



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

Manejo de Ecosistemas

**ASPECTOS ECOLÓGICOS, CULTURALES Y ECONÓMICOS DEL
APROVECHAMIENTO DE *Agave potatorum* EN EL VALLE DE**

TEHUACÁN-CUICATLÁN

TESIS

que para optar por el grado de:

Doctora en Ciencias

Presenta:

América Minerva Delgado Lemus

Tutor principal: Dr. Alejandro Casas Fernández

.....Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Comité tutor: Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Dr. Oswaldo Téllez Valdés

Facultad de Estudios Superiores Iztacala , UNAM

Dr. Eduardo García Frapolli

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

MÉXICO, D.F., agosto de 2015



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD

Manejo de Ecosistemas

**ASPECTOS ECOLÓGICOS, CULTURALES Y ECONÓMICOS DEL
APROVECHAMIENTO DE *Agave potatorum* EN EL VALLE DE**

TEHUACÁN-CUICATLÁN

TESIS

que para optar por el grado de:

Doctora en Ciencias

Presenta:

América Minerva Delgado Lemus

Tutor principal: Dr. Alejandro Casas Fernández

.....Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Comité tutor: Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Dr. Oswaldo Téllez Valdés

Facultad de Estudios Superiores Iztacala , UNAM

Dr. Eduardo García Frapolli

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

MÉXICO, D.F., agosto de 2015



Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente.-

Por medio de la presente, me permito informar a usted, que en reunión ordinaria del Subcomité por Campo de Conocimiento (Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas) del Posgrado en Ciencias Biológicas, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **Doctora en Ciencias** de la alumna **AMÉRICA MINERVA DELGADO LEMUS** con número de cuenta **505017064** con la tesis titulada **"Aspectos ecológicos, culturales y económicos del aprovechamiento de Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán"**, bajo la dirección del **Dr. Alejandro Casas Fernández**, Tutor Principal.-

Presidente:	Dr. Raúl Omar Masera Cerutti
Vocal:	Dra. Ana Isabel Moreno Calles
Secretario:	Dr. Oswaldo Tellez Valdés
Suplente:	Dr. Michael Keith McCall
Suplente:	Dr. Rafael Lira Saade

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 28 de julio de 2015

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa



AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por abrirme sus puertas.

Al posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

Al financiamiento de mis estudios aportados a través de los siguientes proyectos:

- Manejo y conservación in situ de recursos genéticos de zonas áridas de México: un enfoque etnobotánico, ecológico y evolutivo (CONACYT, Proyecto CB-2008-01-103551).
- Manejo y domesticación de recursos vegetales en Mesoamérica. Financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM (proyecto IN205111-3).
- Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos forestales en Mesoamérica. Financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM (proyecto IN209214).
- Domesticación y manejo in situ de recursos genéticos en el Nuevo Mundo: Mesoamérica, Los Andes y Amazonia. CONACYT, Proyecto CB-2013-01-221800).
- Environmental Governance in Latin America and the Caribbean. European Commission, European Research Area. Local Solutions for Environmental Justice. Project no: 266710.

A mi tutor Alejandro Casas Fernández, por su incondicional apoyo.

Al Dr. Diego Pérez Salicrup, al Dr. Oswaldo Téllez Valdés y al Dr. Eduardo García Frapolli, miembros de mi Comité Tutoral por sus valiosos comentarios y sugerencias durante el desarrollo de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A los habitantes de San Luis Atolotitlán y Santa María Ixcatlán por compartir su tiempo y sus saberes. Especialmente a los productores de mezcal de San Luis Atolotitlán: Don Carmelo Jinés, maestro mezcalero Guillermo García Rodríguez, Isidoro Geraldo, Lorenzo Mendoza, Gaudencio Sánchez, Luis Jinés, Familia Ortega, Iovani Macedas, Gustavo Hernández, Calixto García, Taurino García, Manuel Macedas e hijos y Jesús Hernández; y de Santa María Ixcatlán: Amando Alvarado, Amando Alvarado Álvarez, Cupertino Mendoza Herrera, Mauro Salazar Hernández, Jaime Flores Jiménez, Juan Javier Bautista, Simitrio Mendoza Álvarez, Marcial Salazar Hernández, Constantino Guzmán Martel, Hugo Cergueda, Alberto Hernández y sus familias.

A Lucy Ortega Hernández y su familia por abrir las puertas de su casa y su corazón y compartir su tiempo, espacio y alimento, y por ese mole tan delicioso.

A Don Amando y Doña Irma por su hospedaje y las pláticas amenas sobre la vida y costumbres en Ixcatlán.

Al señor Alberto Hernández Rosales, por guiarnos en el territorio de Ixcatlán y compartir su experiencia y conocimientos sobre la naturaleza.

A Michael Swanton y el equipo de lingüistas por compartir su trabajo y percepciones sobre la cultura ixcatteca.

Al Dr. Alejandro Casas, mi maestro y asesor, por guiarme con sus enseñanzas, cuestionarme con sus acciones e impulsar mis fortalezas y debilidades, pero sobre todo por confiar incondicionalmente en mí. Gracias infinitas Alejandro.

Al Dr. Oswaldo Téllez, por sus acertados comentarios y explicación de los procesos con mapas y distribución potencial y percepciones sobre la abundancia de agave en el Valle.

Al Dr. Diego Pérez Salicrup por esas opiniones que me hacen pensar más en el todo.

Al Dr. Eduardo García Frapolli por sus valiosos comentarios.

Al Dr. Omar Maserá, Dr. Oswaldo Téllez, Dr. Michael McCall, Dr. Rafael Lira y la Dra. Ana Isabel Moreno, miembros del jurado por sus valiosos comentarios y cuestionamientos.

Al técnico académico Edgar Pérez-Negrón Souza, por su apoyo en el trabajo de campo.

A Heberto Ferreira y Alberto Valencia por su apoyo técnico durante el desarrollo de esta tesis y en las videoconferencias.

Al personal del Posgrado en Ciencias Biológicas, especialmente a la asistente del posgrado en Morelia Janik Equihua por su paciencia, orientación y ayuda con los trámites.

A mi compañero y amigo José Juan Blancas, por contagiar esa tranquilidad y entusiasmo, por su invaluable ayuda con los PCAs, las discusiones, conversaciones y tantas experiencias juntos en las Américas. Gracias José.

A mis compañeros de laboratorio de Ecología y Evolución de Recursos Vegetales: Nacho, José, Ana, Mariana, Susa, Carmen Julia, Yaayé, Sele, Carmen, Fabiola, Leo y Gonzalo, por sus comentarios y cuestionamientos, por enriquecer mi visión sobre los socio-ecosistemas y por tantas vivencias y enseñanzas.

A todos mis compañeros y amigos biólogos, especialmente a Danielax, quien siempre que volteo esta a mi lado.

A mi madre Blanca Lemus Ruiz por su apoyo en todas las dimensiones, su solidaridad y amor incondicional, pero sobre todo por ser el mejor modelo a seguir. Gracias Ma.

A mis padres Alejandro Delgado por recordarme confiar siempre en lo que llevo dentro, y David Barkin por cuestionar todo lo que pienso y digo y por su apoyo constante en mi desarrollo.

A mis hermanas Blanca, Maya, Tzitzí y mi hermano Gabriel, por ser tan diferentes y aun así estar siempre unidos.

A mis sobrinos Abril, Checo, Zazil, Shanín y Darius, por nutrirme con su sonrisa y recordarme por qué debemos seguir coloreando, nadando y jugando.

A mis amigos carnales Mario y Gerard por la empatía, las vivencias, el cariño y por formar parte palpable de mi entorno.

A mi mezcarnal Daniel AbdelMassih, por acompañarme hasta el fin en busca de las mil caras, nombres, apellidos y parajes del mezcal y de la comprensión de los procesos de mezcalización.

A todas mis amigas, especialmente a Damar, por escucharme y ayudarme a bajarme la vida con café cargado, Jaime López y Savoy Brown.

Especialmente quiero agradecer a Nacho, mi compañero de vida, de experiencias, de puertos distintos, trabajos y publicaciones. Por ser mi mejor amigo y crítico. Mil gracias amore, eres mi tonalli.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
CAPÍTULO II	
Delgado-Lemus A, Torres I, Blancas J and Casas. A. (2014) Vulnerability and risk management of <i>Agave</i> species in the Tehuacan Valley, Mexico. <i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i> 10:53.....	30
CAPÍTULO III	
Torres I, Casas A, Delgado-Lemus A, y Rangel-Landa S. (2013) Aprovechamiento, demografía y establecimiento de <i>Agave potatorum</i> en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. <i>Zonas Áridas</i> 15(1):92-109.....	46
CAPÍTULO IV	
Delgado-Lemus A, Casas A, and Téllez O. (2014b) Distribution, abundance and traditional management of <i>Agave potatorum</i> in the Tehuacán Valley, Mexico: Bases for sustainable use of non-timber forest products. <i>Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine</i> 10:63.....	65
CAPÍTULO V	
DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES.....	78
REFERENCIAS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Capítulo I

Figura 1. <i>Agave potatorum</i>	5
--	---

Capítulo II

Figura 1. Mapa de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.....	34
---	----

Figura 2. Partes de la planta de <i>Agave</i>	35
---	----

Figura 3. Número de especies de <i>Agave</i> con distintos tipos de uso identificadas en el Valle de Tehuacán	39
---	----

Figura 4. Arreglo espacial de las especies de <i>Agave</i> del Valle de Tehuacán de acuerdo al Análisis de Componentes Principales realizado con variables socio-ambientales.....	41
---	----

Figura 5. Análisis de regresión del índice de intensidad de manejo como una función del índice de vulnerabilidad calculado por el score del primer componente principal del PCA de factores ecológicos, socio-culturales y del manejo.....	43
--	----

Figura 6. Análisis de Correspondencia Canónica que muestra la influencia relativa de factores ecológicos y socio-culturales y su interacción en las estrategias de manejo de las especies de <i>Agave</i> en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	44
--	----

Tabla 1. Criterios empleada para definir los valores de vulnerabilidad de las especies de agave de acuerdo a indicadores socio-culturales, económicos, ecológicos y biológicos.....	36
---	----

Tabla 2. Información de aspectos ecológicos, socio-culturales y del manejo de las especies útiles de agave registradas en el Valle de Tehuacán.....	38
Tabla 3. Índices de vulnerabilidad e intensidad de manejo para las diferentes especies de Agave utilizadas en el Valle de Tehuacán.....	42
Tabla 4. Análisis de permutación para las variables del Análisis de Correspondencia Canónica.....	44

Capítulo III

Figura 1. Mapa de ubicación de San Luis Atolotitlán en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán en los estados de Puebla y Oaxaca, México.....	60
Figura 2. Aspectos del recurso forestal estudiado y su aprovechamiento. A) <i>Agave potatorum</i> , b) <i>A. potatorum</i> en floración, c) extracción de <i>A. potatorum</i> con machete y d) tallos y bases foliares de <i>A. potatorum</i> cosechados.....	61
Figura 3. Estructura poblacional esperada y observada de los individuos de <i>Agave potatorum</i> con distintas categorías de tamaño para la población: a) Xochiltepec y b) Machiche.....	62
Figura 4. Ciclo de vida de <i>Agave potatorum</i> . Diagramas de flujo numérico poblacional para la población: a) Xochiltepec y b) Machiche.....	63
Figura 5. Aspecto de individuos juveniles de <i>Agave potatorum</i> asociados al microambiente benéfico aportado por <i>Gochmatia hyppoleuca</i> una especie nodriza sobresaliente.....	64

Capítulo IV

Figura 1. Área de estudio, San Luis Atolotitlán y otras comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán mencionadas.....	68
--	----

Figura 2. Aspecto de una planta de *Agave potatorum* Zucc. con escapo floral emergiendo69

Figura 3. Mapa de distribución potencial de *Agave potatorum* en el territorio de San Luis Atlotitlán, Puebla.....71

Figura 4. Porcentaje de ganancia correspondiente a cada eslabón de la cadena productiva de mezcal en San Luis Atlotitlán.....73

Tabla 1. Promedio de individuos adultos DE *Agave potatorum* (disponibles) por tipo de vegetación en el territorio de San Luis Atlotitlán, Puebla.....71

Tabla 2. Uso y formas de manejo de *Agave potatorum* registradas en San Luis Atlotitlán.....72

RESUMEN

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, es la región fisiográfica de México con mayor riqueza de especies del género *Agave*. Se han registrado 34 especies, de las cuales 25 y cuatro taxones intra-específicos son nativas (García-Mendoza, 2011); y siete especies son endémicas de la región (García-Mendoza, 2011; Eguiarte *et al.* 2000). *Agave potatorum*, especie de carácter multipropósito por su alto valor cultural y económico, ha sido usada por cientos de años en el Valle. Es una de las especies de agave más vulnerables debido principalmente a las elevadas tasas de extracción para producción de mezcal, influidas por la creciente demanda de esta bebida, por particularidades de su biología reproductiva que la hacen una especie prácticamente dependiente de la reproducción sexual determinada por la polinización por murciélagos, así como a los limitados esfuerzos de manejo enfocados en su conservación. En la presente investigación se analiza la diversidad de usos y formas de manejar las especies de agave de la región de Tehuacán-Cuicatlán con énfasis en *Agave potatorum*. Se identifican los factores ecológicos y socio-culturales que influyen en el riesgo o vulnerabilidad de las especies de agave aprovechadas, profundizando en el caso de *A. potatorum*. Caracterizamos la vulnerabilidad de cada especie considerando aspectos ecológicos como distribución, endemismo, tipo de reproducción, y culturales tales como valor económico, formas de uso y partes empleadas, formas de manejo y regulaciones sociales en torno al acceso al recurso. Se analiza cómo percibe la gente el riesgo en los patrones actuales de extracción del agave y las respuestas de manejo individuales o colectivas que han puesto en práctica habitantes de la región para enfrentar y disminuir tal riesgo. En particular, se examina la intensidad de uso y las técnicas de manejo del riesgo que practica la gente, bajo la hipótesis de que la intensidad del manejo es proporcional a la magnitud del riesgo a desaparecer que presentan las poblaciones de agave. Alternativamente, en condiciones similares la ausencia de manejo determina su decremento y desaparición. Se encontró que 28

de las 34 especies de *Agave* presentes en el Valle de Tehuacán tienen de uno a 16 usos. Siete especies se extraen de poblaciones silvestres y el resto recibe algún tipo de manejo para asegurar su permanencia. Se identificó el cultivo incipiente de *A. potatorum*, mientras que el trasplante intensivo de propágulos vegetales ocurre en las especies domesticadas con un amplio rango de distribución en México. Los valores más altos de intensidad de manejo fueron identificados para especies cultivadas, domesticadas con distribución amplia, pero las especies nativas más intensamente manejadas son aquellas con una alta demanda y valor económico, y generalmente son protegidas por regulaciones colectivas. Los análisis muestran una relación significativa entre vulnerabilidad y los índices de intensidad de manejo de las especies. El 61% de la variación en la intensidad de manejo se explica por factores socio-culturales, la información ecológica explica el 7.6%. Anualmente se extrae en comunidades productoras de mezcal entre 54% y 87% de individuos reproductivos de sus territorios y complementan sus requerimientos de agaves comprándolos a otras comunidades. Análisis demográficos de las poblaciones mejor conservadas indican que aunque éstas se encuentran en una tasa cercana al equilibrio, presentan tendencia al decrecimiento. La sobrevivencia de plántulas y juveniles es el valor que más aporta al desempeño demográfico, simulaciones de viabilidad poblacional sugieren que las poblaciones peligran a corto plazo. Se identificaron 12 especies de arbustos, nodrizas indispensables para el establecimiento de *A. potatorum*. De acuerdo con la percepción de la gente, se reconocieron factores ecológicos como baja abundancia, distribución restringida, y particularidades en su biología reproductiva y aspectos socio-culturales como principales factores del riesgo que impulsan a las personas a tomar medidas para aminorarlo. Con base en la información generada en el presente estudio se proponen bases para recuperación poblacional asistida y reordenamiento de prácticas extractivas y pecuarias bajo un esquema de manejo adaptativo que asegure la permanencia del *Agave potatorum* y de su aprovechamiento.

ABSTRACT

Agave potatorum is a species with multiple uses and of great cultural and economic importance, used for thousands of years in the Cuicatlán-Tehuacan Valley, the physiographic region with the greatest biodiversity of this *Agave* genre in Mexico. It is one of the most vulnerable species of agave because of its use in mescal production; the high rates of extraction of the plant are driven by growing demands for this drink. The plant is particularly vulnerable because of its reproductive biology that make its sexual reproduction dependent on polinization by bats, as well as the limited activities to assure its conservation. This dissertation reports on the uses and management patterns of agave species in the region, with particular attention directed to *Agave potatorum*. We examine the ecological and socio-cultural factors that create risks and influence the vulnerability of the agave species that are being used, again, with particular emphasis on *A. potatorum*. We characterize the vulnerability of each species, taking into account the ecological features such as distribution, endemism, type of reproduction, and cultural aspects like their economic value, forms of use and the parts that are actually used as well as social norms regarding access to the resource. We examine people perception of risk associated to mescal production in present-day patterns of extraction of the agave and having as background the history of use in the region and how individual and collective responses in management could help to confront and reduce risks. Specifically, we examine the intensity of use and the management techniques to reduce risk, guided by our hypothesis that the management is proportional to the magnitude of the risks agave populations' exhibit. We found that 28 of the 34 species of *Agave* present in the Tehuacan Valley have from one to sixteen uses. Seven species are extracted directly from wild populations and the remaining receives some sort of management to assure their permanence. This study identified the incipient cultivation of *A. potatorum*, while the intensive transplanting of vegetative suckers occurs in domesticated species widely

dispersed throughout Mexico. The highest values of management intensity occurred among these widely dispersed cultivated and domesticated species, which are in great demand and have a high economic value, and are generally protected by collective regulations. The analyses show a significant relationship between vulnerability and the indices of management intensity of the species. Sixty-one percent of the variation in management intensity is explained by socio-cultural factors, while ecological information explains 7.6%. Each year the mescal producing communities are harvesting between 54% and 87% of the reproductive individuals within their territories, supplementing their needs for agave with purchases from other communities. Demographic analysis of well-conserved populations indicates that although these are growing at close to equilibrium, in reality this growth is negative. Although survival of suckers and young plants contribute most to demographic behavior, simulations of population viability suggest that the populations are endangered in the near term. We identified twelve species of shrubs which are important for nurturing the *A. potatorum* in its early stages. According to the people's perception, the main condition of risk include the scarcity of harvestable agaves, limited distribution, and specificities of its biological and specificities of its biological reproduction as well as socio-cultural elements (preferences, demand, cultural significance). Our results show that the producers are taking measures to reduce these risks. On the basis of the information generated during our study, we propose measures for reestablishing populations and reconsidering extractive and animal pasturing practices to assure the use and permanence of *Agave potatorum*.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN GENERAL



INTRODUCCIÓN GENERAL

Agave, usos y manejo

La familia Asparagaceae (Agavoideae) agrupa especies originarias del Continente Americano distribuidas de manera natural desde el sur de Estados Unidos hasta Bolivia y las Antillas (Gentry, 1998). El género más diverso y representativo de esta familia es *Agave*, dentro del cual se incluyen alrededor de 204 especies, 163 de las cuales se encuentran en México. En total, 123 especies mexicanas de *Agave* (74%) son endémicas, por lo que el Territorio Nacional es considerado centro de origen, de diversificación y de endemismo del género (Vázquez-García *et al.*, 2013; García-Mendoza, 2011; Rocha *et al.*, 2006; Eguiarte *et al.*, 2000; Challenger, 1998; García-Mendoza, 1995; García-Mendoza y Galván, 1995). Los agaves, también llamados magueyes por el término caribe introducido por los españoles durante la Colonia, poseen gran importancia ecológica en México, pues son componentes clave en ecosistemas áridos y semiáridos del territorio nacional. Tienen además una alta importancia cultural y económica, pues han sido recursos utilizados desde la prehistoria mesoamericana (MacNeish, 1992). Su aprovechamiento se remonta a por lo menos diez mil años de antigüedad (MacNeish, 1992), y tan larga historia de interacción entre humanos y agaves permitió a las culturas mesoamericanas el desarrollo de un vasto conocimiento tradicional sobre estas plantas, sus propiedades aprovechables, así como el desarrollo de técnicas de manejo que han sido transmitidas, generación tras generación, algunas de ellas hasta el presente. Los agaves poseen un gran valor utilitario y un profundo significado cultural. No sólo proveen recursos para el sustento de miles de familias campesinas mexicanas, sino que además son parte esencial de su cultura; son elementos simbólicos de gran importancia, forman parte de la cosmovisión, de diversos rituales precolombinos y costumbres actuales, rituales para pedir o agradecer la lluvia o

brindárselo en la tumba a sus muertos (Gentry, 1982; Illsley *et al.* 2005; Bruman, 2000). Sus imágenes son parte crucial de la iconografía mexicana, lo mismo en códices prehispánicos que en la fotografía, la pintura y en general las artes contemporáneas (Goncalves de Lima, 1978; Hernández *et al.* 1985; Kismaric, 1997; Altamirano, 2006).

Los tallos, flores y escapos de diversas especies son consumidos, asimismo, se construyen viviendas con hojas y escapos de otras, las fibras de algunas más son usadas ampliamente para fabricar cuerdas, costales y redes, y con los tallos de decenas de especies se preparan bebidas alcohólicas fermentadas como el pulque y destiladas como el mezcal. Una amplia diversidad de especies son aprovechadas a partir de su extracción de poblaciones silvestres, y algunas han sido domesticadas o están en procesos incipientes de domesticación (Illsley *et al.*, 2005; Torres *et al.* 2015). Los conocimientos y usos son vigentes en distintas zonas del país, siendo de particular importancia cultural y económica su aprovechamiento para la producción de mezcal. Pero también es ésta la actividad que mayor impacto ecológico determina sobre las poblaciones silvestres de este grupo de plantas. Actualmente el mezcal se prepara en México con al menos 53 especies de agave en 26 estados del país (Colunga-García Marín *et al.* 2007, Torres *et al.* 2015) y cada una de estas bebidas alcohólicas posee propiedades organolépticas distintivas. Al ser los mezcales tan importantes en la cultura y la economía de los pueblos mexicanos, se han extraído intensivamente, pero en gran medida debido a la carencia de estrategias de manejo que garanticen su permanencia podría ponerse en riesgo el aprovechamiento de algunos agaves mezcaleros. Esta tesis centró su atención en procesos socio-ecológicos asociados al aprovechamiento de magueyes y mezcales que podrían repercutir en el riesgo.

