEPEC, OAXACA.**

Nombre del jefe o jefa de familia. _____

Número de integrantes de la familia. _____, Adultos _____, niños _____

¿De qué cactáceas columnares consume frutos?	Botones	flores	semillas
() <i>Escontria chiotilla</i> = chonosle, jiotilla	()	()	()
() <i>Stenocereus pruinosus</i> = pitaya de mayo	()	()	()
() <i>Stenocereus stellatus</i> = pitaya	()	()	()
() <i>Myrtillocactus geometrizans</i> = garambullo	()	()	()
() <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> = teteche	()	()	()
() <i>Pachycereus weberi</i> = cardón	()	()	()
() <i>Pilosocereus chrysacanthus</i> = nana abuela	()	()	()
() <i>Pachycereus hollianus</i> = baboso	()	()	()

¿Cuales prefiere?

- () *Escontria chiotilla* = chonosle, jiotilla
- () *Stenocereus pruinosus* = pitaya de mayo
- () *Stenocereus stellatus* = pitaya
- () *Myrtillocactus geometrizans* = garambullo
- () *Neobuxbaumia tetetzo* = teteche
- () *Pachycereus weberi* = cardón
- () *Pilosocereus chrysacanthus* = nana abuela
- () *Pachycereus hollianus* = baboso

¿Cuánto consume por temporada?*Escontria chiotilla* = chonosle, jiotilla _____*Stenocereus pruinosus* = pitaya de mayo _____*Stenocereus stellatus* = pitaya _____*Myrtillocactus geometrizans* = garambullo _____*Neobuxbaumia tetetzo* = teteche _____*Pachycereus weberi* = cardón _____*Pilosocereus chrysacanthus* = nana abuela _____

Pachycereus hollianus = baboso _____

¿Cómo consume los frutos?	mermelada	frescos	secos	agua	paleta	pulque	otro
<i>Escontria chiotilla</i> = chonosle, jiotilla	()	()	()	()	()	()	()
<i>Stenocereus pruinosus</i> = pitaya de mayo	()	()	()	()	()	()	()
<i>Stenocereus stellatus</i> = pitaya	()	()	()	()	()	()	()
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> = garambullo	()	()	()	()	()	()	()
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> = teteche	()	()	()	()	()	()	()
<i>Pachycereus weberi</i> = cardón	()	()	()	()	()	()	()
<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> = nana abuela	()	()	()	()	()	()	()
<i>Pachycereus hollianus</i> = baboso	()	()	()	()	()	()	()

¿Vende frutos? Si () No (). Fresco () o procesado ()

¿Cuánto fruto fresco vende por temporada?

¿A como le pagan el kilo? ¿Dónde?

Escontria chiotilla = chonosle, jiotilla _____

Stenocereus pruinosus = pitaya de mayo _____

Stenocereus stellatus = pitaya _____

Myrtillocactus geometrizans = garambullo _____

Neobuxbaumia tetetzo = teteche _____

Pachycereus weberi = cardón _____

Pilosocereus chrysacanthus = nana abuela _____

Pachycereus hollianus = baboso _____

¿Varía el precio en la temporada? Si () No (). ¿Cómo varía? _____

Costos de producción.

Cosecha familiar: número de personas _____ número de días _____ Salario por día. \$ _____

Cosecha asalariada: número de personas _____ número de días _____ Salario por día. \$ _____

Costos de transporte. _____ **Costos de venta.** _____

¿Cuáles frutos se venden más?

- () *Escontria chiotilla* = chonosle, jiotilla
- () *Stenocereus pruinosus* = pitaya de mayo
- () *Stenocereus stellatus* = pitaya
- () *Myrtillocactus geometrizans* = garambullo
- () *Neobuxbaumia tetetzo* = teteche
- () *Pachycereus weberi* = cardón
- () *Pilosocereus chrysacanthus* = nana abuela
- () *Pachycereus hollianus* = baboso

Fruto procesado

Especie	producto	Cantidad de fruta	Cantidad producto	Costo producción	Costo de empaque	Costo de transporte	Costo de venta	Precio por unidad

¿Qué productos se venden más?

Parcelas de temporal

¿Qué superficie(s) tiene(n) la(s) parcela(s) y Como es el terreno? plano (P), inclinado (I), muy inclinado (MI) _____

¿Desmontó la parcela? Si (), No (). ¿Cuándo? _____

¿Cuántos días tardo? _____. ¿Cuántos peones contrato y cuanto les pago? _____

¿Cuánto maíz produce esta parcela al año? _____

¿Cuánto frijol produce por hectárea al año? _____

¿Qué otras cosas produce y cuánto produce por hectárea al año? _____

¿Cuánto dinero gasto en la producción?

Cultivo _____ semilla \$ _____ fertilizante \$ _____ Pesticidas \$ _____

Maquinaria o yunta \$ _____ Jornales Familiar (F), asalariado (A): labranza \$ _____

Siembra \$ _____ Fertilización \$ _____ Escarda o deshierbe \$ _____

Cosecha \$ _____ Otros \$ _____

Cultivo _____ semilla \$ _____ fertilizante \$ _____ Pesticidas \$ _____

Maquinaria o yunta \$ _____ Jornales \$ _____

Cultivo _____ semilla \$ _____ fertilizante \$ _____ Pesticidas \$ _____

Maquinaria o yunta \$ _____ Jornales \$ _____

Cultivo _____ **semilla** \$ _____ **fertilizante** \$ _____ **Pesticidas** \$ _____

Maquinaria o yunta \$ _____ **Jornales** \$ _____

¿Cuánto producto vende y en cuanto? _____

¿Dónde lo vende? _____

¿Cuánto gasta en flete? _____

ANEXO 2. Formato de Encuesta locatarios**ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE COMERCIALIZACIÓN DE FRUTOS DE CACTÁCEAS COLUMNARES EN LOS MERCADOS REGIONALES.**

Nombre. _____

Localidad. _____

¿Qué cactáceas columnares vende? ¿Qué es lo que vende?	Botón	flor	fruto	semilla
() <i>Escontria chiotilla</i> = chonosle, jiotilla	()	()	()	()
() <i>Stenocereus pruinosus</i> = pitaya de mayo	()	()	()	()
() <i>Stenocereus stellatus</i> = pitaya	()	()	()	()
() <i>Myrtillocactus geometrizans</i> = garambullo	()	()	()	()
() <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> = teteche	()	()	()	()
() <i>Pachycereus weberi</i> = cardón	()	()	()	()
() <i>Pilosocereus chrysacanthus</i> = nana abuela	()	()	()	()
() <i>Pachycereus hollianus</i> = baboso	()	()	()	()

Otros:

¿Dónde compra el producto?**¿Cuánto le cuesta?****¿En cuanto lo vende?**

¿Varía el precio en la temporada? Si () No (). ¿Cómo varía? _____

¿Cuánto vende por temporada?*Escontria chiotilla* = chonosle, jiotilla _____*Stenocereus pruinosus* = pitaya de mayo _____*Stenocereus stellatus* = pitaya _____*Myrtillocactus geometrizans* = garambullo _____

Neobuxbaumia tetetzo = teteche _____

Pachycereus weberi = cardón _____

Pilosocereus chrysacanthus = nana abuela _____

Pachycereus hollianus = baboso _____

¿Vende producto procesado? Si () No ().

Fruto procesado

Especie	producto	Cantidad de fruta	Cantidad producto	Costo producción	Costo de empaque	Costo de transporte	Costo de venta	Precio por unidad

¿Qué productos se venden más?