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, área donde se realizó el presente estudio, es la región fisiográfica de México con mayor riqueza de especies del género *Agave*.

Se han registrado en la región 34 especies, de las cuales 25 y cuatro taxones intra-específicos son nativas (García-Mendoza, 2011); siete de estas especies son endémicas de la región: *A. macroacantha*, *A. nusaviorum*, *Agave nusaviorum* ssp *nusaviorum*, *A. scaposa*, *A. stricta*, *A. titanota*, *A. triangularis* (García-Mendoza, 2011; García-Mendoza, 2007; Eguiarte *et al.* 2000). Estudios etnobotánicos llevados a cabo en el área durante la presente investigación (Delgado-Lemus *et al.* 2014a) han documentado al menos un uso en 28 de las especies presentes en el Valle de Tehuacán, algunas de las cuales llegan a tener hasta 12 usos distintos y al menos siete especies son usadas para producir mezcal. Una de las especies mezcaleras de mayor importancia económica y cultural en la región es *Agave potatorum* (conocido en la región de Tehuacán-Cuicatlán como papalometl y en los Valles Centrales de Oaxaca como tobalá), endémica de Puebla y Oaxaca. Este *Agave* es predominantemente extraído de comunidades vegetales silvestres, no presenta reproducción vegetativa, es una especie semélpara y su cultivo es apenas incipiente en algunas zonas de los Valles Centrales de Oaxaca como en Sola de Vega, así como en algunas comunidades del Valle de Tehuacán-Cuicatlán como son Santa María Ixcatlán, Oaxaca; Caltepec, San Luis Atolotitlán, y Zapotitlán Salinas, Puebla. Su carácter silvestre, sin embargo, es una de las características valoradas en el mezcal de *papalometl*, el cual es uno de los más apreciados y cotizados en el Valle de Tehuacán y en los Valles Centrales de Oaxaca. Esta situación determina desde hace algunas décadas una enorme presión sobre las poblaciones de *A. potatorum* y sobre las comunidades bióticas en donde se encuentran, habiéndose registrado ya en éste y en otros trabajos de la región evidencia de extinciones de poblaciones locales, o bien, poblaciones fragmentadas con un destino poco viable (Jiménez-Valdés *et al.* 2010; Torres *et al.* 2013, 2015).

En contrapeso, cabe señalar que en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán también se ha documentado una alta diversidad de estrategias de manejo de recursos vegetales (Blancas *et al.* 2010). Entre los recursos en los que existen experiencias

locales de manejo destacan los agaves, los cuales se aprovechan involucrando diversas estrategias y prácticas de recolección, así como en asociación con sistemas agrícolas y agroforestales (Casas *et al.* 2008; Blancas *et al.* 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2012). También se incluyen otras formas de manejo silvícola que implican la manipulación de individuos, poblaciones e incluso comunidades vegetales forestales en las que los agaves son componentes fundamentales (Casas *et al.*, 1996, 1997a, 2007, 2008; Blancas *et al.*, 2010). Estas formas de manejo se denominan silvícolas por involucrar el manejo de poblaciones y comunidades silvestres, y frecuentemente se practican en las propias áreas forestales o asociadas a sistemas agroforestales (Casas *et al.*, 2007, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2012). Las técnicas de manejo silvícola son de excepcional importancia pues pueden recuperarse, mejorarse e implementarse en planes de manejo y estrategias para la conservación de la biodiversidad a escala local y regional, al mismo tiempo que pueden contribuir a mejorar las condiciones de bienestar de la población del área.

Percepción local de riesgo

Es notoria la percepción del riesgo de permanencia de *Agave potatorum* que posee la gente de la región, consciente del deterioro de las comunidades vegetales debido en gran medida a la extracción intensiva, mencionando con frecuencia que prácticamente no se observan inflorescencias y que hay cada vez menos individuos disponibles en parajes que otrora abundaban, por lo que hay que ir cada vez más lejos para extraerlo. Otro factor comúnmente mencionado por los manejadores del agave que podría incidir en el riesgo es la escases de agua, desde la década pasada cada año llueve menos, lo que afecta la germinación de semillas y su establecimiento, tanto natural como en sitios reforestados, como sucede en la comunidad de San Luis Atlotitlán, Puebla. Una investigación previa en ésta comunidad desveló la profunda preocupación de la gente por realizar acciones

encaminadas a aumentar la abundancia del *A. potatorum*, así como por otros recursos como la leña, indispensable para la vida diaria, además de ser necesaria para la producción de mezcal. Algunas personas mostraron auténtica preocupación por la persistencia de la producción de mezcal, no solo por la situación actual de las poblaciones silvestres del agave, también porque las generaciones jóvenes migran a otras ciudades, perdiendo el vínculo con las actividades productivas locales y porque la tendencia actual en la producción de mezcal parece dejar de lado la calidad de los destilados y el estrecho lazo cultural que implica esta actividad. En este sentido la propuesta del índice de vulnerabilidad se basó en estas percepciones locales de riesgo, identificando factores ecológicos y socioculturales para su análisis.

Factores determinantes del riesgo

Existen diversas definiciones de riesgo en la investigación científica, generalmente los análisis de riesgo se han relacionado a ramas de investigación de la salud, o de asesoramiento de riesgo ambiental por ejemplo en el caso de contaminantes en ambientes humanos (ver publicaciones del Journal of Risk Research). En décadas recientes se ha desarrollado investigación en torno al riesgo en diversas disciplinas (Wiener and Rogers, 2002). Todas las actividades humanas implican riesgo, mientras que ciertos riesgos son conocidos y están bien documentados, otros son desconocidos, inciertos (Wiener and Rogers, 2002). En el presente trabajo se hace referencia al riesgo como el peligro o probabilidad de que un recurso se pierda o que la permanencia de poblaciones de éste se encuentre amenazada. El riesgo puede afectar no solamente a una especie o a alguna de sus poblaciones en particular, generalmente el riesgo de poblaciones o especies particulares se encuentra asociado a amenazas al socio-ecosistema del cual forma parte (Ticktin, 2004). El riesgo de desaparecer que presenta cada especie o población depende de

su vulnerabilidad a las condiciones biofísicas del sistema del cual forma parte, las cuales varían en el espacio y en el tiempo y depende de la naturaleza de cada una de las especies en cuestión, de su resistencia o tolerancia a los efectos de distintos factores, tanto naturales como humanos, de su capacidad para recuperarse del disturbio. Aspectos intrínsecos a la biología de una especie como las formas de vida (si son herbáceas, arbustivas o arborescentes), aspectos de las historias de vida, si son especies policárpicas clonales longevas, como *Agave stricta*, o bien monocárpicas perennes con reproducción sexual y asexual como *A. marmorata*, o especies monocárpicas que presentan solo reproducción sexual, como es el caso de *A. potatorum* y *A. cupreata*, representan capacidades diferenciales para resistir a los efectos de factores ambientales, y para recuperarse después de haber sido afectadas por un disturbio (Ticktin, 2004; Jiménez-Valdés *et al.* 2010). También tienen importancia las características de su distribución y abundancia. Las especies con distribución amplia, relativamente más cosmopolitas, están adaptadas a un amplio rango de condiciones, lo que les confiere una mayor probabilidad de recuperarse después de un disturbio. Por otra parte, las especies con distribuciones limitadas, por ejemplo las especies endémicas y micro-endémicas, por estar adaptadas a ambientes más específicos, pueden resultar mucho más vulnerables al disturbio y a la fragmentación de su hábitat (Cox y Moore, 2005). De manera similar, una especie abundante puede tener más probabilidad de amortiguar el efecto de una perturbación y de recuperarse de ésta que una especie cuyas poblaciones son escasas y con pocos individuos. Otro aspecto importante es la dinámica de sus poblaciones, su demografía, la cual depende de tasas vitales como la natalidad, la mortalidad, el crecimiento, la supervivencia y la fecundidad (Caswell, 2000), las cuales reflejan aspectos centrales de su ciclo de vida. Estos aspectos puede ser menor o mayormente afectados por los factores bióticos y abióticos del entorno (Caswell, 2000), así como por la magnitud de un impacto humano y la existencia o no de prácticas de manejo.

Las variaciones en las condiciones climáticas y ambientales pueden influir la permanencia de una población. Pueden presentarse años favorables y años desfavorables para la germinación y el establecimiento de nuevos reclutas o para su crecimiento. En las poblaciones de plantas desérticas la dinámica poblacional puede variar enormemente de un año a otro, debido a condiciones ambientales cambiantes (Jiménez-Lobato y Valverde, 2006; Jiménez-Sierra, 2007). Se ha sugerido que periodos con bajo crecimiento poblacional pueden ser compensados por periodos de alto crecimiento, resultando en poblaciones que fluctúan alrededor del equilibrio (Jiménez-Sierra, 2007), como lo sugerido por Jiménez-Valdés *et al.* (2010) para poblaciones de *Agave marmorata* en el Valle de Tehuacán.

Otros factores determinantes de riesgo son los relacionados con las formas en que se llevan a cabo las prácticas extractivas, que tienen que ver con el tipo de manejo y la intensidad de éste. El manejo *in situ* se refiere a la manipulación o intervención humana de poblaciones o comunidades bióticas, mediante la recolección, tolerancia, inducción o protección de especies que brindan recursos útiles (Casas *et al.* 1996, 1997; Blancas *et al.* 2010). Por otra parte, el manejo *ex situ* se refiere a la manipulación de especies mediante la siembra de semillas, o la plantación de propágulos asexuales o bien el trasplante de individuos desde las zonas en las que se establecieron naturalmente hasta las zonas antropogénicas que deliberadamente eligen las personas que los manejan. Finalmente, diversas formas de cultivo, las cuales pueden incluir sistemas agroforestales en campo con una variable proporción de cobertura forestal, sistemas agrícolas intensivos con riego e insumos químicos y los huertos o solares aledaños a las casas, los cuales tienen una alta capacidad de alojar diversidad biológica y ensayar técnicas de manejo (Larios *et al.* 2013).

El riesgo y la percepción de éste son particularmente importantes en el estudio de poblaciones bajo manejo de las cuales se extraen recursos silvestres, pues la disponibilidad de recursos se encuentra bajo un menor control humano que los

recursos cultivados. Un buen ejemplo de esto, es el caso de los recursos forestales no maderables. La cosecha de dichos productos puede alterar procesos biológicos en distintos niveles, incluyendo la dinámica de las poblaciones del recurso colectado y de otras especies que se estresan o destruyen durante su colecta (Ticktin, 2004; Jiménez-Valdés *et al.* 2010). Por esto, en poblaciones bajo manejo es determinante la parte que se colecta o extrae: hojas, tallos, frutos, semillas o individuos completos, pues el impacto sobre el recurso es diferente al involucrarse tal o cual estructura, y si se trata de una o más de éstas. En poblaciones vegetales, la parte y cantidades extraídas, afectan de manera diferente el potencial de las especies a tolerar la cosecha (Ticktin, 2004) y recuperarse. En plantas con historias de vida, como la de especies arborescentes, por ejemplo, los límites estimados de cosecha para semillas o frutas, son más altos que para hojas. Muchos árboles no son capaces de tolerar niveles bajos de cosecha, cuando se trata de corteza, o meristemo apical por ejemplo (Ticktin, 2004). Además, la tolerancia a la cosecha está relacionada con la historia de vida de la planta cosechada. Por ejemplo, poblaciones de herbáceas perennes soportan mejor altos niveles de extracción que las poblaciones de árboles, ya que estos últimos tienden a ser de crecimiento lento y larga vida (Ticktin, 2004). En el caso de plantas como los agaves mezcaleros, se extraen individuos completos en estado pre-reproductivo o reproductivo, lo que cancela la reproducción sexual y producción de semillas, afectando el reclutamiento de nuevos individuos (Torres *et al.*, 2015). En poblaciones sujetas a altos niveles extractivos, puede afectarse negativamente la estructura y crecimiento de la población (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010; Torres *et al.* 2013, 2015). Como se mencionó anteriormente, debe tenerse en mente que no solo se extraen individuos de las especies útiles, también se cortan o remueven otras especies de plantas de la comunidad vegetal, generalmente para facilitar la extracción de las plantas deseadas, lo que puede tener efectos negativos en toda la comunidad biótica donde se aprovecha. Además, al remover individuos de una especie se afectan conjuntos

amplios de organismos de otras especies, vegetales o animales, que interactúan con la especie aprovechada (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010). Por ejemplo, al aprovechar plantas, sus polinizadores, frugívoros, dispersores de semillas, herbívoros, y las plantas que se involucran en interacciones de facilitación son afectadas por la pérdida de tales elementos.

También existe el riesgo asociado a un sistema de manejo, como el peligro que afronta tal sistema a desaparecer y puede estar determinado por distintos escenarios. Un cambio o abandono de un sistema de manejo puede darse como consecuencia del abatimiento en la disponibilidad de los recursos, o mejor dicho, la escasez de éstos, que son los insumos que sustentan el sistema de manejo. Otra causa de riesgo a la permanencia de un sistema de manejo puede ser la transculturación, así como la erosión cultural o pérdida de elementos culturales, la cual se acentúa por la migración de las generaciones más jóvenes, perdiendo el vínculo con sus comunidades, sus recursos y el interés por las actividades productivas locales, como es la producción de mezcal en Tehuacán (Rangel y Lemus, 2002; Delgado-Lemus, 2008). Además, las tendencias comerciales o la “popularidad” que gozan ciertos productos en el mercado, pueden desplazar otros productos de fabricación tradicional, amenazando la permanencia de sistemas productivos que forman parte importante de sistemas manejo tradicional. En este sentido, el riesgo de un sistema de manejo disminuye mientras los actores involucrados faciliten la adaptación a las condiciones cambiantes, implementando cambios en el sistema de manejo que lo ayuden a mantenerse vigente.

Debemos tener en cuenta que el sistema de manejo del que forma parte importante la producción de mezcal está constituido por diversas actividades que se complementan, en el espacio, abarcando la combinación de distintos parajes y tipos de vegetación donde se realizan diversas actividades como son: pastoreo, monitoreo de agave para ser extraído, colecta de recursos comestibles silvestres; y

en el tiempo, ocupando la producción la temporada más seca del año, dando lugar a temporada de actividades agrícolas y otras actividades productivas, las que también comparten gastos y ganancias entre ellas para lograr su subsistencia.

Desarrollo del índice de riesgo

De manera que el riesgo puede ser de distinta magnitud dependiendo de la combinación de diversos factores. Para tratar de comprender mejor el riesgo de una especie en relación al sistema de manejo del que forma parte, Torres *et al.* (2013) diseñaron un índice de vulnerabilidad, comparando doce especies útiles de *Agave* en el Valle de Tehuacán, incorporando información propia de las especies como su forma de reproducción; así como información pertinente al tipo de manejo y parte empleada, si solo se emplean algunas hojas, las flores o el escapo completo, si extraen el tallo o trasplantan individuos completos. Al ponderar diferentes atributos, *Agave potatorum* resultó ser la especie más vulnerable en la región (Delgado-Lemus *et al.* 2014b).

En la presente investigación se aborda el riesgo empleando un índice diseñado como una herramienta preliminar para evaluación de riesgo, con el objetivo de identificar focos rojos, recursos o formas de aprovechamiento de recursos con altos costos ecológicos y bajos beneficios sociales.

El índice de riesgo propone comparar distintos escenarios de manejo en torno a un grupo de recursos de especial importancia, el de los agaves y permite una aproximación a la comprensión de cómo factores ecológicos y biológicos, prácticas de manejo guiadas por móviles culturales y económicos se relacionan, resultando distintos niveles de riesgo. Se ligan así el riesgo que presenta la especie o recurso, el riesgo que presentan los sistemas en los que está inmerso este recurso, y una fuerte percepción del riesgo de que la producción de mezcal, como se ha realizado hasta ahora, se pierda.

Producción de mezcal, problemática y riesgos asociados

En el Valle de Tehuacán, un número aún indeterminado de comunidades lleva a cabo la elaboración y comercialización de mezcal de diversas especies de agave y con igual diversidad de técnicas de producción. Estudios recientes (Torres, 2004; Rangel y Lemus, 2002; Delgado-Lemus, 2008; Rangel-Landa 2009; Torres 2009; Torres *et al.* 2013, 2015; Delgado-Lemus *et al.* 2014a, 2014b) han documentado la importancia económica y cultural de la producción de mezcal para algunas comunidades, así como la notoria reducción de poblaciones de esta especie o poblaciones degradadas, sobre todo las cercanas a sitios de producción de mezcal, como evidente consecuencia de su intensa extracción. También permiten apreciar una creciente demanda de la bebida en el mercado, lo que promueve una mayor producción de mezcal, mayor extracción y presión sobre las poblaciones del recurso. Algunos intermediarios incluso llegan a diluir o adulterar el producto, poniendo en riesgo de desaparición la producción tradicional de mezcal como se conoce hasta ahora, el aporte monetario que implica esta actividad al sustento campesino y la herencia cultural que representa.

Agave potatorum es un recurso con alto potencial económico para las comunidades rurales donde se prepara mezcal, y la gente lo sabe. También expresa la necesidad de mejorar su producción, la disponibilidad de maguey, las instalaciones y utensilios empleados en la producción, y de cobrar por botella un precio que les sea redituable. Sin embargo, el desarrollo y fomento de la industria mezcalera están ocurriendo sin una comprensión de los problemas ecológicos, sociales, económicos y culturales que el proceso de producción trae consigo. Resulta por lo tanto imperativo generar información sobre dichos procesos, que permita entender el papel de esta actividad en el sustento campesino, así como sus impactos sobre los ecosistemas de tan importante área natural. La producción de mezcal es un proceso complejo que entreteje aspectos ecológicos, culturales y

económicos, cuyo entendimiento requiere aproximaciones de investigación desde la ecología, la economía y la etnobiología. Evaluar el riesgo en los patrones actuales de aprovechamiento de *A. potatorum* con base en las dimensiones ecológica, sociocultural y económica resulta prioritario para replantear, rescatando las tecnologías locales eficientes y con bases científicas, nuevas estrategias basadas en un manejo integral y diversificado de los recursos, con la comunidad y su organización como eje principal e integrador. De manera que esta sea una actividad productiva rentable, que mejore las condiciones de vida de las familias involucradas en el sistema productivo, al tiempo que se conserven y restauren los ecosistemas de donde se extraen los insumos y la diversidad de técnicas de producción y mezcales resultantes.

Con base en la problemática descrita, la presente investigación dirigió su atención a las siguientes preguntas centrales:

¿Cuáles son los contextos del riesgo en el aprovechamiento de *Agave potatorum* a escalas local y regional?

¿Qué respuestas de manejo se han construido en función de los riesgos percibidos y cómo se han construido?

¿Qué respuestas de manejo pueden construirse con base en la información científica disponible?

Sabemos que los riesgos de perder esta especie son de distinta magnitud, dependiendo de la combinación de diversos factores: ecológicos, tecnológicos, económicos y culturales asociados al aprovechamiento. Esta especie se ha registrado distribuida en 14 tipos de asociaciones vegetales de acuerdo con la clasificación de Valiente-Banuet *et al.* (2000). Pero algunas de estas asociaciones han sido perturbadas por las actividades humanas, de manera que su estado de

conservación es heterogéneo. Asimismo, naturalmente la abundancia de *A. potatorum* en cada una de esas asociaciones es variable. De manera que el estado de conservación del tipo de vegetación y la abundancia natural de *A. potatorum* en cada tipo de vegetación son parte de los indicadores importantes del estado de riesgo del sistema. Mayor perturbación de los ecosistemas naturales y menor abundancia de agave en ellos son indicadores de mayor riesgo.

De manera similar, hay comunidades productoras y no productoras de mezcal, y el riesgo del sistema en principio estará marcado por este hecho. Sin embargo, hay comunidades no productoras de mezcal que son proveedoras de materia prima y que podrían impactar a las poblaciones de *A. potatorum* incluso más que las comunidades productoras. La demanda de mezcal es cambiante a lo largo del año y entre años y la magnitud de la demanda puede influir en el riesgo de permanencia del sistema. La magnitud de extracción de agaves en los sistemas forestales constituye otro importante indicador del riesgo para esta especie.

Finalmente, hay comunidades que han adoptado medidas para mitigar el riesgo en la disponibilidad de recursos. Algunas comunidades que aprovechan el agave carecen de medidas de manejo; pero otras como es el caso de San Luis Atlotitlán, Puebla, han desarrollado acuerdos comunitarios para acceder al recurso, generalmente un recurso colectivo; otras han ensayado su cultivo; otras más han impulsado proyectos de propagación en vivero y reforestación, como en Zapotitlán Salinas; otras han hecho lo anterior y han avanzado en el monitoreo de las acciones, y han tenido la oportunidad de replantearse la manera de aprovechar el recurso. La existencia de acuerdos y regulaciones comunitarias para proteger los recursos incluyendo los necesarios para la producción de mezcal, la complejidad, la implementación y el cumplimiento de tales acuerdos son un indicador de abatimiento del riesgo. La existencia de técnicas de manejo constituye un indicador adicional de tal abatimiento en el riesgo.

Estudios etnobotánicos regionales han documentado parcialmente algunas respuestas de manejo, las cuales suelen ser proporcionales a la magnitud de riesgo. En términos de menor a mayor intensidad, las respuestas de manejo pueden ser: 1) experimentos individuales, 2) colecta de semilla y siembra en almácigo; 3) experimentación colectiva (grupos de personas de diferentes magnitudes), 4) producción en vivero y reforestaciones; 5) reglas comunitarias (vedas, ordenamiento rotativo de la extracción; acciones colectivas, trabajo de vivero y reforestación).

Los escenarios de riesgo que se pueden construir hipotéticamente de la información anterior son diversos. Una mayor abundancia del recurso y una baja tasa de extracción significarán menor riesgo para el recurso analizado. En contraparte, la escasez del recurso combinada con una alta tasa de extracción significará mayor riesgo. La existencia de respuestas de manejo podrán abatir el riesgo, mientras que su ausencia en condiciones de alto riesgo pueden promover la extinción de poblaciones locales y eventualmente la extinción de la especie sujeta a aprovechamiento.

Hipótesis

Las respuestas de manejo y su intensidad son proporcionales a la magnitud del riesgo que presentan las poblaciones de agavea desaparecer. Sin embargo, existen casos en los que las respuestas no son proporcionales a la magnitud del riesgo y estos sistemas serán más propensos al colapso. De manera que la capacidad de recuperación del sistema dependerá de la capacidad natural de regeneración de las poblaciones silvestres, así como de la capacidad de los actores de poner en práctica respuestas de manejo.

Objetivo General

El principal objetivo de la presente investigación fue evaluar el riesgo que presentan distintos escenarios de manejo en el aprovechamiento de *Agave potatorum* con base en el análisis del riesgo asociado a sus condiciones de distribución y abundancia en el territorio de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, la importancia económica de la producción de mezcal, las tasas de extracción y las técnicas de manejo entre comunidades.

Objetivos Particulares

1. Documentar los usos, conocimiento tradicional, valor cultural y económico de *Agave potatorum*, las tecnologías locales empleadas en la producción de mezcal, volúmenes de extracción anual, así como redes comerciales regionales.
2. Analizar la distribución y abundancia regionales de *A. potatorum*, caracterizar la problemática ambiental de otros insumos (leña, agua, mano de obra) necesarios para la producción de mezcal.
3. Identificar los riesgos que trae la extracción de los insumos en las principales zonas productoras.
4. Documentar las técnicas y formas de organización tradicional que existen en la región dirigidas a aprovechar y conservar *A. potatorum* y analizar estrategias de planeación regional para fortalecer el aprovechamiento sustentable de este recurso.

El presente documento está conformado de la siguiente manera. El Capítulo II, titulado "*Vulnerability and risk management of Agave species in the Tehuacan Valley, Mexico*" es un artículo publicado en la revista *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. En éste se analizó la vulnerabilidad de las especies de *Agave* asociada a la intensidad de uso y a las técnicas de manejo practicadas en el Valle de Tehuacán. El análisis se basó en estudios etnobotánicos realizados en comunidades de la región, tanto indígenas como mestizas. Documentamos la diversidad de usos de las especies de agave, su importancia cultural y económica, e información ecológica para estimar la vulnerabilidad de las especies, con base a la propuesta de un método que considera tanto dimensiones ecológicas, como socioculturales y económicas. Se hipotetizó que la intensidad de las prácticas de manejo son proporcionales al grado del riesgo determinado por factores ecológicos y sociales, y que el propósito de éstas prácticas de manejo es disminuir la vulnerabilidad de las especies de agave útiles. 28 de las 34 especies de agave del Valle tienen al menos un uso y algunas hasta 14, como es el caso de *Agave marmorata* y el de *A. potatorum* con 12 usos distintos. En total, 16 especies de agave son comestibles, 13 especies se usan en cercas vivas, 13 para producir pulque, de 11 se extraen fibras, 11 son ornamentales, nueve se usan para la construcción y ocho son forrajeras. Siete especies se extraen para preparar mezcal, uso que representa el mayor riesgo por sus altas tasas de extracción. Además, 11 especies presentan algún valor comercial. Siete especies de *Agave* son extraídas exclusivamente de las poblaciones silvestres, mientras que el resto de las especies se encuentran bajo algún tipo de manejo, siendo el más común el transplante de las poblaciones silvestres a las áreas antropogénicas. Se identificó el cultivo incipiente de *Agave potatorum*, en pequeños terrenos aledaños a las casas, como linderos y cercos vivos principalmente. El cultivo intensivo por medio de propagación vegetativa está presente en especies domesticadas de amplia distribución, como las pulqueras. Las especies más vulnerables son *Agave nussaviorum* subsp. *nussaviorum*, *A. peacockii*, *A. convalis*,

Agave potatorum y *A. triangularis*, especies silvestres con distribución restringida y/o bajo un alto régimen de extracción. La información presentada en éste artículo constituye una importante contribución que documenta el conocimiento regional en cuanto a experiencias de uso y manejo de las 28 especies reportadas como útiles y puede ser una referencia en discusiones sobre planes de manejo y conservación de los agaves en la Reserva de la Biósfera.

El Capítulo III, titulado "*Aprovechamiento, demografía y establecimiento de Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable*" es un artículo publicado en la revista *Zonas Áridas*. En éste se integra información etnobiológica, económica y ecológica sobre el aprovechamiento de *Agave potatorum* en el territorio la comunidad de San Luis Atolotitlán, Puebla y se discuten recomendaciones para su manejo sustentable. Estimamos que anualmente se extrae entre 54% y 87% de los individuos reproductivos existentes en ese territorio; aun así, existe un déficit de alrededor de 5,000 agaves que son importados de otras comunidades. Análisis demográficos de poblaciones mejor conservadas indican que se encuentran cercanas al equilibrio, sin embargo presentan tendencias al decrecimiento. La sobrevivencia de las plántulas y juveniles es el valor que más aporta al desempeño demográfico, simulaciones de viabilidad poblacional sugieren que las poblaciones peligran a corto plazo. Se identificaron 12 especies de arbustos con calidad de nodrizas indispensables para el establecimiento de *A. potatorum*. Se proponen bases para recuperación poblacional asistida y reordenamiento de prácticas extractivas y pecuarias bajo un esquema de manejo adaptativo.

El Capítulo IV, titulado "*Traditional use and ecological aspects of Agave potatorum in Tehuacán Valley, México: perspectives for its sustainable*

management” es un artículo publicado en la revista *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. En éste evaluamos la distribución y abundancia de *Agave potatorum*, documentamos aspectos etnobotánicos, prácticas de manejo existentes, así como la importancia económica y el papel que posee la producción de mezcal en el sustento campesino, con la finalidad de establecer o sugerir bases para un manejo sustentable. Con el empleo de herramientas del modelaje bioclimático hicimos un mapa que proyecta la distribución potencial de la especie y mediante muestreos ecológicos en el área estimamos la disponibilidad de agaves aprovechables dentro en la comunidad estudiada. También realizamos observación participativa, entrevistas y encuestas semi-estructuradas tanto en unidades domésticas como en unidades reproducción de mezcal para indagar sobre las tasas actuales de extracción, diversidad de usos, aspectos tecnológicos y socio-económicos de la producción de mezcal y su intercambio. Encontramos siete categorías de uso, siendo las más comunes la producción de mezcal, diversos usos medicinales y como forraje. Calculamos un área potencial de distribución de 608 hectáreas, y registramos a *Agave potatorum* en ocho tipos de vegetación. Estimamos alrededor de 7,296 plantas aprovechables en el territorio de la comunidad y la extracción de entre 54 al 87% de éstas anualmente. Los resultados sugieren congruencia con el planteamiento de que éste agave es uno de los recursos forestales no maderables extraídos con mayor intensidad, pudiendo tener consecuencias drásticas en las poblaciones donde se extrae. La información contenida en este artículo es de valor teórico, pero sobre todo aporta propuestas puntuales para la planeación de un manejo con menor impacto ecológico y mayores beneficios sociales y económicos.

El capítulo V, **la Discusión General** de esta tesis, hacemos una reflexión sobre las principales hipótesis y objetivos del trabajo, con base en la información obtenida en la investigación de campo. Incluye el análisis regional de factores ecológicos,

culturales y económicos relacionados con el aprovechamiento del papalometl y a la percepción del riesgo que implica su aprovechamiento.

Se caracteriza la distribución y abundancia regional de la especie, las comunidades extractoras y o productoras de agave, así como la red de comercialización de mezcal, analizando indicadores de la magnitud del impacto regional asociado a esta actividad. Se discuten las perspectivas de políticas de protección y manejo de *Agave potatorum*, de gestión de mercados justos y de otros temas pertinentes al aprovechamiento sustentable y conservación de ésta especie, así como de otras especies de agave que se encuentran sujetas a aprovechamiento en la región. Finalmente, se ponen en perspectiva las prioridades de investigación que en el futuro permitirán fortalecer el conocimiento científico de la especie y las comunidades bióticas en las que se encuentra, así como las estrategias de manejo regional para asegurar su permanencia a largo plazo.

REFERENCIAS

Altamirano, M.E. José María Velazco. Paisajes de luz, horizontes de modernidad. DGE/ Equilibrista, México.

Blancas. J., A. Casas, S. Rangel-Landa, A. Moreno-Calles, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, A. Delgado-Lemus, F. Parra, Y. Arellanes, J. Caballero, L. Cortés, R. Lira y P. Dávila. 2010. Plant Management in the Tehuacán Valley. *Economic Botany* 64:287-302.

Bruman, H.J. 2000. Alcohol in Ancient Mexico. The University of Utha Press. Salt Lake City.

Casas, A., C. Vázquez, L. Viveros, y J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahua and the Mixtec in the Balsas River Basin, México: An ethnobotanical approach to the study of plant domestication. *Human Ecology* 24(4):455–478.

Casas, A., J. Caballero, C. Mapes, y S. Zárate. 1997a. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61:31–47.

Casas, A., A. Otero-Arnais, E. Pérez-Negrón y A. Valiente-Banuet. 2007. In situ Management and Domestication of Plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100:101-1115.

Casas, A., S. Rangel-Landa, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, F. Parra, A. Delgado-Lemus, J. Blancas, B. Farfán, A. Moreno-Calles. 2008. *In situ* management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An ethnobotanical and ecological perspective. En: *Current topics in Ethnobotany*. Editado por: De Albuquerque UP, Alves-Ramos R. Kerala, India: Research Signpost: 1- 23.

Caswell, H. 2000. Prospective and Retrospective Perturbation analyses: their roles in conservation biology. The Ecological Society of America.

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los recursos terrestres de México, pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM. México.

Colunga-García, P., D. Zizumbo-Villarreal y J. Martínez-Torres. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural. 229-248 Pp. En: P. Colunga-García Marín, L. Eguiarte, A. Largué S. y Zizumbo-Villarreal (eds). “En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves”. CICY-CONACyT-CONABIO-INE.

Cox, C.B. y P.D. Moore. 2005. *Biogeography, an Ecological and Evolutionary Approach*. Blackwell Publishing. UK.

Delgado-Lemus, A. M. 2008. "Aprovechamiento y disponibilidad especial de *Agave potatorum* en San Luis Atlotitlán, Puebla, México". Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Delgado-Lemus, A., O., Téllez, A. Casas. 2014b. Traditional use and ecological aspects of *Agave potatorum* in Tehuacán Valley, México: perspectives for its sustainable management. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.

Eguiarte, L.E., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: Filogenia, Biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 66:131-150.

García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Agavaceae. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Departamento de Botánica 88: 1-95. García-Mendoza, A. J. 2010. Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana* 91: 71-93.

García-Mendoza, A. J. 2007. La biodiversidad de magueyes: base de La diversidad de mezcales. Foro tequilas y mezcales, GEA, AC.

García-Mendoza, A. J. 1995. Riquezas y endemismos de la familia Agavaceae en México. Pp. 51-75. En: Linares E., Dávila, P., Chiang, F., Bye, R., y Elías, T. (eds.) *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. UNAM. México, D.F.

García-Mendoza A.J. y R. Galván. 1995. Riqueza de las Familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56: 7-24.

Gentry, H.S. 1998. Agaves of continental North America. The University of Arizona Press. Tucson.

Goncalves, O. 1978. El maguey y el pulque en los códices mexicanos. Fondo de Cultura Económica. México.

Hernández, J., A. Castellanos, M. Lafontant. 1985. Dr. Atl, conciencia y paisaje. Secretaría de Educación Pública, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Bellas Artes. México. Illsley, C., A. Tlacotempa, G. Rivera, P. Morales, J. García, L. Casarrubias, M. Calzada, R. Calzada, C. Barranca, J. Flores y E. Omar. 2005. Maguey papalote en: La riqueza de los bosques mexicanos: más allá de la madera. Experiencias de comunidades rurales. SEMARNAT, CONAFOR; CIFOR; INE, Overbrook foundation, People and plants. Primera edición. México, D.F.

Jiménez-Lobato, V. y T. Valverde. 2006. Population Dynamics of the Shrub *Acacia bilimekii* in a Semi-desert Region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 65:29-45.

Jiménez-Sierra, C., M.C. Mandujano y L.E. Eguiarte. 2007. Are populations of the Candy Barrel Cactus (*Equinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, Mexico, at risk? Population Projection Matrix and life table response analysis. *Biological Conservation*, 135: 278-292.

Jiménez-Valdés, M., H.G. Álvarez, J. Caballero y R. Lira. 2010. Population Dynamics of *Agave marmorata* Roehl. under Two Contrasting Management Systems in Central Mexico. *Economic Botany*, 64(2), 149-160. The New York Botanical Garden Press, Bronx, NY, U.S.A.

Kates, R., W. Clark, R. Corell, M. Hall, C. Jaeger, I. Lowe, J. McCarthy, H. Schellnhuber, B. Bolin, N. Dickson, S. Faucheux, G. Gallopin, A. Grübler, B.

Huntley, J. Jäger, N. Jodha, R. Kasperson, A. Mabogunje, P. Matson, H. Mooney, B. Moore III, T. Riordan y U. Svedin. 2001. Sustainability Science. *Science* 292:641-542.

Kismaric, S. 1997. Manuel Álvarez Bravo, catálogo. The Museum of Modern Art of New York. New York.

Larios, C., A. Casas, M. Vallejo, Moreno-Calles A., and J. Blancas. 2013. Plant management and biodiversity conservation in Náhuatl homegardens of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.

McNeish, R. 1992. The origins of agriculture and settled life. University of Oklahoma Press. Norman and London. Oklahoma.

Moreno-Calles, A.I., A. Casas, E. García-Frapolli, I. Torres. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: their management and role in people's subsistence. *Agroforestry Systems*, 84(Suppl. 2):207-226. 26. Harlan JR: Origins.

Rangel-Landa, S. 2009. Establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Rangel-Landa, S., R. Lemus. 2002. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los Ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Ticktin, T. 2004. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. *Journal of Applied Ecology*, 41:11-21. British Ecological Society. England.

Torres, I., A. Casas, E. Vega, M. Martínez-Ramos, A. Delgado-Lemus. 2015. Population Dynamics and Sustainable Management of Mescal Agaves in Central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Economic botany*.

Torres, I., A. Casas, A. Delgado-Lemus, S. Rangel-Landa. 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas* 15.

Torres, I. 2009. Dinámica poblacional de dos morfos de *Agave potatorum* Zucc. en el Valle de Tehuacán: bases para su manejo sustentable. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Torres, I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, Municipio de Caltepec, Puebla, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Townsend, C. R. 2008. *Ecological Applications: toward a sustainable World*. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.

Valiente-Banuet, A., A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores, M.C. Arizmendi, J.L. Villaseñor, y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67:24–74.

Vázquez-García, J.A., M.A. Muñíz-Castro, E. Sahagún-Godínez, M.de J. Cházaro-Basáñez, E. De Castro-Arce, G. Nieves-Hernández, J. Padilla-Lepe. 2013. Four New Species of *Agave* (Agavaceae) of the *Marmoratae* Group. *Systematic Botany*, 38: 1–12.

Wiener, J. and M. Rogers. 2002. Comparing precaution in United States and Europe. *Journal of Risk Research* 5 (4), 317-349.

CAPÍTULO II

Delgado-Lemus, A., I. Torres, J. Blancas y A. Casas. 2014. Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10:53.



RESEARCH

Open Access

Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley, México

América Delgado-Lemus, Ignacio Torres, José Blancas and Alejandro Casas*

Abstract

Background: Our study analysed the vulnerability of the useful *Agave* species of the Tehuacán Valley, Mexico, considering ecological, cultural and economic aspects, and management types. We hypothesized that management intensity is proportional to the degree of risk of a species in order to decrease its vulnerability.

Methods: Distribution of *Agave* species was monitored in 36 types of plant associations. Ethnobotanical studies were conducted in 13 villages and six markets. The vulnerability of each species was calculated by assigning risk values to the variables analysed. The vulnerability and management intensity indexes were estimated through the scores of the first principal component of PCA. Variation of management data explained by ecological, cultural and economic information were analysed through canonical correspondence analyses (CCA). A linear regression analysis identified the relation between vulnerability and management intensity.

Results: We recorded presence of agave species in 20 of 36 vegetation types. Out of 34 *Agave* species, 28 were recorded to have one to 16 use types; 16 species are used as food, 13 for live fences, 13 for producing 'pulque', 11 for fibre and ornamental, 9 for construction. Seven species are used for preparing mescal, activity representing the highest risk. Seven *Agave* species are exclusively extracted from the wild and the others receive some management type. Incipient cultivation was identified in *A. potatorum* whose seedlings are grown in nurseries. Intensive cultivation through vegetative propagation occurs with domesticated species of wide distribution in Mexico. The highest management intensity values were recorded in widely distributed, cultivated and domesticated species, but the regionally native species more intensively managed were those with higher demand and economic value, protected by collective regulations because of their scarcity. The regression analysis indicated significant relation ($R^2=0.677$, $P<0.001$) between vulnerability and management indexes. CCA explained 61.0% of variation of management intensity, mainly by socio-cultural factors (30.32%), whereas ecological data explained 7.6% and the intersection of all factors 21.36%.

Conclusions: The highest vulnerability was identified in wild species restrictedly distributed and/or highly extracted. Social pressures may increase the natural vulnerability of some species and these species are particularly those native species receiving some management form.

Keywords: Agave, Ecological ethnobiology, Non-timber forest products, Risk management, Sustainability, Tehuacán Valley, Vulnerability

* Correspondence: acasas@cieco.unam.mx

Laboratorio de Ecología y Evolución de Recursos Vegetales, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, (CIECO), Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 27-3, Santa María Guido, C.P. 58090 Morelia, Michoacán, Mexico

Background

The subfamily Agavoideae of the plant family Asparagaceae includes species native to the Americas, naturally distributed from southern USA to Bolivia and the Caribbean Antilles [1]. The most diverse genus of the subfamily is *Agave*, which includes 204 species [2]. A total of 163 agave species occur in Mexico, 123 of them being endemic to the territory of this country, a reason why the area is considered a main centre of origin and diversification of the genus [2-6]. The *Agave* species have great ecological importance in Mexico since they are main components of arid and semiarid ecosystems predominating in most of the Mexican territory. Also, agaves are of high cultural and economic importance in Mexico since they have been used by Mesoamerican peoples from prehistoric times [7,8], and currently are valuable non-timber forest products that increasingly provide direct goods and monetary incomes to thousands of rural families. Agaves are crucial plant resources for most Mexican native cultures.

Our study focused on the *Agave* species of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve (ahead shortly referred to as the Tehuacán Valley), a region located in the south-eastern portion of the state of Puebla and the north-western part of the state of Oaxaca, in central Mexico. This region harbours the highest richness of *Agave* species in México [2], and is therefore particularly important to study both ecological and human cultural aspects of this plant group. We analysed the diversity of uses of all the species identified, their cultural and economic importance, and ecological information in order to examine the vulnerability of species and populations associated to use intensity of their products. In addition, we systematized the local experience of managing agaves in the region. We analysed the relation between risk and management responses to decrease vulnerability of particular species, and the viable perspectives of sustainable management to decrease risk of the species studied based on traditional ecological knowledge and technology.

A total of 34 *Agave* species has been recorded in the Tehuacán Valley, 25 species and four infra-specific taxa being native to the region, while seven of them are endemic to the area [2,9]. Our previous ethnobotanical studies carried out in the region have documented that more than 20 of all agave species of the region are used by local peoples in at least one of several use types [10]. The history of interactions between people of the Tehuacán Valley and agaves is nearly 12,000 years old [8], and such a long history allows supposing the existence of a deep traditional ecological knowledge (TEK) accumulated by the local cultures until present. The TEK of agaves by local peoples includes topics such as use properties of their parts that make them suitable for different purposes, information about distribution and abundance, particular

habitats, interactions with other organisms (flower visitors, herbivores, nurse plants, parasites and pests), reproduction types, phenology, as well as management techniques that were and are continually developed and transmitted among human generations [10,11].

Uses reported for agaves in the region include live fences, food, fibre, fuel, material for construction, medicine, fodder, and alcoholic beverages such as 'pulque' (a sap fermented kind of wine) and 'mescal' (a distilled spirit) [2,10,12-17]. Some studies have documented that agave products represent a significant contribution to sustenance of rural households of the Tehuacán Valley [10,12,16,18,19]. However, the extraction of their products is frequently practiced without mechanisms directed to ensure their maintenance for future availability. The over-exploitation of some agave species has increased relatively recently apparently in direct relation with the demand of their products in the markets, which also increases the risk of their extinction [20,21]. Sustainable forms of use of these resources are currently indispensable, and because risk is determined by complex interactions of socio-cultural, institutional, biological, climatic and geographic factors and processes, the sustainable management have to take into account those factors and processes. This study analyses some of the main factors affecting risk and sustainability of *Agave* species of the Tehuacán Valley, an information that may be useful for designing both sustainable use and conservation policies.

The production of alcoholic beverages is particularly important in some villages of the region, but agave extraction involved in this activity determines high risk of maintenance of wild populations of the *Agave* species used and the biotic communities they form part. It is common that extraction of agaves from wild populations occurs without planning and with limited actions directed to recover and conserve the populations affected. These are for instance the cases of *A. potatorum* and *A. marmorata*, which are the wild species mostly used for producing mescal from whose populations' individual plants are extracted before producing their inflorescences, thus interrupting their sexual reproduction. Another extreme of inadequate management may also be illustrated in cultivated species such as *A. angustifolia*, which in Tehuacán is managed similarly to the industrial production model of the tequila agave (*A. tequilana* var. *azul*) in other areas of Mexico [22-24]. Plantations of *A. angustifolia* progressively substitute forest areas through vegetative propagules of relatively few clones, thus determining impoverishment of vegetation composition and genetic diversity of the cultivated populations of agave.

Ethnobotanical studies have documented a high diversity of strategies of plant management in the Tehuacán Valley, including several forms of gathering, silvicultural systems that involve the management of individual plants,

populations and biotic communities, as well as agricultural systems [11,12,25-28]. Silvicultural management techniques involve the management of wild populations, commonly in forest and agroforestry systems [12,27,29]. These practices are exceptionally important since they can be implemented in biodiversity conservation programs at either local or regional scales, as well as programs for wellbeing of the regional human population.

Populations of several agave species are under different management regimes in the region, the management types being influenced by ecological, socio-cultural and technological factors. Management includes human interventions in order to achieve a balance between the amount of products required to satisfy human needs and the availability of plant or animal resources. Commonly, the interaction between people and plants determines an impact that depends on the intensity of extraction of products and the technique implemented to obtain the products. The form of this interaction may represent risks to the viability of the plant resources associated to its use. For instance, practices of extraction may involve different plant parts (leaves, flowers, inflorescences or entire individuals), different amounts (for direct consumption by households or for commercialization), affecting differently the capacity of a species to tolerate the harvest of its products [30] and their recovering. Socio-cultural factors may influence fluctuations in the demand of products or their importance in satisfying a cultural requirement, which may also be according to the substitutability of a product for other. These aspects may influence the intensity of the forest products extraction and may be variable throughout time according to cultural, social and economic changes.

Some rural communities have constructed agreements and rules for regulating the access to products of some agave species. These regulations may contribute to mitigate negative impacts of forest extraction and influence the level of organization of the communities for planning the use of plant resources. Ecological aspects like distribution and abundance of the species used may also influence the magnitude of risk. An abundant and widely distributed species has lower risk than other scarcer with a more restricted distribution. Similarly, biological aspects such as life cycle length, low capacity and slow regeneration of parts extracted may determine higher risk in longer lived plants with slow growth than in others with faster growth and shorter life cycle. The type of reproductive biology is also important, since agaves with vegetative propagation are more easily recovered than those without this propagation type; those species with self-compatible breeding systems or with generalist pollinators may more surely achieve sexual reproduction than self-incompatible and/or with specialist pollinators. All these aspects influence the degree of vulnerability of the utilized species.

In this study we report ethnobiological and ecological information collected through our studies in relation to distribution, abundance, use and management strategies of the agave species in the Tehuacán Valley. We examined the hypothesis that management strategies are proportional to the degree of risk determined by ecological and social factors and that the purpose of such management strategies is to decrease vulnerability. To test this hypothesis we constructed an index of vulnerability integrating information for biological, ecological and social indicators collected for the different species of *Agave* of the region. We looked for identifying the most vulnerable species and the most relevant factors influencing such vulnerability. Accordingly, our study aimed at: 1) integrating ecological and ethnobotanical information of useful agave species in the Tehuacán Valley, in order to analyse their current state of vulnerability and its relation to management types, and 2) discussing conservation and sustainable management policies of agave species at regional scale based on local TEK.

Materials and methods

Study area

The Tehuacán Valley is the southernmost semiarid area of Mexico [31], located in the south-eastern portion of the state of Puebla and the north-west of Oaxaca. The total area is 10,000 km², with the Biosphere Reserve Tehuacán-Cuicatlán covering 4,300 km² (Figure 1). It is delimited by the mountains of the Sierra de Zongolica which determines the rain shade influencing the dryness of the area [32]. Climates may be warm with annual precipitation of 700 to 800 mm in the southeast, semi-warm with annual average precipitation of 400 to 500 mm in the central and western zones, and temperate with higher annual precipitation in the highlands [33,34]. This region is one of the main reservoirs of biological diversity of the arid zones of México, including more than 3,000 species of phanerogamic plants [32]. Ethnobotanical studies [10,16], have reported more than 1,600 plant species utilized by local peoples of eight indigenous ethnic groups inhabiting the region [10].

The Tehuacán Valley comprises a wide variety of environments determined by climates, soils, geomorphology and elevation, which is reflected in nearly 36 types of plant associations as described by Valiente-Banuet et al. [35,36].

Distribution of *Agave* species

In order to analyse distribution of agave species within the territory of the Tehuacán Valley we recorded their presence in all vegetation types described by Valiente-Banuet et al. [35,36]. We have recorded data of abundance (density and biomass) in some of those areas through vegetation sampling. But since information is incomplete for all vegetation types and all agave species

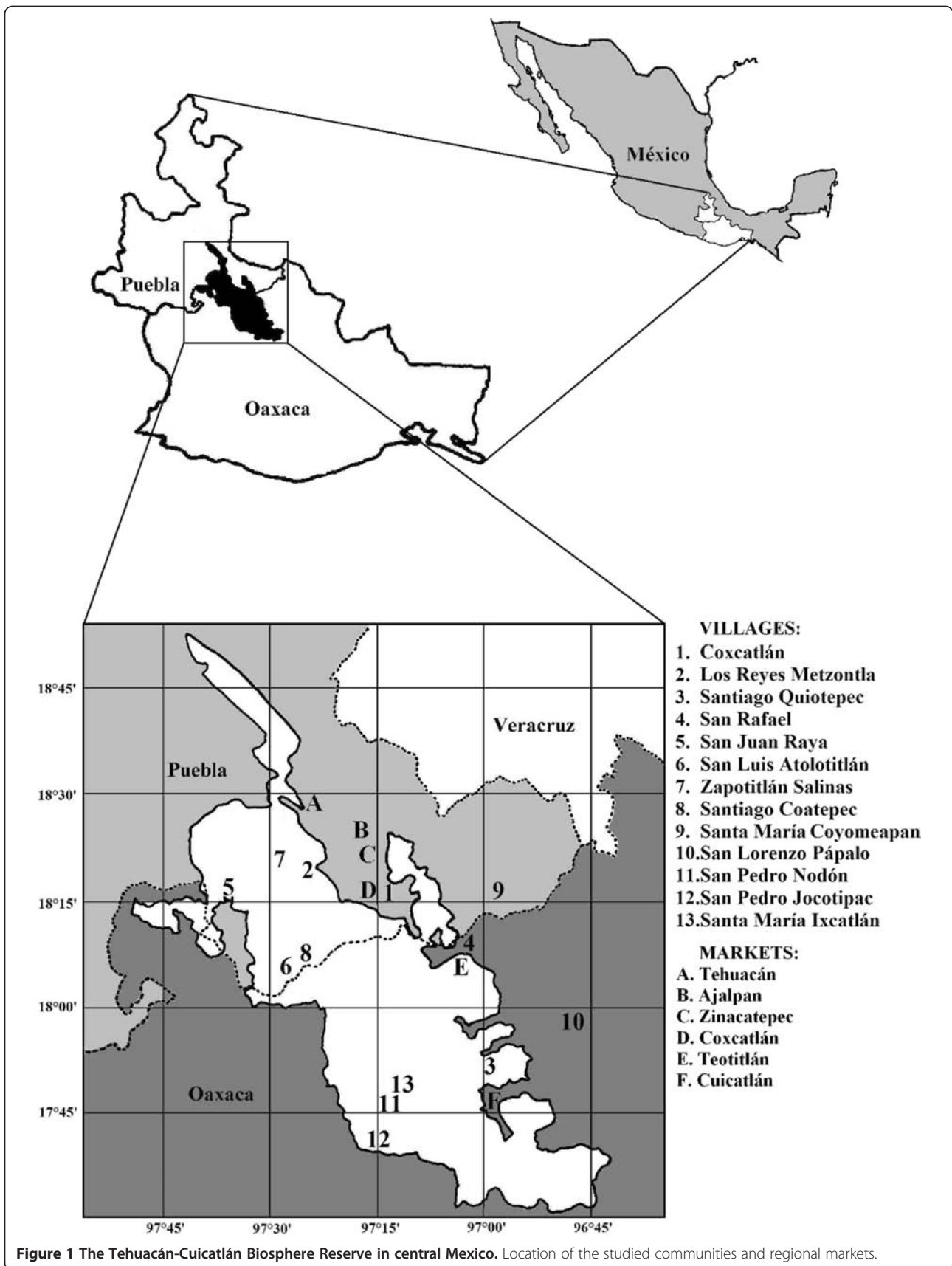


Figure 1 The Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve in central Mexico. Location of the studied communities and regional markets.

we did not include this information in the current analysis.

Ethnobotanical and vulnerability studies

Ethnobotanical information about use types and plant parts utilized (Figure 2), management, cultural and economic values was collected in a total of 13 rural communities and six regional markets (Figure 1). In the communities studied, a total of 176 persons provided information about agaves in a period of eight years. These were general ethnobotanical studies in relation to useful flora of the communities and the information is comparable. These studies were conducted through ethnobotanical collecting and semi-structured interviews which allowed contextualizing use of agaves in the different aspects of life by local people, in the general context of the role of plants as provider of food, medicines, live fences, fuel, fibres, among other uses. In each study, we selected at random 20 households per village but not always was recorded information about agaves.

Ethnobotanical studies were particularly directed to obtain deeper information about *Agave potatorum*, *A.*

marmorata and *A. salmiana*, three species identified to be in particular high risk, as well as in relation to all agave species. The specialized studies on agaves included focal groups with nearly 80 persons in two villages (San Luis Atolotitlán and Santa María Ixcatlán), and samples of 36 informants that participate in different aspects of production of mescal. The deeper studies on agave allows a more precise relative hierarchical information about the perception of the importance of agaves by local peoples. The specific interviews were directed to deeper information about use and forms of preparation and particularly about management techniques and relative comparisons of the cultural and economic importance of the products provided by agaves. Finally, interviews in the markets were directed to identify amounts, frequency, prices, demand of products of agave species in the regional markets. Studied of commercialization of agave products in the six main markets of the region of the Tehuacán-Cuicatlán Valley in a period of two years, to 40 persons that sell mescal, flower buds and other useful products of agaves in the markets. The information is complementary and allows a general view of the importance of agaves in the regional context.

A data base was constructed in order to systematize the ethnobotanical and ecological information about distribution and biological information about the reproductive system, the length of life cycle, among the most meaningful features. The vulnerability of agave species was determined in a relative scale based on the impact of parts collected and intensity of extraction according to the criteria explained in Table 1.

Data analyses

In order to identify the different conditions of vulnerability based on variables related with social and ecological risk, a principal component analysis (PCA) was performed. The vulnerability index was determined as the score of the first principal component, which is an integration of information of the most meaningful variables analysed. Similarly, different indicators of plant management were analysed through PCA and the score of the first principal component was used as index of management intensity. The relation between vulnerability and management intensity was analysed through a regression analysis. Amounts of variation of management data explained by ecological, cultural and economic information, as well as their vulnerability level were analysed through canonical correspondence analyses (CCA) CCA were performed to measure the amount of variation of management data explained from ecological and sociocultural information. The analyses were conducted using the R software following Blancas et al. [28]. We used three matrices partitioning the variation: Matrix Y containing the response variables

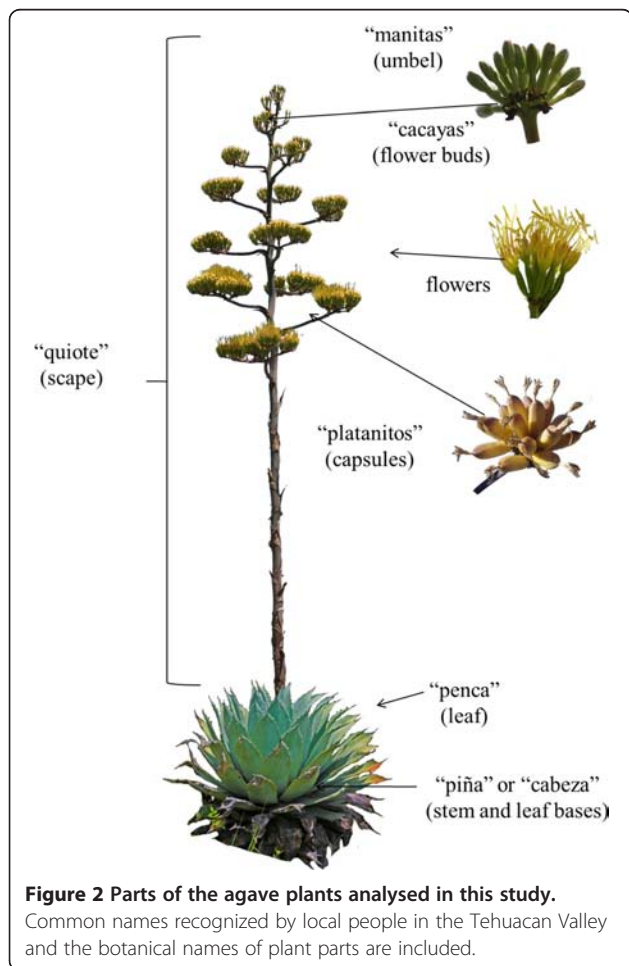


Table 1 Criteria used to define the values of vulnerability of *Agave* species according to socio-cultural, economic, ecological, and biological indicators

Variable	Criterion	Value
Useful part	Use of dead plant parts	0
	Use of vegetative parts (leaves, fiber, spines)	1
	Use of sap and reproductive parts (flower buds, inflorescences)	2
	Use of the entire plant	3
Management	Cultivated, domesticated, and introduced species (no wild populations occurring in the region)	0
	Wild native species cultivated <i>ex-situ</i> by seeds	1
	Wild native species cultivated <i>ex situ</i> through vegetative propagules	2
	Wild native species tolerated and protected in situ in modified originally natural areas	3
	Wild native species under simple gathering of vegetative parts (leaves) and vegetative sprouts.	4
	Wild native species under simple gathering of reproductive parts (flowers and inflorescences) and entire individual plants before sexual reproduction	5
Demand in markets	Not interchanged in markets	0
	Commercialized or bartered in markets	1
Ecological status	Cultivated introduced species	1
	Wild and cultivated species	2
	Only wild populations	3
Propagation	Seeds, caespitose and rhizomatous suckers and/or bulbils	1
	Seeds and multiannual rhizomatous suckers	2
	Seeds and low production of early rhizomatous suckers	3
	Seeds and axilar suckers	4
	Exclusively seeds	5
Distribution in regional vegetation types	Occurring in five or more vegetation types	1
	Occurring in four regional vegetation types	2
	Occurring in three regional vegetation types	3
	Occurring in two regional vegetation types	4
	Occurring in one single regional vegetation type	5
Distribution in other regions of Mexico	Cultivated broadly distributed species	0
	Occurring in more than six states of Mexico	1
	Occurring in two to five states of Mexico	2
	Endemic to the region	3

(management intensity data matrix), matrix X with the set of explanatory ecological variables; and matrix W with the set of explanatory sociocultural variables. The main purpose of this analysis is to cope with the confounding effects that may occur if a CCA of Y is made using W or X as the only explanatory matrix. That is, some variables of W may influence variables of X and vice versa. Through this method we conducted several CCA combining sets of explanatory variables: 1) Correspondence Analysis (CA) only for matrix Y, 2) CCA for matrix Y vs. matrix W, 3) CCA for matrix Y vs. matrix X, 4) CCA for matrix Y vs. matrices W+X. The total constrained eigenvalue of each analysis was tallied to identify how much of the management intensity matrix is explained by ecologic and sociocultural data. This method allowed dividing

CCA variation into four parts: a) Ecological data, which is the fraction of management intensity variation that can be explained by ecological data independently of sociocultural data, b) Sociocultural + ecological data, c) Sociocultural data which is the fraction of management intensity variation that can be explained by sociocultural data independently of ecologic data, and, d) Undetermined data or fraction of management intensity variation explained neither by ecological nor by sociocultural data. For each of these analyses, the sum of all canonical eigenvalues divided by the sum of all canonical eigenvalues, allowed calculating the corresponding fraction of variation explained by the analysis. Significance of the models for each CCA was estimated by permutation tests for: a) the whole model, b) management intensity explained by ecological variables

and 3) management intensity explained by sociocultural variables.

Results

Uses

Agave species are strongly rooted in cultures of local peoples of the Tehuacán Valley. From a total of 34 species recorded 28 have at least one use. Table 2 summarizes information on the variables used for analysing the ecological, social and cultural aspects for each species studied. *Agave marmorata* is the species with the highest number of uses (14), followed by *A. potatorum* with 12. Nearly 25% of the species analysed have one single use (Figure 3). The main uses of agave documented in this study are:

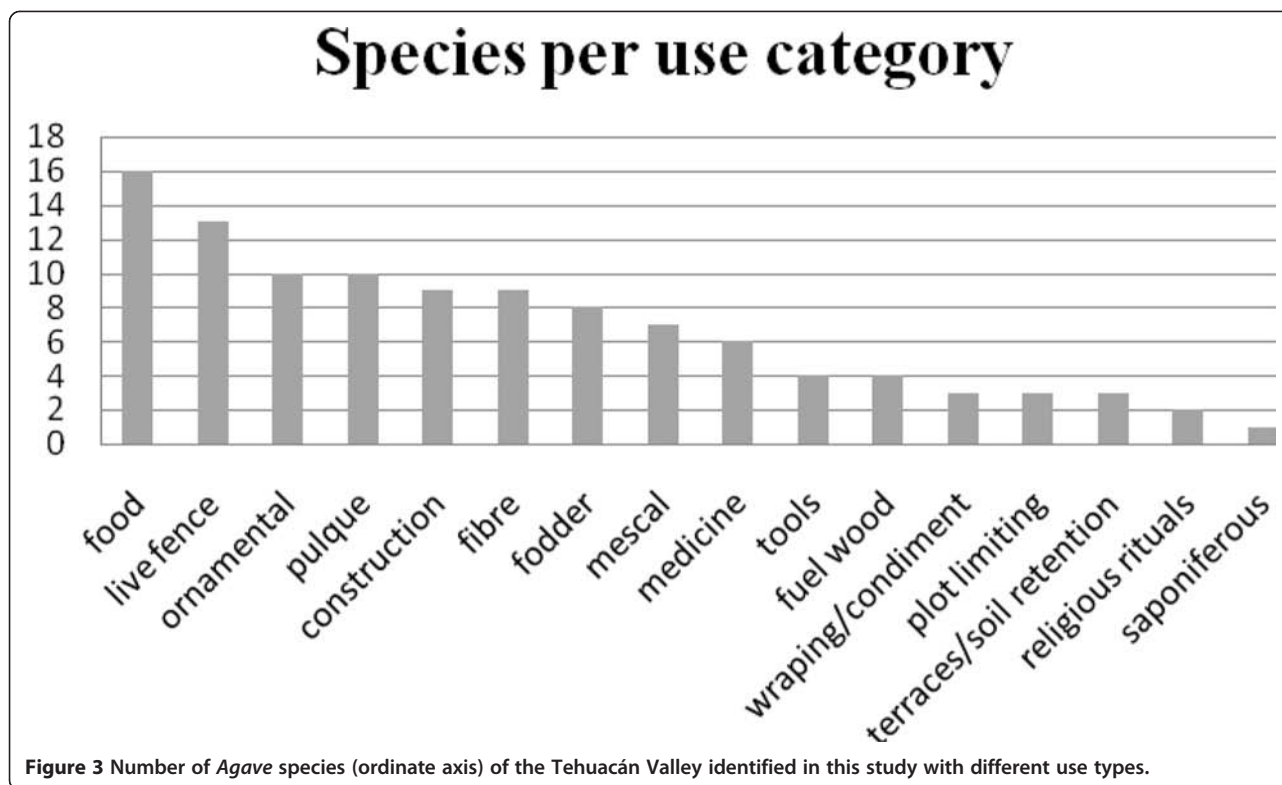
- i. Food, particularly appreciated are flower buds ('cacayas') and escapes ('quiotes') which are prepared boiled and cooked in various stews. Also important are the stems of mature plants which are cooked in underground ovens producing a sweet fibrous meal (the product is called 'mezcalli'). A total of 16 species were mentioned to provide edible parts (Table 1).
- ii. Live fences which are mainly destined to limiting plots, protecting them to the access of livestock and to conform barriers or lines to retain soil and water; live fences with agaves are particularly important in agroforestry systems out of the villages, as well as in homegardens. A total of 13 species were mentioned to be commonly used for this purpose (Table 1).
- iii. Alcoholic beverages, which are prepared as 'wine' or 'beer' by fermenting the sap, this beverage is called 'pulque', and it is mainly prepared with *A. americana* var. *americana*, *A. salmiana* subsp. *tehuacanensis*, *A. atrovirens*, *A. marmorata* and a total of 13 species. The distilled beverage is called mescal. It is distilled after fermenting the cooked stems, and the most important species used in the region are *Agave potatorum*, *A. americana* var. *oaxacensis*, *A. macroacantha*, and *A. marmorata*, and other species, seven in total.
- iv. Fibre, which is used as raw matter to manufacture cords or 'yute' and 'ixtle'; these materials in the pre-Columbian times were as important as cotton for netting and clothing. A total of 11 species are currently used for obtaining fibre.
- v. Ornamental. In total, 11 agave species are used as ornamental plants, the most appreciated are *A. triangularis*, *A. macroacantha*, *A. stricta*, *A. americana*, *A. marmorata*, and *A. potatorum*.
- vi. Biofuel, the remains of dead adult agaves (called in Náhuatl 'mezote') are much appreciated as fuel. Particularly important are those large size species.
- vii. Nine agave species provide material for construction, particularly the escapes of several species which are valued as wooden material for supporting roofs, walls and fences in traditional constructions. In some villages the escapes are used as pipes conducting water, whereas in other villages the leaves are also used for thatching houses and fibre is used to make cords for tiding structures of the houses. Particularly important for construction are the escapes of *A. scaposa* and *A. salmiana* var. *tehuacanensis*. For corral fences and platforms for storing stubble are preferred the smaller escapes of *A. potatorum* and *A. kerchovei*.
- viii. Tools, large escapes are used for manufacturing ladders, whereas the thinner and longer escapes are used as pole vault or 'chicoles' used for collecting fruits from trees and columnar cacti.
- ix. Fodder, the young plants and escapes in early stages of formation are consumed by livestock, mainly cattle and goats. Eight species are fodder, *A. angustiarum*; *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. atrovirens* var. *mirabilis*, *A. kerchovei*, *A. macroacantha*, *A. marmorata*, *A. potatorum* and *A. scaposa*.
- x. Medicine, six agave species are medicinal. Their roasted leaves are anti-inflammatory and analgesic used to relieve luxation pain; leaves infusions are used for bronchitis and as anti-inflammatory of internal organs, as well as anticoagulant. The cooked stem called "mezcalli" is used for bronchus affections. The alcoholic beverage called mescal is used as other spirituous beverages, for relieving stomach ache, tonic for whetting appetite, and drinking it with honey and lemon is used for relieving cold; it is also used rubbing feet and the back together with branches of the tree 'pirul' (*Schinus molle*) for relieving fever and 'heating cold feet'. Mescal is also used to prepare tinctures with medicinal plants and poultices for treating rheumatic and traumatic pains.
- xi. The leaf cuticle, called 'mixiote' is used to envelope food, mainly meat that is cooked underground; it is a material of high demand and price in markets. Two species were mentioned to be used for extracting mixiote.
- xii. Ritual and religious, mainly for preparing altars in religious celebrations (two species).
- xiii. Soap, *A. triangularis* was referred to be used as soap for washing clothes because of its high content of saponins.

Useful parts

In the case of *Agave marmorata* we found the use of six plant parts, *A. potatorum*, *A. seemaniana* and *A. kerchovei* provide five useful parts. In total, 17 species provide two

Table 2 Information about ecological, socio-cultural and management aspects of the useful *Agave* species recorded in the Tehuacán Valley

Species	Ecological status	Vegetation types occurrence	Distribution	Life cycle	Reproduction forms	Management types	Sites proximity	Collective regulations	Artificial selection	Use types	Used parts	Harvest type	Commercial value	Medicinal use
<i>A. americana</i> var. <i>americana</i>	1	0	0	1	2	2	0	1	2	2	2	2	1	0
<i>A. a.</i> var. <i>marginata</i>	1	0	0	1	2	2	1	1	2	1	0	2	1	0
<i>A. a.</i> var. <i>oaxacensis</i>	1	0	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	1	0
<i>A. angustiarum</i>	3	3	1	1	1	5	0	1	1	3	2	1	0	0
<i>A. angustifolia</i>	1	0	1	1	2	3	1	1	2	2	1	1	1	0
<i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i>	1	4	0	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	0
<i>A. applanata</i>	2	3	1	1	2	4	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>A. atrovirens</i>	3	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	2	0	0
<i>A. atrovirens</i> var. <i>atrovirens</i>	3	5	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	0
<i>A. atrovirens</i> var. <i>mirabilis</i>	2	5	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	0	0
<i>A. chiapensis</i>	3	0	2	2	2	4	0	1	1	1	2	1	0	0
<i>A. convallis</i>	3	5	2	1	2	4	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>A. ghiesbreghtii</i>	3	5	2	2	2	3	0	1	1	2	1	1	0	0
<i>A. karwinskii</i>	2	4	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1
<i>A. kerchovei</i>	3	4	2	1	2	4	2	1	2	2	2	1	1	0
<i>A. macroacantha</i>	2	4	2	1	2	5	2	1	2	3	2	2	1	0
<i>A. mapisaga</i>	1	4	0	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	0
<i>A. marmorata</i>	3	4	2	1	2	4	2	1	2	4	3	2	1	3
<i>A. nussaviorum</i> subsp. <i>nussaviorum</i>	3	5	3	1	1	5	0	1	1	2	3	1	0	3
<i>A. peacockii</i>	3	5	2	1	2	4	0	1	2	3	2	2	0	0
<i>A. potatorum</i>	3	3	2	1	1	1	2	2	2	4	3	2	1	3
<i>A. salmiana</i> subsp. <i>salmiana</i>	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	0
<i>A. salmiana</i> subsp. <i>tehuacanensis</i>	2	3	2	1	2	3	2	1	2	3	3	2	0	0
<i>A. scaposa</i>	3	1	2	1	1	3	0	2	2	3	0	2	0	2
<i>A. seemanniana</i>	1	0	2	1	1	5	2	1	2	3	3	2	1	1
<i>A. stricta</i>	3	2	2	2	2	4	0	1	2	2	2	1	1	0
<i>A. titanota</i>	3	0	2	1	2	5	0	1	2	2	3	2	0	0
<i>A. triangularis</i>	3	4	2	2	2	5	0	1	1	3	2	1	0	0



to four useful parts and eight species provide one single useful plant part. Figure 2 shows the agave plant parts considered in the analysis, indicating their regional names and their equivalent botanical names. The entire living plants of 16 species are transplanted *in situ* or *ex situ* as living fences and borders or terraces, *A. marmorata* and *A. americana* var. *americana* are the most common. Flower buds and inflorescences of nearly half of the species analysed are used.

Economic value

In total, 11 species were reported to have commercial value and 17 were not (Table 2). This information could be underestimated since some agave products are occasionally interchanged or bartered at local level in the villages and were not easily recorded. For instance, mescal producers interchange mescal for maize and other products in the local stores, or even for other products used for producing mescal (agave plants, fuel wood, or labour hand). The commercial value is an indicator of the amount of demand of an agave species or its product, but the risk is not necessarily a factor determining risk, it depends of other aspects as well. For instance, a household that collect flower buds for commercialization in the regional markets does not determine an impact similar to that determined by a mescal producer household, which may extract 200 individual plants for one single production event. Even lower impact can be

identified in practices for collecting dry escapes for construction and manufacturing tools. In these cases the agaves have died and released their seeds and, therefore, impact being null. However, escapes of *A. marmorata* are massively cut for ornamental purposes in the village of Zapotitlán during the blooming period, and those of *A. salmiana* ssp. *tehuacanensis* are harvested in San Luis Atolotitlán, Puebla, inhibiting the development of flowers, fruits, and seeds, decreasing the possible contribution of sexual reproduction.

Management

The following forms of interaction between local peoples and agave were identified:

- (1) Out of the 28 species of *Agave* reported with some use in the Tehuacán Valley, seven are extracted exclusively from wild populations (simple gathering) whereas the remaining species receive at least one management type.
- (2) The most common management type is extraction of entire individual plants while transplanting seedlings or young plants to anthropogenic areas (*ex situ* transplanting). This are the cases of *A. atrovirens* var. *atrovirens*, *A. karwinskii*, *A. macroacantha* and *A. titanota*.
- (3) The practice referred to above is followed in frequency by the extraction of plants exclusively

from wild populations but at the same time people may practice *in situ* propagation of propagules, as in the cases of *A. angustiarum*, *A. kerchovei*, *A. peacockii*, *A. stricta* and *A. scaposa*.

- (4) Then, it can be mentioned the importance of the vegetative propagation of domesticated, introduced, and widely distributed species such as *A. americana* var. *americana*, *A. americana* var. *marginata*, *A. angustifolia* var. *angustifolia* and *A. mapisaga*.
- (5) There is in addition the incipient cultivation of *Agave potatorum* in green houses, particularly in San Luis Atlotitlán and Caltepec, Puebla, where local people have had the initiative to produce plants for recovering wild populations. Plants produced are therefore reintroduced to the original wild areas, but they started to test their success in small plots of agroforestry systems and in abandoned agricultural areas.
- (6) Finally, we recorded the intensive cultivation of plantations of *A. angustifolia* and more recently also *A. tequilana* var. *azul* which are intensively produced as monocultures in plots using agrochemicals.
- (7) However we identified another management form. Extraction of agave sap for preparing 'pulque' is one of the most ancient uses of agaves. Plants used for this purpose are propagated through vegetative propagules, mainly to areas close to the houses in the village, as well as to areas surrounding the agricultural plots and homegardens and even along roadsides. It is an example of small scale cultivation. These are the cases of *A. americana* var. *americana* and *A. atrovirens* var. *atrovirens*.
- (8) Other species like *A. stricta*, *A. macroacatha* and *A. potatorum* are cultivated in nurseries of local Units of Environmental Management (UMAs for their abbreviation in Spanish), where local people propagate seeds collected in wild populations and sell young plants as ornamental. This is part of a strategy directed to decrease the illegal extraction of plants from the biotic communities by international illegal trade industries.

Vulnerability index, species in risk and management intensity

The principal components analysis classifies the agave species recognizing two main groups, one of them is composed by the cultivated agaves, domesticated or in process of domestication or recently introduced to cultivation because of their commercial value. The other group is composed by wild agaves with low or null commercial value (Figure 4). This analysis identifies the important weight of the commercial value of products in their classification (Table 3).

The regression analysis in Figure 5 indicates the highly significant linear relation between risk and management

intensity indexes ($R^2 = 0.677$, $P < 0.001$). Partitioning CCA explains 61.0% of the management variation as shown in Figure 6. This variation can be explained mainly by sociocultural factors (30.32%) while ecological data explain 7.6%. Intersection of ecological and sociocultural factors explains 21.36% and is statistically significant. Unexplained variation was 39.0%. Four variables of the intersection of ecological and sociocultural indicators were particularly important: ecological status, life cycle, type of harvest and interchange or not of the agave products (Table 4).

Figure 5 shows that the most vulnerable agave species are *Agave nussaviorum* subsp. *nussaviorum*, *A. peacockii*, *A. convalis*, *Agave potatorum* and *A. triangularis*, most of them with restricted distribution or intensively extracted. Those with intermediate vulnerability are *Agave marmorata*, *A. titanota*, *A. atrovirens* var. *atrovirens*, *A. scaposa*, *A. salmiana* subs. *tehuacanensis*, *A. salmiana* subsp. *salmiana*. The least vulnerable species are *Agave mapisaga*, *A. angustifolia* var. *angustifolia*, *A. americana* var. *americana* and *Americana* var. *marginata* which are domesticated, introduced and widely distributed.

Discussion and conclusions

Use and management

In the Tehuacán Valley, the species of agave are among the more used and appreciated plant resources and also those more intensively managed by people of the region. Most of them are resources located in communal land and therefore of free access to local people. Different parts of the plants are used which are available mainly during the dry season when most of the wild plant resources are not available. The high cultural and economic importance of their products and their intensive extraction determine that some species, particularly those that require using the entire plant, have also high risk of disappearing. It is possible to identify a delay in constructing agreements and institutions regulating the access to agave products; this is probably a fact related to the relatively recent and rapid pressure developed on agave resources. According to local people, local agave populations that are now extinct were abundant until recently (nearly 40 years ago). This pattern is particularly clear in those species with high commercial value like *Agave potatorum*, a species appreciated for preparing mescal with increasing demand in the regional and national market. The pattern contrasts also with that of other species mainly used to satisfy needs of direct consumption by households, and even more with those species whose use is being lost, as it is the case of the 'pulque' agaves like *Agave salmiana*, since pulque has been progressively substituted by more prestigious beverages like beer [28]. A similar situation can be observed in some species that in the past were used for extracting their fibres like *Agave angustiarum*,

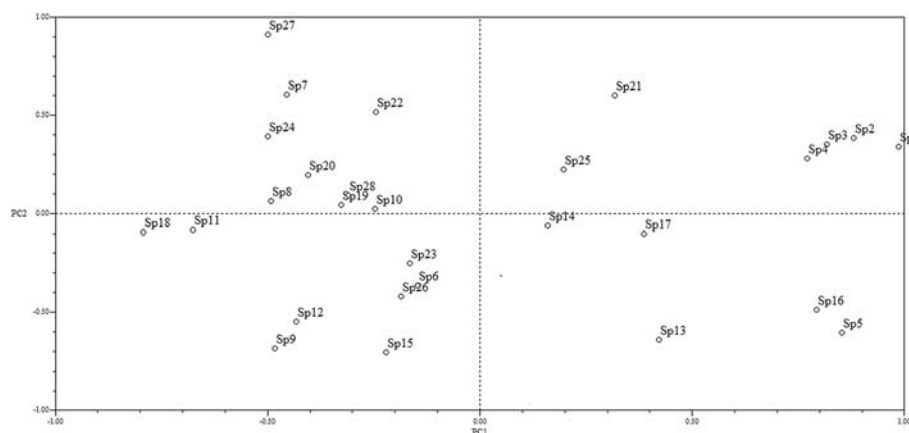


Figure 4 Spatial arrangement of *Agave* species of the Tehuacán Valley according to the Principal Component Analysis performed with socio-ecological variables. Sp1 = *Agave americana* var. *americana*, Sp2 = *A. americana* var. *marginata*, Sp3 = *A. americana* var. *oaxacensis*, Sp4 = *A. angustiarum*, Sp5 = *A. angustifolia*, Sp6 = *A. angustifolia* var. *angustifolia*, Sp7 = *A. applanata*, Sp8 = *A. atrovirens*, Sp9 = *A. atrovirens* var. *atrovirens*, Sp10 = *A. atrovirens* var. *mirabilis*, Sp11 = *A. chiapensis*, Sp12 = *A. convallis*, Sp13 = *A. ghiesbreghtii*, Sp14 = *A. karwinskii*, Sp15 = *A. kerchovei*, Sp16 = *A. macroacantha*, Sp17 = *A. mapisaga*, Sp18 = *A. marmorata*, Sp19 = *A. nussavium* subsp. *nussavium*, Sp20 = *A. peacockii*, Sp21 = *A. potatorum*, Sp22 = *A. salmiana* subsp. *salmiana*, Sp23 = *A. salmiana* subsp. *tehuacanensis*, Sp24 = *A. scaposa*, Sp25 = *A. seemanniana*, Sp26 = *A. stricta*, Sp27 = *A. titanota*, Sp28 = *A. triangularis*.

Agave peacockii and *Agave angustifolia*. Their fibre has been substituted by plastic cords and these species are now mainly used for producing mescal, which is a more profitable activity.

Regulations of access and extraction of common wild populations were recorded for some species, particularly those that have several uses. In those cases people have developed strategies that include regulated extraction in different seasons of the year. This is for instance the case of the extraction of the escapes of *Agave salmiana* subsp. *tehuacanensis* used for construction of houses which in San Luis Atlotitlán, Puebla are extracted in two or three specific days, according to the community extraction agreements.

From the analysis of vulnerability, it is clear that while more forms of management are practiced the vulnerability decreases. Management of agaves may occur in the wild (*in situ* including tolerance), as well as in anthropogenic environments (*ex situ*, including transplanting of young plants and seeds sowing). Particularly important are the agroforestry systems in the field, located out of the villages [29,37,38], where people practice a mixture of *in situ* and *ex situ* management techniques. But also important are homegardens, where people cultivate *ex situ* several species of *Agave* either wild or domesticated. The agroforestry systems in the field and homegardens are viable options for propagating agaves, not only with lower environmental impact than the intensive agave plantation for commercial tequila and mescal, but also for planning conservation of rare species and genotypes.

Vulnerability index

The cluster (Figure 4) and principal component (Figure 5) analyses performed consistently show the importance of the commercial value for explaining the vulnerability of the agave species studied, the higher the economic value the higher the risk. But this is also a function of the distribution (the higher the distribution the lower the risk), abundance (the scarcer the resources the higher the risk) and the status of management as discussed ahead. Those exclusively wild species have higher risk than those wild regulated or *in situ* managed species; have even more risk than those that are wild and cultivated and even more than those that are exclusively cultivated. Figure 5 shows the place of each of the 28 species of *Agave* studied in a Euclidean space which in turn reflects a management gradient.

The vulnerability index (Figure 6) indicates that the most vulnerable species are five native species with relatively intermediate distribution, except *Agave nussavium* subsp. *nussavium*, which has restricted distribution and is the most vulnerable species of all the species analysed. The five most vulnerable species are extracted exclusively from the wild, although for *Agave potatorum* some practices of incipient management have started to be carried out such as the protection of populations through communitarian regulations or cultivation for being reintroduced in their natural habitats. But these practices are recent, carried out by some persons without interchanging experiences to each other. Among the species with intermediate vulnerability we identified both wild and cultivated agaves of relatively

Table 3 Vulnerability and management intensity indexes estimated for the different agave species utilized in the Tehuacán Valley

Species	Vulnerability	Management intensity
<i>A. nussaviorum</i> subsp. <i>nussaviorum</i>	1.83122	1.708526199
<i>A. peacockii</i>	1.1645	0.594045546
<i>A. convallis</i>	1.04956	1.126756957
<i>A. potatorum</i>	0.91661	-0.502843702
<i>A. triangularis</i>	0.89015	1.801632007
<i>A. titanota</i>	0.82558	0.380721625
<i>A. atrovirens</i>	0.73993	-0.136474466
<i>A. kerchovei</i>	0.5566	0.12302843
<i>A. angustiarum</i>	0.45358	0.923424365
<i>A. scaposa</i>	0.43271	0.098578612
<i>A. marmorata</i>	0.41184	0.12302843
<i>A. stricta</i>	0.40192	0.925191476
<i>A. ghiesbreghtii</i>	0.3376	1.512068797
<i>A. atrovirens</i> var. <i>mirabilis</i>	0.30958	-0.229081914
<i>A. chiapensis</i>	0.25838	1.298744876
<i>A. atrovirens</i> var. <i>atrovirens</i>	0.24885	0.113410498
<i>A. salmiana</i> subsp. <i>tehuacanensis</i>	0.20267	-0.483614095
<i>A. macroacantha</i>	0.01962	-0.034892874
<i>A. seemanniana</i>	0.00464	-0.611475086
<i>A. applanata</i>	-0.06403	0.312134623
<i>A. salmiana</i> subsp. <i>salmiana</i>	-0.58286	-0.552045154
<i>A. karwinskii</i>	-0.67297	-0.055894786
<i>A. americana</i> var. <i>oaxacensis</i>	-1.3218	-1.366667488
<i>A. mapisaga</i>	-1.4866	-1.361323377
<i>A. angustifolia</i>	-1.48899	-1.182096381
<i>A. angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i>	-1.61646	-1.361323377
<i>A. americana</i> var. <i>americana</i>	-1.79597	-1.483920345
<i>A. americana</i> var. <i>marginata</i>	-2.02585	-1.6796394

broad distribution. Almost all of these species, with the only exception of *A. scaposa*, provide reproductive parts or the entire plant as useful product, determining high risk [37] which in part is counterbalanced through the strategies of asexual reproduction in addition to propagation through seeds. *A. scaposa* reproduces exclusively by seeds but its useful product (dry escapes) are used after reproduction. Among the least vulnerable species we identified those domesticated, introduced and broadly distributed.

The vulnerability index of Figure 6 provides useful information for guiding actions and regulations in order to protect endangered agave species, as well as factors that should be taken into account for designing and implementing policies. For instance, it has been discussed

some aspects to be considered when using *Agave* species with different degrees of vulnerability. From our current analysis it is clear the importance of documenting socio-cultural factors together with ecological information, particularly their distribution, abundance and type of reproduction. This information provides the basic data for designing strategies for their sustainable use.

It is also crucial that any strategy implemented could be periodically monitored in order to consider uncertainty and surprises associated to the complex socio-natural systems involved in agave management, but also in order to progressively improving the management based on previous experiences. Most agave species are exclusively wild and *in situ* management of populations is particularly important; but several regional experiences have demonstrated that a combination of germinating seeds in controlled conditions and nursing of young plants may be effective to increase the amount of plants in relation to the amount of available seeds. However, the local experience also reveals that reintroduction of plants into natural habitats requires ecological information about the interaction with other natural nurse plants that provide micro-environments that are crucial for successful establishing of young plants. For some species, plantations in degraded soils are not only possible but also one way to recover ecosystem functions while providing useful products and monetary incomes to local people.

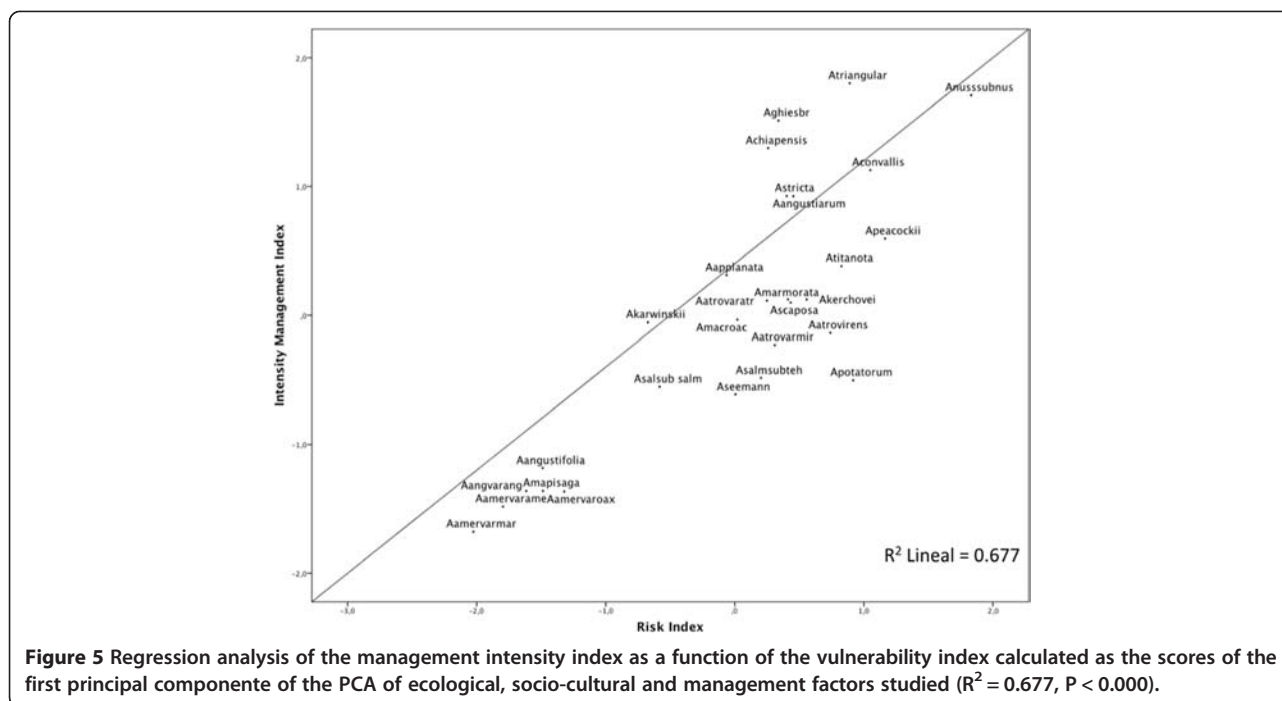
Below, we provide some general recommendations in order to promote more sustainable forms of management of agaves in the Tehuacán Valley.

Extraction planning

Monitoring species and their populations available within a territory provides the basis for planning actions. This panorama makes possible identifying areas for carrying out the use of products during different production seasons and years. Some experiences in Chilapa, Guerrero, Mexico have documented the organization of communitarian committees with the charge of planning and monitoring extraction of useful products as well as actions for recovering the affected populations [39]. In some cases the proportion and relation of wild and cultivated areas should be considered in the monitoring activities since for some species wild and cultivated populations are sympatric.

Wild populations

Counting of reproductive individual plants and identifying and labelling the number of escapes that have to be respected when extracting wild products is necessary in order to ensure a minimum of seeds that are required for both natural and artificial propagation of agave plants. A method similar to that mentioned here has been practiced by the communities of Guerrero, Mexico in areas producing mescal (the Asociación de Magueyeros y



Mezcaleros del Chilapan) [39] and their experience may be replicated in other areas for managing mescal agaves. Additional suggestions for more effective recovering of populations are:

- Collecting seeds from several sites in order to ensure diversity of sources of genetic material. This practice may favour the availability of plant material from several areas as well as options for adapting the propagated material to establish in different environments. Production of plants in nurseries may optimize the production of plants from relatively few seeds, but this practice should be complemented with dispersion of seeds under the canopy of natural nurse plants. Where survival of young plants may be more successful than those transplanted from nurseries.
- Transplanting of young plants of agave under the canopies of specific nurse plants recognized by previous ecological research available in the literature. In addition it is recommendable to conduct experiments to test the successful establishing of seedlings and young plants under artificial shade.
- Recovering populations of agaves in areas identified as areas of extinction of local populations, as well as in areas where populations are being impacted by human activities, and finally as plantations in areas that were cleared for agriculture in the past. These areas may be benefited from soil recovering associated to presence of agaves. Mescal production could be centred in these areas rather than form populations from natural forests.

Nurseries

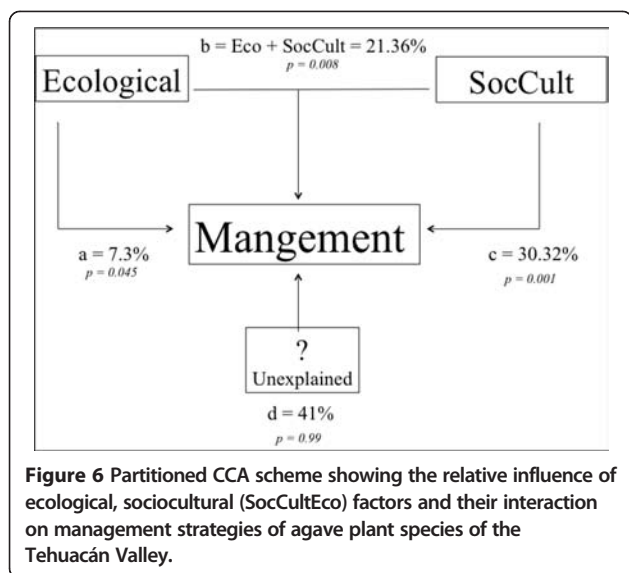
Rustic local materials can be used for preparing nurseries. In Sola de Vega, Oaxaca, the mescal producers of the Sociedad de Producción Rural el Solteco produce *A. potatorum*, *A. angustifolia* and other species in rustic wooden beds in areas thatched with shrubs and palm leaves.

Cultivated species

Young plants may be produced from seeds collected in the region or, in some species, from vegetative propagules. Interchange of seeds and vegetative propagules from different zones is recommendable in order to increase options for different purposes and environments where the plant material will be propagated. It is highly recommendable experimenting transplantation of young plants in agroforestry systems either in the field out of the villages [29,37,38] or in homegardens. These systems are recognized to harbour high proportions of natural vegetation and, therefore, this practice may reinforce the role of biodiversity conservation of these systems. Plantations should be directed to recover plant cover of deforested and eroded areas. However, this task is still particularly difficult and more techniques are still needed to be developed.

Protection of pollinators

Bats are the most important pollinators of most agave species of the Tehuacán Valley. Unfortunately, in the past some governmental agencies promoted campaigns for eradicating them with the erroneous idea that bats



promoted illnesses. It is therefore necessary to promote campaigns for protecting bats which are crucial for pollination of agaves and numerous other groups of plants. Reproductive success of species that entirely depend on sexual reproduction for their viability (*A. convallis*, *A. nuusaviorum*, *A. peacockii*, *A. potatorum*, *A. scaposa* and *A. seemanniana*) will in turn depend on the success of protection of bats and other pollinators.

Survival and permanence of agave populations depend mainly on actions of those that use them. However, authorities of the Biosphere Reserve may provide support in numerous campaigns of information and favouring fair commerce of products. Regional policies for sustainable use of local resources are possible and necessary and local authorities have a clear responsibility to achieve this task. The academic sector that carry out research in the region should be more active in directing their studies to understand key aspects that are necessary for designing sustainable forms of management of non-timber forest products without forgetting the thousands of years of experience of local people. Scientific research may be extraordinarily valuable tool when complementing initiatives by local peoples.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions

AD-L main author, involved in the study design, conducted interviews, field work, literature review and general data collection and systematization, wrote the first draft and concluded the final version of this manuscript. IT and JB contributed to designing and following progress of the research and field work and data analyses. AC main coordinator-supervisor of the research project; contributed with original data and the designing of all the researches providing the information for the current analysis; participated in fieldwork, systematization and analysis of data and reviewed several drafts of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Table 4 Permutation test for CCA variables

Management, ecological and sociocultural factors variable	Df	Chisq	F	Pr(>F)	Significance
Ecological status	1	0.0204	5.1775	0.018	*
Vegetation types where species occurs	1	0.0047	1.1888	0.301	
Distribution	1	0.0101	2.5752	0.08	
Life cycle	1	0.0144	3.6426	0.047	*
Use types number	1	0.0032	0.8036	0.449	
Utilized parts	1	0.0026	0.6683	0.508	
Type of harvest	1	0.0218	5.5248	0.009	**
Commercial value	1	0.0221	5.6139	0.01	**
Medicinal uses	1	0.0028	0.7027	0.478	
Residual	18	0.0709			
Management and sociocultural factors					
Use types number	1	0.005	1.3204	0.241	
Utilized parts	1	0.005	1.3281	0.261	
Type of harvest	1	0.0504	13.2815	0.001	**
Commercial value	1	0.026	6.8539	0.007	**
Medicinal uses	1	0.0029	0.7589	0.471	
Residual	22	0.0836			
Management and ecological factor					
Ecological status	1	0.0204	3.8029	0.032	*
Vegetation types where species occurs	1	0.0047	0.8732	0.369	
Distribution	1	0.0101	1.8915	0.159	
Life cycle	1	0.0144	2.6756	0.08	
Residual	23	0.1234			

* = P<0.05 and ** = P<0.01.

Authors' information

AD, IT, JB postgraduate students at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM. AC full time researcher at CIEco, UNAM.

Acknowledgements

The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT for supporting PhD studies of AD, IT and JB. The Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT projects IN205111-3 and IN209214) and CONACYT (CB-2008-01- 103551) for financial support of the research. We specially thank EdgarPérez Negrón for fieldwork assistance and people of the Tehuacán Valley for their hospitality and participation in interviews and sharing their knowledge.

Received: 13 May 2014 Accepted: 21 June 2014

Published: 3 July 2014

References

- Gentry HS: *Agaves of Continental North America*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press; 1982.
- García-Mendoza AJ: *Agavaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán* 2011, **88**:1-95.

3. García-Mendoza AJ: **Riquezas y endemismos de la familia Agavaceae en México.** In *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. Edited by Linares E, Dávila P, Chiang F, Bye R, Elías T. México: UNAM; 51–75.
4. García-Mendoza A, Galván R: **Riqueza de las Familias Agaváceae y Nolinaceae en México.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 1995, **56**:7–24.
5. Eguarte LE, Souza V, Silva-Montellano A: **Evolución de la familia Agavaceae: Filogenia, Biología reproductiva y genética de poblaciones.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 2000, **66**:131–150.
6. Vázquez-García JA, Muñiz-Castro MA, Sahagún-Godínez E, Cházaro-Basáñez MJ, De Castro-Arce E, Nieves-Hernández G, Padilla-Lepe J: **Four New Species of Agave (Agavaceae) of the Marmoratae Group.** *Systematic Botany* 2013, **38**:1–12.
7. Smith EC: **Plant remains.** In *The prehistory of the Tehuacán Valley. Vol. 1. Environment and subsistence*. Edited by Byers DS. Austin: University of Texas Press; 1967:220–255.
8. MacNeish RS: **A summary of the subsistence.** In *The prehistory of the Tehuacán Valley. Vol. 1. Environment and subsistence*. Edited by Byers DS. Austin: University of Texas Press; 1967:14–27.
9. García-Mendoza AJ: **La biodiversidad de magueyes: base de La diversidad de mezcales.** In *Foro tequilas y mezcales*. México: GEA, AC; 2007.
10. Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J, Cortés L, Dávila P, Lira R, Rodríguez I: **Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico.** *Economic Botany* 2001, **55**:129–166.
11. Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno AI, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado A, Parra F, Arellanes Y, Cortés L, Lira R: **Plant Management in the Tehuacán Valley.** *Economic Botany* 2010, **64**:287–302.
12. Casas A, Rangel-Landa S, Torres-García I, Pérez-Negrón E, Solís L, Parra F, Delgado A, Blancas JJ, Farfán B, Moreno AI: **In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An ethnobotanical and ecological perspective.** In *Current topics in Ethnobotany*. Edited by De Albuquerque UP, Alves-Ramos R. Kerala, India: Research Signpost; 2008:1–23.
13. Rangel-Landa S, Lemus R: **Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los Ixcatecos de Santa María Ixcatlán.** Oaxaca: México. Bachelor thesis. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán; 2002.
14. Torres I: **Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atlotitlán.** Municipio de Caltepec: Puebla, México. Bachelor thesis. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán; 2004.
15. Delgado-Lemus A: **Aprovechamiento y disponibilidad espacial de Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.** México: Master thesis. Universidad Nacional Autónoma de México; 2008.
16. Lira R, Casas A, Rosas-López R, Paredes-Flores M, Pérez-Negrón E, Rangel-Landa S, Solís L, Torres I, Dávila P: **Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico.** *Economic Botany* 2009, **63**:271–287.
17. Rangel-Landa S, Dávila P, Casas A: **Establishment of Agave potatorum: an ecological approach for developing assisted populations' recovery.** *J Arid Environ* 2014 accepted.
18. Pérez-Negrón E, Casas A: **Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca.** *J Arid Environ* 2007, **70**:356–379.
19. Arellanes Y, Casas A, Arellanes-Meixueiro A, Vega E, Blancas J, Vallejo M, Torres I, Solís L, Pérez-Negrón E: **Influence of traditional markets and interchange on plant management in the Tehuacán Valley.** *J Ethnobiol Ethnomed* 2013, **9**:38.
20. Zapata L, Peña-Chocarro L: **La historia del bosque y su explotación en el pasado: evidencia arqueológica y etnográfica.** *Zainak* 1998, **17**:87–99.
21. González de Molina M: *Historia y Medio Ambiente*. Madrid Spain: Jitanjáfara Morelia Editorial; 2004.
22. Gil-Vega K, González M, Martínez O, Simpson J, Vandemark G: **Analysis of genetic Diversity in Agave tequilana var. Azul using RAPD markers.** *Euphytica* 2001, **119**:335–341.
23. Valenzuela-Zapata A: *El agave tequilero, su cultivo e industrialización*. Guadalajara, México: Monsanto; 1994.
24. Valenzuela-Zapata A: *El agave tequilero, su cultivo e industria*. Guadalajara, México: Monsanto; 1997.
25. Casas A, Vázquez C, Viveros JL, Caballero J: **Plant management among the Nahua and the Mixtec in the Balsas River Basin, México: An ethnobotanical approach to the study of plant domestication.** *Hum Ecol* 1996, **24**:455–478.
26. Casas A, Caballero J, Mapes C, Zárate S: **Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 1997, **61**:31–47.
27. Casas A, Otero-Araiza A, Pérez-Negrón E, Valiente-Banuet A: **In situ management and domestication of plants in Mesoamerica.** *Ann Bot* 2007, **1–15**.
28. Blancas J, Casas A, Pérez-Salícup D, Caballero J, Vega E: **Ecological and sociocultural factors influencing plant management in Nahuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico.** *J Ethnobiol Ethnomed* 2013, **9**:39.
29. Moreno-Calles AI, Casas A, García-Frapolli E, Torres I: **Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: their management and role in people's subsistence.** *Agroforestry Systems* 2012, **84**:207–226.
30. Ticktin T: **The ecological implications of harvesting non-timber forest products.** *J Appl Ecol* 2004, **41**:11–21.
31. Rzedowski Y: *Vegetación de México*. México: Editorial Limusa; 1978.
32. Dávila P, Arizmendi MC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R: **Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico.** *Biodivers Conserv* 2002, **11**:421–442.
33. García E: *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México; 1988.
34. Valiente L: *Patrones de precipitación en el Valle semiárido de Tehuacán, Puebla, México*. Bachelor thesis. México: Facultad de Ciencias. UNAM; 1991.
35. Valiente-Banuet A, Casas A, Alcántara A, Dávila P, Flores N, Arizmendi MC, Villaseñor JL, Ortega J: **La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 2000, **67**:24–74.
36. Valiente-Banuet A, Dávila P, Solís L, Arizmendi MC, Silva Pereyra C, Ortega-Ramírez J, Treviño-Carreón J, Rangel-Landa S, Casas A: *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán Cuicatlán*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A.C; 2009.
37. Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Pérez-Negrón E, Caballero J, Masera O, García-Barrios L: **Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico.** *Agroforestry Systems* 2010, **80**(3):315–331.
38. Ilesley-Granich C: **Claves para saborear los sabores del mezcal.** *Artes de México* 2010, **98**:16–31.
39. Moreno-Calles AI, Toledo VM, Casas A: **Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural.** *Botanical Sciences* 2013, **91**(4):375–398.

doi:10.1186/1746-4269-10-53

Cite this article as: Delgado-Lemus et al.: Vulnerability and risk management of Agave species in the Tehuacán Valley, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2014 10:53.

Submit your next manuscript to BioMed Central and take full advantage of:

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit



CAPÍTULO III

Torres, I., A. Casas, A. Delgado-Lemus, S. Rangel-Landa. 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas* 15(1):92-109.

Artículo original

Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable

IGNACIO TORRES, ALEJANDRO CASAS^{1*}, AMÉRICA DELGADO-LEMUS, SELENE RANGEL-LANDA,

Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
Apartado Postal 27-3, Santa María Guido, C.P. 58090, Morelia, Michoacán, México.

*Autor para correspondencia. E-mail: acasas@cieco.unam.mx

Recibido: 30 Septiembre 2013

Aceptado: 11 de Diciembre 2013

RESUMEN

Agave potatorum es una especie multipropósito de alto valor cultural y económico en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México, especialmente para la producción de mezcal. Es una de las especies más vulnerables debido a las elevadas tasas de extracción, la creciente demanda de mezcal, las particularidades de su biología reproductiva y los limitados esfuerzos de manejo. Se integra información etnobiológica, económica y ecológica sobre su aprovechamiento en el territorio de la comunidad de San Luis Atolotitlán, Puebla y se discuten recomendaciones para su manejo sustentable. Estimamos que anualmente se extrae entre 54% y 87% de los individuos reproductivos existentes en ese territorio; aún así, existe un déficit de alrededor de 5,000 agaves que son importados de otras comunidades. Análisis demográficos de poblaciones bien conservadas proyectan una tasa cercana al equilibrio, sin embargo éstas decrecen. La sobrevivencia de las plántulas y juveniles es el valor que más aporta al desempeño demográfico, simulaciones de viabilidad poblacional sugieren que las poblaciones peligran a corto plazo. Se identificaron 12 especies de arbustos con calidad de nodrizas indispensables para el establecimiento de *A. potatorum*. Se proponen bases para recuperación poblacional asistida y reordenamiento de prácticas extractivas y pecuarias bajo un esquema de manejo adaptativo.

Palabras clave: *Agave potatorum*, demografía, extinción local, manejo sustentable, mezcal, nodricismo, reforestación, reordenamiento territorial.

ABSTRACT

Agave potatorum is a multipurpose specie with high cultural and economic value in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico, especially for the production of mescal. It is also one of the most vulnerable species due to its high extraction from forests, increasing demand of mescal, its reproductive biology and limited management efforts. In this paper we review ethnobiological, economic and ecological information generated in the territory of the community of San Luis Atolotitlán, Puebla in order to construct a sustainable management strategy. We estimate that 54 to 85% of all adult plants of this agave occurring in the territory of the village are annually extracted, and people have to import additionally nearly 5,000 agaves from other villages. Demographic analyses indicate that conserved populations are close to the demographic equilibrium, but even these are declining. The survival of seedlings and juvenile plants mostly contribute to demographic performance; population viability analyses suggest that populations are at risk in the relatively short term. We identified 12 shrub species as quality nurse plants indispensable for establishment of *A. potatorum*. From this information we discuss specific recommendations for sustainable use of this agave in the perspective of adaptive management.

Keywords: *Agave potatorum*, demography, local extinction, sustainable management, mescal, nurse plants, reforestation.

INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), es uno de los reservorios más importantes de diversidad de *Agave* en México, pues alberga 34 especies de este género (García-Mendoza, 2011). La RBTC se caracteriza también por poseer una gran diversidad cultural, la cual está representada por ocho grupos étnicos indígenas (Casas *et al.*, 2001), así como cientos de comunidades campesinas mestizas, las cuales están íntimamente ligadas con el entorno natural que los rodea y tienen un profundo conocimiento de la flora del área. Así, los estudios etnobotánicos han registrado para la región que de un total de 3,000 especies de plantas vasculares, poco más de 1,600 especies son conocidas y aprovechadas para distintos propósitos por los pobladores del área (Lira *et al.*, 2009; Arellanes *et al.*, 2013). Algunas de estas especies han sido utilizadas desde tiempos prehistóricos (MacNeish, 1967), como son los casos de especies de *Opuntia*, *Stenocereus*, *Lemaireocereus* y otras cactáceas y, particularmente importantes, varias del género *Agave* (Smith, 1967). El uso de agaves ha prevalecido hasta la actualidad, habiéndose documentado para la región de Tehuacán-Cuicatlán 29 especies útiles con 12 categorías de uso diferentes (Delgado-Lemus, 2008; García-Mendoza, 2011).

El aprovechamiento de los recursos vegetales de la RBTC ocasiona impactos y éstos pueden determinar riesgos en la permanencia de poblaciones o especies exclusivas para la región. Por ello, el análisis de los patrones de aprovechamiento y de las condiciones para asegurar la permanencia de poblaciones locales es de primordial importancia. El estado de aprovechamiento y el de conservación de las distintas especies de agave dependen de factores relacionados con la intensidad de la extracción, la demanda de los productos aprovechables, la distribución y abundancia de cada especie, su biología reproductiva (particularmente si presentan o no propagación vegetativa), la parte útil aprovechada (si es todo el individuo o

algunas de sus partes), y si existe o no manejo para abatir el riesgo asociado al aprovechamiento del recurso, entre otros factores. Algunos estudios han incorporado información sobre los aspectos mencionados, con el fin de elaborar índices que permitan evaluar la vulnerabilidad y grado de riesgo de especies con alto valor económico y cultural en la RBTC (Blancas *et al.*, 2013; Arellanes *et al.*, 2013). Mediante indicadores e información generales, en esos estudios se ha identificado que *Agave potatorum* es una de las especies con más altos índices de riesgo (Torres, 2004, 2009; Arellanes *et al.*, 2013), debido principalmente a la elevada extracción de agaves para la elaboración de mezcal, así como a los limitados o inexistentes esfuerzos de manejo para contrarrestar dicho riesgo.

La presión sobre algunos recursos vegetales de la región, entre ellos *A. potatorum*, actualmente se encuentra en aumento. Este es el caso de algunas especies de agaves, principalmente los que se utilizan para elaborar mezcal. Esta bebida destilada ha ganado popularidad desde hace alrededor de dos décadas, y su demanda aumenta paulatinamente, de tal forma que su comercialización ha alcanzado dimensiones internacionales. En total, en México se utilizan 42 especies de agave para producir mezcal (Colunga-García *et al.*, 2007), y aunque algunas especies son cultivadas, la gran mayoría se extraen de poblaciones silvestres y, en la mayoría de los casos, se carece de técnicas de manejo o formas de organización y reglas de aprovechamiento que protejan a estos recursos de la extinción. Por ello, resulta urgente el desarrollo de estrategias integrales que permitan caracterizar los patrones de aprovechamiento, diagnósticos rápidos sobre su distribución y abundancia, caracterizar aspectos ecológicos y determinar los efectos de la extracción en la supervivencia de los individuos y de las poblaciones. Igualmente importante es reconocer los factores que influyen en la germinación y establecimiento de plantas, pues en ello descansa la base para recuperar poblaciones afectadas y desarrollar técnicas de manejo sustentable del recurso y de los ecosistemas en los que se encuentran.

En el presente estudio se revisa información etnobiológica, económica y ecológica de estudios que nuestro grupo de investigación ha realizado en la RBTC, con el fin de aportar a las comunidades regionales elementos para diseñar estrategias de aprovechamiento sustentable de un recurso forestal tan importante como es *A. potatorum*. En particular, el estudio analizó: (1) el balance entre la disponibilidad espacial del recurso y la demanda de aprovechamiento en un territorio concreto, (2) el efecto del aprovechamiento sobre la dinámica de las poblaciones y (3) las condiciones indispensables para la regeneración de las poblaciones, como base para una recuperación asistida de las poblaciones de este recurso. Puesto que la mayor parte de los agaves mezcaleros tienen una situación similar a la de *A. potatorum*, se aspira a que las conclusiones de este estudio sirvan como base para abordar la problemática de otras especies en la propia RBTC y quizás sean de utilidad para abordar el manejo de agaves en otras regiones de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en la comunidad de San Luis Atolitlán (SLA), municipio de Caltepec, dentro de la RBTC, México (Figura 1). Su territorio cuenta con un área de 11,800 ha, donde predominan los suelos volcánicos y calizos. El clima es semicálido, con una precipitación anual de 407 mm en promedio. Los tipos de vegetación predominantes son

distintos matorrales xerófilos como la chichipera de *Polaskia chichipe* y *P. chende*, el cardonal de *Mitrocereus fulviceps*, el izotal de *Beaucarnea purpusii*, y el matorral rosetófilo de *Dasyllirion serratifolium* (véase Valiente-Banuet *et al.* 2000 para una caracterización de estos tipos de asociación vegetal). La comunidad está compuesta por alrededor de 200 unidades familiares, y principalmente se practica la agricultura de temporal y en muy baja proporción la de riego. La recolección temporal de recursos vegetales silvestres es una actividad muy importante, ya que hemos documentado alrededor de 280 especies de plantas útiles que son utilizadas por las familias campesinas locales. La elaboración de mezcal, la cría extensiva de ganado y la albañilería son otras actividades económicas complementarias. Además, prácticamente todas las mujeres se dedican al tejido de hojas de palma (*Brahea dulcis*) para la elaboración de artesanías (Torres, 2004).

Especie estudiada

Agave potatorum es una especie perteneciente a la familia Asparagaceae (Agavoideae), endémica de los estados de Puebla y Oaxaca. Recibe el nombre común de “magüey papalote” o “papalometl” (del náhuatl: papalotl = mariposa y metl = magüey). Es una especie monocárpica, que tarda de 8 a 12 años en florecer, la cual no presenta reproducción asexual. Por lo general es una planta acaulescente, de rosetas pequeñas con 50 a 80 hojas de color verde glauco, cortamente ovado-lanceoladas, planas, con márgenes ondulados a profundamente crenados, con los dientes y la espina terminal de las hojas de color castaño (Figura 2a). La formación de la inflorescencia (escapo o ‘quiote’) se hace evidente en el mes de junio; ésta puede alcanzar de 3 a 6 m de altura y presenta alrededor de 11 umbelas, cada una formada por alrededor de 10 flores (Figura 2 a y b) (Gentry, 1982; Estrella-Ruíz, 2008). Las flores son protándricas y son visitadas tanto por animales diurnos como por nocturnos, siendo los murciélagos del género *Leptonycteris* spp. los principales polinizadores (Estrella-Ruíz, 2008). En la RBTC se ha reportado la presencia de *A. potatorum* en 14 tipos de asociaciones vegetales (Valiente-Banuet *et al.*, 2000; Delgado-Lemus, 2008), y habita un rango altitudinal que va desde los 1240 a los 2300 msnm (Gentry, 1982).

Importancia y riesgos en el aprovechamiento de *Agave potatorum* en la RBTC

Agave potatorum es una especie de alto valor cultural y económico para algunas comunidades rurales de la RBTC. Es una especie multipropósito que satisface distintas necesidades como alimento, material de construcción, medicina, combustible, forraje, cerca viva, ornamental y control de la erosión de suelos; pero en especial se utiliza ampliamente para la elaboración de mezcal. El mezcal de esta especie es de alta calidad organoléptica y uno de los más apreciados en la región y en México. La elaboración de mezcal con esta especie constituye una de las pocas actividades locales en las que se utilizan especies silvestres y que determinan un ingreso monetario significativo para la economía familiar.

Los productores de mezcal de SLA, reconocen que la calidad y rendimiento del recurso varía según la unidad ambiental en donde crecen las poblaciones; esta variación podría deberse a diferencias en la concentración de inulina y de otros metabolitos secundarios que la planta produce en respuesta a variaciones ambientales. De acuerdo con los productores, el mezcal

elaborado con agaves provenientes de ambientes más xéricos posee propiedades organolépticas superiores y su rendimiento por unidad de masa es mayor a la de mezcales elaborados con agaves provenientes de unidades ambientales con condiciones más méxicas (Delgado-Lemus, 2008). Dichas propiedades son apreciadas por los consumidores, por lo que los agaves que crecen en condiciones relativamente más estresantes son preferidos sobre agaves provenientes de otros lugares.

Sin embargo, en los últimos 10 años la demanda de mezcal ha aumentado en el mercado y ello ha determinado mayor presión sobre las poblaciones silvestres, aumentando el riesgo de que éstas se extingan. Tal situación se debe a que para elaborar mezcal se requiere extraer las plantas completas para utilizar el tallo y las bases foliares (Figura 2 c y d). Pero la extracción debe llevarse a cabo justo antes de que ocurra la producción del escapo y la inflorescencia (Figura 2a). Esto es así, pues los campesinos saben que la producción de la inflorescencia disminuye la cantidad de azúcares en el tallo. No obstante, al coleccionar los agaves en esta etapa se cancela su único evento reproductivo; es decir, la extracción de agaves para producir mezcal anula por completo la producción de semillas. De acuerdo con nuestros estudios, cada individuo en edad reproductiva puede producir de 2,000 a 9,500 semillas (Torres, 2009), mismas que dejan de producirse por cada medio litro de mezcal, pues en promedio dos agaves rinden un litro de esta bebida.

Los pobladores de distintas comunidades rurales han expresado su preocupación por el hecho de que las poblaciones de este agave están paulatinamente más fragmentadas y progresivamente deben ir a coleccionarlas en sitios más alejados de las comunidades rurales. También les preocupa la falta de técnicas de manejo adecuadas para la conservación de este recurso. Tomando en cuenta la problemática que presenta este importante recurso, nuestro grupo de investigación ha llevado a cabo estudios con diferentes enfoques, con la finalidad de generar información útil para su aprovechamiento y manejo sustentable. Los métodos de tales enfoques se explican a continuación.

Caracterización de los patrones de aprovechamiento y distribución

Se documentaron los patrones de aprovechamiento, particularmente evaluando las tasas de extracción de agaves, el valor de la producción y su contribución a la economía campesina. Junto a esta demanda del recurso, se evaluó la disponibilidad total anual de agaves dentro del territorio de la comunidad productora de mezcal. Con estos elementos se analizó la magnitud del impacto asociado al aprovechamiento del agave estudiado. El análisis de la extracción y valor de la producción se realizó con base en estudios etnobiológicos y entrevistas semi-estructuradas a 14 unidades de producción de mezcal. Se reportan aquí los datos para un año de estudio, los datos para años subsecuentes se analizarán en otro foro. La disponibilidad espacial de los recursos se evaluó a través de muestreos de vegetación. Se contabilizaron los agaves en edad reproductiva en un total de 21 puntos de muestreo, cada uno de ellos con una superficie de 500 m². Con base en observaciones de campo geo-referenciadas se determinó el área en la que se encuentra *A. potatorum* dentro del territorio de SLA. Tomando en cuenta el valor promedio de la abundancia de los sitios muestreados y la superficie del territorio de la comunidad en la que se distribuye se estimó la disponibilidad global del recurso dentro de la comunidad (Delgado-Lemus, 2008).

Demografía y análisis prospectivos de viabilidad poblacional

Se caracterizó la dinámica de dos poblaciones conservadas de *A. potatorum* con la finalidad de conocer su desempeño demográfico. Para ello se establecieron dos parcelas de 2,500 m², marcando todos los individuos de agave presentes. Se midieron la altura, diámetro, número de hojas y área foliar de las últimas cuatro hojas producidas por cada individuo. Con base en esta información se determinaron categorías de tamaño de los agaves. Después de un año se estimó el crecimiento o decrecimiento de cada agave medido, su sobrevivencia o mortandad y con base en esta información se estimó la tasa finita de crecimiento (λ) de cada población. Se hicieron análisis de elasticidad para identificar qué categorías y parámetros demográficos son más vulnerables y cuales aportan más al valor de λ . Se analizó la viabilidad futura de las poblaciones y se hicieron simulaciones del efecto de distintas tasas de extracción y de distintos escenarios de recuperación asistida de las poblaciones (véanse detalles de este estudio en Torres 2009; análisis más detallados de los estudios demográficos están en preparación para publicarse en otro foro).

Nodricismo, germinación y establecimiento

Se llevaron a cabo experimentos en campo y laboratorio para analizar las condiciones de germinación y establecimiento de *A. potatorum* en asociación con especies arbustivas y arbóreas de la vegetación natural. Para ello se analizó la distribución espacial de los individuos de agave mencionados en el párrafo anterior, se analizó si su distribución era aleatoria o sesgada en asociación con especies particulares de arbustos y árboles que cumplen el papel de nodrizas. Se identificaron aquellas nodrizas más importantes en los sitios estudiados, con el fin de desarrollar recomendaciones particulares para técnicas de recuperación asistida de poblaciones con mayor probabilidad de éxito. Se evaluó la germinación y sobrevivencia de plántulas debajo de plantas nodrizas y sitios abiertos, así como el crecimiento y producción de hojas en plantas juveniles de agave trasplantadas a tales condiciones experimentales (los detalles metodológicos de este estudio se pueden consultar en Rangel-Landa 2009; análisis más detallados de este estudio se encuentran en preparación para su publicación en otro foro).

RESULTADOS

El trabajo llevado a cabo por Delgado-Lemus (2008), registró que *A. potatorum* tiene en la comunidad de SLA los siguientes usos: (i) como alimento, consumiéndose los botones florales hervidos, y el escapo tierno y las bases foliares horneadas; (ii) como especie medicinal se utilizan las hojas crudas u horneadas; (iii) como material de construcción se utiliza el escapo seco así como para elaborar utensilios; (iv) como forraje, la gente reconoce que el ganado bovino consume los escapos tiernos de este agave, y nuestras observaciones de campo permitieron corroborarlo; (v) como planta ornamental y ceremonial, se utilizan las plantas juveniles completas trasplantadas a los solares y otros sitios de horticultura, así como a los altares erigidos en actividades religiosas, particularmente la festividad de la Virgen de Guadalupe el 12 de diciembre; y (vi) el uso más relevante desde el punto de vista económico, que es el aprovechamiento para la elaboración de mezcal. Esta actividad involucra y beneficia a 60 (30% del total) familias de SLA. Las ganancias generadas por esta actividad son repartidas entre los

distintos eslabones de producción. El 58% es absorbido por los productores, el 26% lo reciben los peones, el 11% los colectores de agaves y el 4% los comerciantes que lo expenden en la comunidad. El intermediarismo para su comercialización al exterior de la comunidad es aún incipiente y poco importante.

Se estima que anualmente para satisfacer las necesidades de las 14 unidades de producción se necesitan en promedio cerca de 12,000 agaves (Delgado-Lemus, 2008); dentro del territorio de la comunidad se extraen sólo entre 4,000 y 6,400, mientras que el resto se compra a las comunidades vecinas. Se estimó que *A. potatorum* se distribuye en un área de 608 ha dentro del territorio de la comunidad (Delgado-Lemus, 2008) y que en promedio existe una disponibilidad de 12 ± 16 agaves adultos por hectárea, por lo que calculamos que anualmente estarían disponibles cerca de 7,300 individuos de agave adultos, extraíbles para la elaboración de mezcal. Los cálculos de extracción indican que en el territorio de SLA se aprovechan entre el 54% y el 87% del total de individuos reproductivos disponibles. La percepción de los pobladores de SLA sobre el estado actual del recurso es que hoy en día se requiere ir cada vez más lejos para extraer agave mezcalero. Los campesinos afirman que hace 30 o 40 años, en diversos parajes cercanos al pueblo existía una gran abundancia de esta especie y que ahora han desaparecido debido a la actividad mezcalera, es decir se documentaron casos de extinción de poblaciones locales. Actualmente es posible identificar y mapear los sitios en donde había agaves y sus poblaciones se extinguieron.

Los análisis demográficos (Torres, 2009) indicaron que las poblaciones en mejor estado de conservación se encuentran cercanas al equilibrio, sin embargo, presentan tendencias al decrecimiento (en el sitio denominado “Machiche” $\lambda = 0.9903$, el límite inferior 0.9536, y el límite superior 1.016; en el sitio denominado “Xochiltepec” $\lambda = 1.021$, el límite inferior 0.991, y el límite superior 1.053, Figura 4). El patrón demográfico y las categorías de tamaño que más aportan al desempeño demográfico de ambas poblaciones son la permanencia de las tres primeras categorías (plántulas y juveniles de uno y dos años aproximadamente, véase Figura 3), siendo la sobrevivencia de las plántulas (P) la más importante. Estas categorías son también las más vulnerables a los efectos del disturbio, principalmente el pastoreo de cabras y bovinos. Los análisis de viabilidad poblacional sugieren que en un escenario de proyección a 30 años, aun sin extracción, las poblaciones decrecen en el tiempo. Una de las poblaciones estudiadas, la población “Machiche” que está en condiciones relativamente más xéricas decrecerá cerca del 90%; la otra población, relativamente más mélica, la denominada “Xochiltepec” decrecerá hasta 30%. Los análisis prospectivos de extracción de agaves adultos, al parecer no afectan drásticamente al desempeño poblacional. Esto se puede explicar debido a que los análisis de elasticidad muestran que la sobrevivencia de los individuos adultos y la fecundidad no tienen un aporte significativo sobre el crecimiento poblacional λ . Sin embargo, es claro que para que haya plántulas es necesario asegurar la disponibilidad de semillas. Así, las simulaciones de reforestación indican que en las poblaciones estudiadas un esfuerzo de reforestación de 20% del número de individuos de la categoría P, determina que el valor de λ sobrepase un umbral por arriba de la unidad. Una de las limitaciones que deben tomarse en cuenta es que nuestros análisis se basaron solo en un año de muestreo. No obstante, los análisis sugieren que son necesarias acciones inmediatas para la recuperación y conservación de estas poblaciones, las

cuales cabe mencionar fueron las más conservadas que se encontraron para llevar a cabo los análisis demográficos. Los análisis indican que cada población necesita de acciones diferentes, dependiendo de la unidad ambiental donde crece, pues en cada sitio la asociación vegetal y las condiciones ambientales y estructura de la vegetación son diferentes (Figura 4).

Las investigaciones sobre asociación y condiciones de establecimiento (Rangel-Landa, 2009), indican que en el sitio “Xochiltepec” *A. potatorum* presenta un patrón de distribución asociado a plantas nodrizas. De 233 plantas de agave marcadas, el 90.5% se encuentra asociada al 28% de las especies de arbustos y árboles registrados en el sitio. En el sitio “Machiche”, de 242 plantas de agave el 78.1% se encontró asociada al 35% de especies de arbustos encontrados en el sitio. La orientación del agave con respecto a la nodriza fue significativa hacia el norte y el oeste de la planta nodriza (Rangel-Landa, 2009). Con base en experimentos en campo se determinó que la asociación con árboles y arbustos es crucial en el establecimiento, tomando en cuenta la germinación y sobrevivencia de las plántulas durante un año. Hay especies de árboles y arbustos que presentan la mayor calidad como plantas nodriza: *Gochnatia hypoleuca*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Prerostemon rotundifolia*, *Calliandropsis nervosum*, *Rhus chondroloma*, *Wimmeria microphylla*, *Bouvardia longiflora*, *Neopringlea viscosa*, *Dalea* spp., *Perymenium discolor*, *Mimosa* spp. (Rangel-Landa, 2009; Figura 5). En el análisis de la sobrevivencia y crecimiento de plantas producidas en vivero y trasplantadas después de 2 años de la germinación, se encontró que la sobrevivencia fue casi del 100% en los dos sitios, sin embargo la tasa de crecimiento medida como el volumen y número de hojas (comparando estos parámetros al momento del trasplante y después de un año en cada individuo) fue significativamente mayor en los agaves trasplantados bajo el dosel de arbustos en comparación con los que se trasplantaron en sitios abiertos. En los agaves trasplantados en espacios abiertos también se observó que tenían menor vigor (hojas más delgadas, frágiles y de coloración muy rojiza), lo que los vuelve más vulnerables ante los depredadores y las sequías.

DISCUSIÓN

Recomendaciones de manejo integral

Con base en los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas, consideramos que es imprescindible iniciar un proceso de reordenamiento territorial de las prácticas extractivas forestales de *A. potatorum*, así como de las actividades ganaderas en áreas forestales donde se encuentra esta especie, pues el ganado afecta significativamente la sobrevivencia de plántulas y juveniles. Tal proceso de reorganización deberá contar con una plataforma participativa, bajo un modelo de manejo adaptativo (Akçakaya & Sjögren-Gulve, 2000; Berkes, 2000). La propuesta se basa en que el proceso asegure que la toma de decisiones para las acciones se lleve a cabo por todos los ejidatarios, y en éste los investigadores participen brindando asesoría y sugerencias con base en las propuestas técnicas derivadas del estudio. Es importante la inclusión de todos los habitantes de la comunidad, no solamente los productores o participantes en la cadena de producción de mezcal, pues se trata de áreas y recursos de uso común. Sugerimos incluir la información técnica generada en el presente trabajo y en otros estudios científicos similares (Jiménez-Valdés *et al.*, 2010; Martin *et al.*, 2011), así como experiencias organizativas encaminadas al mismo propósito (Illsley *et al.*, 2005, 2007). Es crucial además reforzar el

diálogo y fomentar el trabajo en conjunto con la Dirección de la Reserva de la Biósfera RBTC, pues hay iniciativas institucionales valiosas pero no necesariamente acertadas; como por ejemplo, la promoción de la plantación de agaves externos a la zona por parte de dependencias gubernamentales, o prohibiciones de uso forestal sin una adecuada información, lo que genera malestar y falta de participación de la población local.

Una de las principales y urgentes acciones a llevarse a cabo es un monitoreo y ubicación de las poblaciones silvestres remanentes, caracterizando su densidad y estructura poblacional. Estos podrán ser los bancos de germoplasma a conservar *in situ* para programas futuros de recuperación asistida de poblaciones. Asimismo, es factible y de gran utilidad realizar la identificación de asociaciones con plantas nodrizas bajo muestreos rápidos en una mayor variedad de ambientes dentro del territorio de SLA y de otras comunidades. Este diagnóstico permitirá ampliar rápidamente el espectro de condiciones seguras o de mayor probabilidad de éxito en las acciones de trasplante de plantas de vivero para recuperación asistida de las poblaciones.

Con base en los mapas de distribución potencial elaborados en el presente estudio (Delgado-Lemus, 2008), así como la identificación de sitios en donde las poblaciones de *A. potatorum* se extinguieron recientemente, es posible identificar áreas en las que es posible la recuperación de poblaciones extintas y la de poblaciones deterioradas. En tales áreas, los modelos de nuestros estudios permiten hacer recomendaciones concretas sobre los ciclos y tasas más adecuadas de plantación, las orientaciones y especies de plantas nodrizas adecuadas para aumentar las probabilidades de éxito de las acciones de reforestación. En los sitios descubiertos de vegetación, en los cuales las plantas nodriza están ausentes, es factible experimentar la plantación de agaves utilizando sombras artificiales con materiales locales (ramas, palmas) o con mallas de sombra. En cuanto a los patrones de extracción, los modelos demográficos efectuados sugieren que no hay un efecto drástico en la dinámica poblacional asociada a la extracción de agaves adultos; sin embargo, consideramos pertinente proponer a las asambleas comunitarias regular que se evite el corte de más del 70% de los individuos maduros en una unidad de manejo. Esta propuesta tiene la finalidad de asegurar la producción de semillas para que se lleve a cabo el establecimiento de manera natural y la disponibilidad de germoplasma que pueda colectarse con el fin de propagación controlada en vivero.

De acuerdo con Martín (2011), el reordenamiento del libre pastoreo de ganado es una acción crucial para la protección de *A. potatorum* y otros recursos forestales. En SLA, el pastoreo se practica en zonas extensas en las cuales no se puede efectuar un control del impacto del ganado. Protegiendo las poblaciones remanentes del ganado (como las dos poblaciones analizadas en los estudios reportados aquí), se lograría proteger el desarrollo de plántulas y plantas juveniles pequeñas, las categorías más importantes para el desempeño demográfico de la especie estudiada y las cuales son también las etapas del ciclo de vida más vulnerables al forrajeo de caprinos y al pisoteo de bovinos. Es también necesario proteger los escapos tiernos, los cuales se desarrollan de junio a agosto y son especialmente susceptibles a la herbivoría por el ganado. El aislamiento del ganado con barreras físicas permitiría establecer unidades espaciales de manejo que serían útiles para el ordenamiento de la actividad pecuaria y el control de su impacto sobre las áreas forestales. Cabe mencionar que la gente local ya lleva a cabo estrategias para planear el acceso del ganado a las áreas forestales. Nuestro estudio brinda sugerencias complementarias a las que ya se practican.

Con la finalidad de conservar la mayor diversidad genética y adaptaciones locales en las poblaciones manejadas de agave es necesario designar diversos sitios para la colecta de semilla, al menos por tipo de vegetación o de las asociaciones vegetales definidas por Valiente-Banuet *et al.* (2000, 2009) y de esta manera aumentar las probabilidades de éxito en el establecimiento de las poblaciones manejadas, así como la regeneración natural de generaciones subsecuentes. Las semillas pueden propagarse fácilmente en viveros comunitarios. Sin embargo, es necesaria una debida identificación del origen del material propagado, para que pueda decidirse adecuadamente el destino más apropiado de las plantas producidas en vivero, de acuerdo con las características de los sitios a reforestar. Se debe asegurar que el destino de las plantas sea en sitios similares a aquellos en donde se recolectó el germoplasma, al menos en condiciones bioclimáticas similares, tomando en cuenta el tipo de vegetación, suelos y altitud. En el momento de hacer la recolección, es necesario tener cuidado de recolectar solamente las cápsulas que estén maduras y dejar a las inmaduras que terminen su desarrollo. Las flores de *A. potatorum* tienen un desarrollo asincrónico y la maduración de semillas no se alcanza durante el almacenamiento; es preferible su maduración y eventual dispersión *in situ*. Tomando en cuenta las recomendaciones de León (2013), la recolección de semillas se puede llevar a cabo con la ayuda de una tijera de garrocha, puesto que las inflorescencias no rebasan los seis metros de altura. Es recomendable dispersar manualmente semillas en los sitios de origen de las plantas, específicamente en micrositos seguros, bajo el dosel de plantas perennes que interactúan como nodrizas; ello favorecería significativamente la probabilidad de establecimiento de plantas de esta especie.

La estructura ideal para la siembra es un vivero cerrado, que aisle a las plántulas de depredadores tales como aves, roedores, hormigas y conejos, los cuales son los depredadores de los agaves en esta etapa de desarrollo. El vivero debe poseer un techo de malla sombra para proteger las plántulas de la radiación solar excesiva. Una vez que las plántulas tengan alrededor de seis meses, deben trasplantarse a bolsas de plástico independientes y en ellas permanecer al menos dos años. Seis meses antes de la reforestación los agaves deben pasar por una etapa de endurecimiento o aclimatación, con la finalidad de que al ser trasplantados, puedan soportar las condiciones ambientales contrastantes del campo. Existen diversas técnicas que van desde la adaptación a la sequía y radiación solar quitando el riego y exponiéndolas al sol paulatinamente, hasta otras más elaboradas como quitarles la tierra y dejar las raíces expuestas (o incluso cortarlas). La elección depende de la especie y las condiciones de cada sitio. Una forma de encontrar la mejor técnica para cada lugar es rescatar las prácticas locales, experimentar, combinarlas con las recomendaciones técnicas y monitoreando los resultados obtenidos, para lograr la aclimatación.

El trasplante debe llevarse a cabo bajo las plantas nodrizas identificadas. En sitios abiertos la mortalidad puede ser de hasta un 90%. Bajo el dosel de plantas perennes es posible encontrar las condiciones de sombra, humedad y disponibilidad de nutrientes adecuadas para aumentar la probabilidad de establecimiento.

Sin embargo, en la RBTC existe una gran diversidad de unidades ambientales y por ende una gran variación en la composición de las especies vegetales, por lo que se recomienda observación, experimentación y monitoreo del crecimiento y sobrevivencia. Según lo

encontrado, las especies que son mejores nodrizas son aquellas que tienen un follaje denso, que son perennes o conservan su follaje a lo largo del año, que no producen sustancias alelopáticas y que poseen sistemas radiculares no superficiales. Para aumentar la sobrevivencia de las plántulas, los trasplantes deben efectuarse hacia el norte y el oeste de la planta nodriza, orientaciones hacia donde se proyecta la sombra y donde reciben mayor protección de la radiación solar excesiva en la época de sequía. En los sitios desprovistos de vegetación se recomienda hacer uso de sombras artificiales, pero aún falta experimentar la factibilidad duradera de esta técnica. En todo caso es mejor promover la presencia de plantas que puedan hacer el papel de nodrizas y tengan otros efectos positivos en los sitios como la formación de suelo. Esto favorece el establecimiento de otras plantas que tienen otras funciones ecológicas y usos como la producción de leña, importante en la subsistencia de estas comunidades y la misma producción del mezcal. Es factible además, incorporar *A. potatorum* a los sistemas agroforestales, trasplantando plantas en linderos y franjas de vegetación como parte de la estrategia para la recuperación y aprovechamiento de la especie.

Para el aprovechamiento de las poblaciones silvestres es recomendable establecer unidades espaciales de manejo, fijando ciclos de rotación de cosecha y monitoreo, como lo recomiendan Illsley *et al.* (2005, 2007). Esto con el fin de que las poblaciones de estas áreas florezcan libremente y logren establecerse de manera natural. Además, en esta situación es factible realizar monitoreo comunitario para conocer aspectos de la densidad y la estructura poblacional, elementos fundamentales para tomar decisiones sobre las acciones futuras necesarias para cada unidad espacial de manejo. Es necesario diseñar muestreos rápidos de monitoreo mediante técnicas participativas con los campesinos encargados de la reforestación, cosecha y rotación del ganado para así facilitar la identificación de las mejores técnicas adaptadas a esas características particulares.

Una alternativa que puede ayudar a encaminar al aprovechamiento sustentable de este recurso es la inclusión del mezcal en mercados orgánicos y de comercio justo, en donde se puedan obtener mayores ganancias que las actuales. Una parte fundamental en este tipo de experiencias es la organización social, la cual depende de que los actores principales se apoderen de las técnicas y sean directamente los manejadores de sus recursos naturales.

CONCLUSIONES

Agave potatorum es un recurso forestal no maderable a escala local y regional, de alta importancia económica y ecológica. Su aprovechamiento sin un manejo que recupere las poblaciones está destinado a la extinción local a corto plazo. El manejo sustentable del recurso requiere considerar la recuperación asistida de poblaciones extintas y deterioradas y acuerdos comunitarios para cosechar no más del 70% de individuos adultos por población. Los acuerdos deben comprender regulaciones para controlar el acceso del ganado a las áreas forestales. La recuperación asistida de poblaciones es altamente recomendable pues la germinación de semillas es alta en condiciones controladas; asimismo, la sobrevivencia de plantas juveniles de dos años de edad es alta bajo las plantas nodrizas adecuadas. Cuidar plantas nodrizas y agaves es fundamental en el sistema. Monitorear sistemáticamente las acciones bajo un esquema de manejo adaptativo permitirá aumentar las posibilidades de éxito en las acciones de manejo. El intercambio de experiencias entre comunidades puede potenciar la efectividad de las acciones y acortar el camino para el aprovechamiento sustentable de esta y otras especies forestales de las zonas áridas.

Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México:
Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y al CONACYT por el apoyo a los estudios de posgrado de los autores. Asimismo, al CONACYT y a la DGAPA, UNAM por el apoyo financiero a las investigaciones reportadas (CB-2008-01-103551, IN205111-3 y IN203213). Asimismo, agradecemos el apoyo técnico de Edgar Pérez-Negrón y la generosidad de los pobladores y autoridades de San Luis Atolotitlán y San Francisco Xochiltepec.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arellanes, Y., A. Casas, A. Arellanes, E. Vega, J. Blancas, M. Vallejo, I. Torres, S. Rangel-Landa, A. I. Moreno-Calles, L. Solís & E. Pérez-Negrón. 2013. Influence of traditional markets on plant management in the Tehuacán Valley. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:38.
- Akçakaya, H. R. & Sjögren-Gulve, P. 2000. Population viability analyses in conservation planning: an overview. *Ecological Bulletin* 48: 9-21.
- Berkes F., J. Colding & C. Folke. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10(5):1251–1262.
- Blancas, J., A. Casas, D. Pérez-Salicrup, J. Caballero & E. Vega. 2013. Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Nahuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9:39.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, J.L. Viveros, J. Caballero, L. Cortés, P. Dávila, R. Lira & I. Rodríguez. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 55:129–166.
- Colunga-García, M. P., D. Zizumbo-Villarreal y J. Martínez-Torres. 2007. Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural. En: P. Colunga-García Marín, L. Eguiarte, A. Largué S, y D. Zizumbo-Villarreal (Eds). *“En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves”*. 229-248. CICY-CONACYT-CONABIO-INE.
- Delgado-Lemus, A. 2008. Aprovechamiento y disponibilidad especial de *Agave potatorum* en San Luis Atolotitlán, Puebla, México. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Morelia.
- Estrella-Ruíz, P. 2008. Efecto de la explotación humana en la biología de la polinización de *Agave salmiana* y *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- García-Mendoza, A. J., 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88 Agavaceae. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson.
- Illsley, C., A. Tlacotempa, G. Rivera, P. Morales, L. García, L. Casarrubias, M. Calzada, R. Calzada, C. Barranca, J. Flores & E. Omar. 2005. Maguey papalote. En: *La riqueza de los bosques mexicanos: mas allá de la madera. Experiencias de comunidades rurales*. SEMARNAT, CONAFOR, CIFOR, INE, Overbook foundation, People and Plants. Primera edición. México, D.F.

- Illsley, C., E. Vega, I. Pisanty, A. Tlacotempa, P. García, P. Morales, G. Rivera, J. García, V. Jiménez, F. Castro & M. Calzada. 2007. Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. En: *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. 319-338. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. México.
- Jiménez-Valdés, M., H.G. Álvarez, J. Caballero & R. Lira. 2010. Population dynamics of *Agave marmorata* Roetzl. under two contrasting management systems in Central Mexico. *Economic Botany* 64(2): 149-160.
- León, A. 2013. Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de *Agave inaequidens* Koch ssp. *inaequidens* (Agavaceae), en el estado de Michoacán. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, Morelia.
- Lira, R., A. Casas, R. Rosas-López, M. Paredes Flores, E. Pérez-Negrón, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres & P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 63:271-287.
- MacNeish, R.S. 1967. A summary of subsistence. En: Byers, D.S. (ed.). *The prehistory of the Tehuacán Valley Vol. 1: Environment and subsistence*. 290-309. Universidad de Texas Press. Austin.
- Martin, M.P., C.M. Peters, M.I. Palmer & C. Illsley. 2011. Effect of habitat and grazing on the regeneration of wild *Agave cupreata* in Guerrero, Mexico. *Forest Ecology and Management* 262: 1443-1451.
- Rangel-Landa, S., 2009. Establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Smith, E.C. 1967. Plant remains. En: Byers, D.S. (ed.). *The prehistory of the Tehuacán Valley Vol. 1: Environment and subsistence*. Universidad de Texas Press, Austin TX, E.U.A.
- Torres, I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, Morelia.
- Torres, I. 2009. Dinámica poblacional de dos morfos de *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae) en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán: bases para su manejo sustentable. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Morelia.
- Valiente-Banuet, A.; A. Casas; A. Alcántara, P. Dávila; N. Flores, M.C. Arizmendi, J.L. Villaseñor, J. Ortega & J.A. Soriano. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 25-74.
- Valiente-Banuet, A., L. Solís, P. Dávila, M.C. Arizmendi, C. Silva, J. Ortega-Ramírez, J. Treviño, S. Rangel-Landa & A. Casas. 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Fundación para la Reserva de la Biósfera Cuicatlán A.C. México, D.F.

FIGURAS

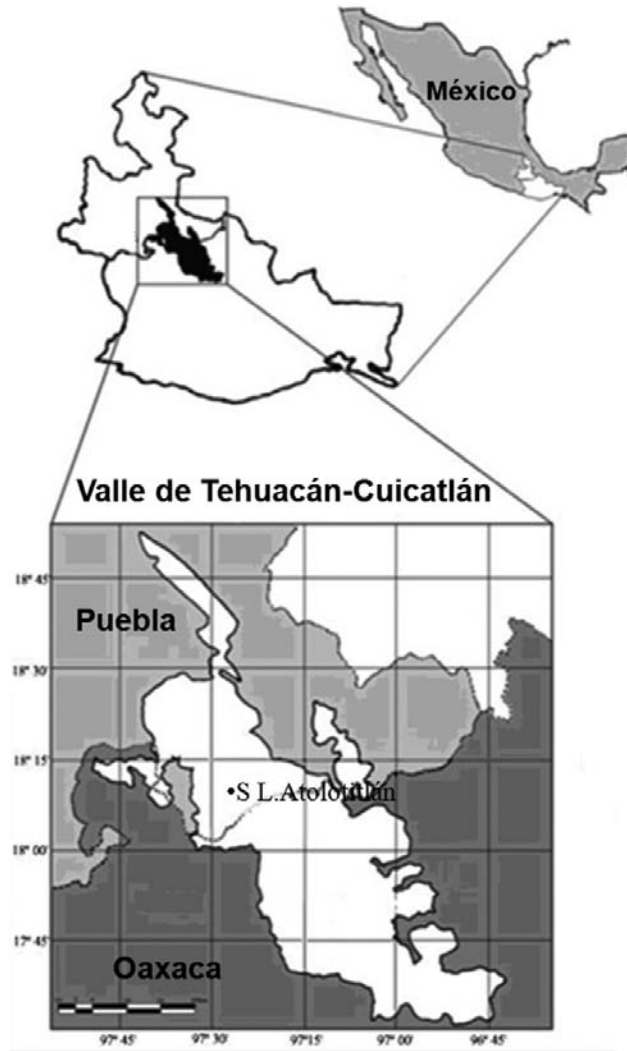


Figura 1. Mapa de ubicación de San Luis Atolotlán en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán en los estados de Puebla y Oaxaca, México.



Figura 2. Aspectos del recurso forestal estudiado y su aprovechamiento. a) *Agave potatorum*, b) *A. potatorum* en floración, c) extracción de *A. potatorum* con machete y d) tallos y bases foliares de *A. potatorum* cosechados.

Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México:
Aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable

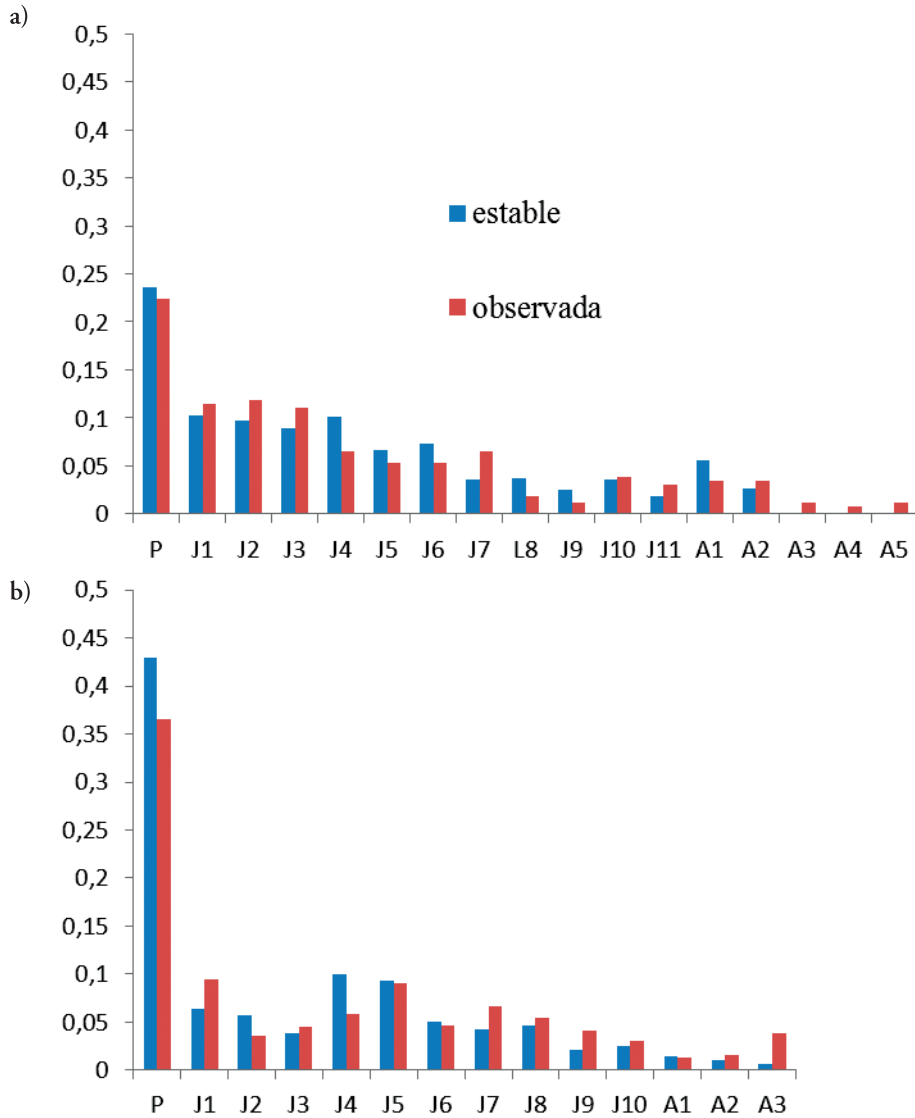


Figura 3. Estructura poblacional esperada y observada de los individuos de *Agave potatorum* con distintas categorías de tamaño para la población: a) “Xochiltepec” y b) “Machiche”

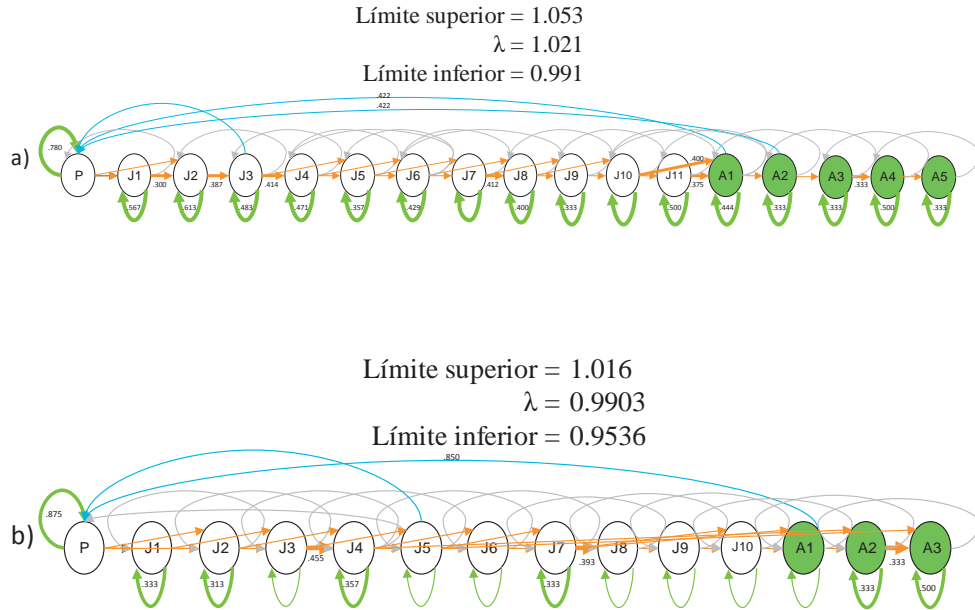


Figura 4. Ciclo de vida de *Agave potatorum*. Diagramas flujo numérico poblacional para la población a) "Xochiltepec" y b) "Machiche". La probabilidad de supervivencia se muestra con las flechas verdes, la de transición con las flechas naranjas, la regresión con las flechas grises y la fecundidad con la línea azul. Los detalles metodológicos y los resultados de este estudio pueden consultarse en Torres (2009). Se encuentra en preparación una publicación detallada sobre este tema.



Figura 5. Aspecto de individuos juveniles de *Agave potatorum* asociados al microambiente benéfico aportado por *Gochnatia hypoleuca* una especie nodriza sobresaliente.

CAPÍTULO IV

Delgado-Lemus, A., O., Téllez, A. Casas. 2014b. Traditional use and ecological aspects of *Agave potatorum* in Tehuacán Valley, México: perspectives for its sustainable management. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.



RESEARCH

Open Access

Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products

América Delgado-Lemus¹, Alejandro Casas^{1*} and Oswaldo Téllez²

Abstract

Background: *Agave* species have been used for thousands of years in the Tehuacán Valley, but the current mescal production has great impact on populations of the most used species. Harvesting of *A. potatorum* takes place before sexual reproduction and the over-extraction put local populations at high risk. In the community of San Luis Atotzilán (SLA), mescal has been produced for one century but the growing mescal trade is leading to intensified agave extraction. Our study evaluated distribution and abundance of *A. potatorum*, extraction rates, management practices and economic importance for SLA households. The unbalanced relation between availability and extraction rates would be an indicator of risk requiring sustainable management strategies. Our case study aspires contributing to analyze general patterns for sustainable use for this and other forest products highly extracted.

Methods: We used bioclimatic modeling to project a map of potential distribution of the species, and ecological sampling to estimate the total availability of harvestable agaves within the territory of SLA. We used participant observation, surveys and semi-structured interviews with producers and households of SLA to document agave uses, technological and socio-economic aspects of mescal production, and to estimate extraction rates of agaves.

Results: Mescal production, medicine and fodder are the most important uses of *A. potatorum*. Its distribution area is nearly 608 ha where annually occur on average 7,296 harvestable plants, nearly 54 to 87% of them being harvested. Mescal production currently is a non-sustainable activity, requiring great changes in patterns of extraction and management adopting sustainable criteria. Local people started management planning to ensure the future availability of agaves, and the ecological information of this study has been helpful in constructing their decisions. Technical support for improving local experiences for managing populations' recovering is a priority. Interaction of scholars and local people for solving this problem is already taking place and strengthening this process may be determinant for successful results.

Conclusions: Strategies for protecting particular populations, temporal substitution of agave species for mescal production, implementation of restoration and organization for fair commerce are needed for improving sustainable use of *A. potatorum*.

Keywords: *Agave potatorum*, Maguey, Mescal, Non-timber forest products, Plant management, Sustainable use, Tehuacán valley

* Correspondence: acasas@cieco.unam.mx

¹Centro de Investigaciones en Ecosistemas, (CIECO), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 27-3, Santa María Guido, C.P. 58090 Morelia, Michoacán, México

Full list of author information is available at the end of the article

Background

The genus *Agave* comprises species with high ecological, economic and cultural value in Mexico. Out of 200 *Agave* species existing in the world 150 are found in Mexico [1], with a wide distribution in a variety of landscapes. The ancient use of agaves by local cultures continues up to the present: nearly half of the species are used for their fibers in traditional manufacturing of clothes, cords, nets, textile knitting, tools, and hand-crafts; some others are used as food, in traditional medicine, as construction material, and living fences [2]. Nearly 53 species are useful for preparing alcoholic beverages such as “pulque” (fermented sap agave beer) and mescal, a spirit distilled from baked and fermented agave stems [2-4]. All these agave products commonly offer significant goods for direct consumption and monetary incomes to the livelihoods of numerous Mexican communities, especially in arid and semi-arid areas. But the use of most species continues without regards their future availability or socio-ecological problems associated to their use. These are particularly the cases of those intensely cultivated species like the tequila agave (*Agave tequilana* var. *azul*) whose production involves progressive substitution of large areas of forests by plantations throughout Mexico, as well as extensive propagation of clones with resulting narrow genetic diversity populations [5,6]. But it is also the case of most species of agave, which are extracted from wild populations without management practices focused on recovering their affected populations. Except nine species that are cultivated and twelve that receive some incipient management type, populations of 44 agave species of Mexico are extracted from the wild are threatened because of their non-regulated harvesting (notice that the sum of the agave species referred to in this sentence is higher than 53; this is because a species may be wild, incipiently managed and/or cultivated [4]), a situation that could determine gradual local extinctions of the species if alternative management techniques are not fully developed. We analyze in this study the case of *Agave potatorum*, a semelparous agave species endemic to the states of Oaxaca and Puebla in central Mexico, where the Tehuacán Valley is located. It is the case of one particularly important species that is endangered, but the methods, analyses and reflections derived from this case study may help for developing diagnosis and designing strategies for other agave species of the Tehuacán Valley as well as dozens of agave species extracted from forests in other regions of Mexico. It may also be helpful for analysing the cases of other forest resources highly extracted for commercialization and that are also in high risk [7].

The Tehuacán Valley lodges an extraordinary biologic and cultural diversity. It is the region with the greatest

Agaves species richness in Mexico [1], embracing 23 species, with which humans have had a long history of interaction [8,9]. In this region, human cultural history is between 12,000 and 14,000 years old, according to archaeological studies conducted in caves of the area by MacNeish [9]. In addition to the abundant remains of nets and clothes confectioned with fiber of agave leaves from strata of 7,000 years of antiquity [10], archaeological studies found remains of chewed agave fibers in caves floor and coprolites of the most ancient strata associated with human occupation of the region, nearly 10,000 years ago [9,11]. The agave remains found suggest the prehistoric use of these plants as food, prepared by roasting the stems, leaf bases and floral escapes [11] and probably flower buds like currently people do. The sweet cooked agave food called “mezcalli” (from the Náhuatl term *metl* meaning agave and *izcalli* meaning oven) was cooked like currently for mescal production, baking the stems in underground ovens using heated stones. Archaeologists reported ovens used for this purpose in the Tehuacán Valley as well as in several archaeological sites throughout Mexico [8,12]. The archaeological studies of the Tehuacán valley allowed a complete chronological reconstruction of the prehistory of the region and have been of great importance to characterize processes that led to origins of agriculture and domestication of plants [13], in which agaves had a central role.

Recently, the harvesting activity causing higher impact on wild agave populations is growing with the mescal industry, which has determined extraction techniques and rates that have already decreased and caused extinction of local *Agave potatorum* populations [14]. Development of the mescal industry has been carried out without comprehensive knowledge about ecological, social and economic implications of mescal production. Therefore, it is of great concern to generate information of such processes that might help us to understand the role of mescal production in household economy, the conservation state of local agave populations, the impact of extraction on ecosystems and the management techniques required for its conservation.

We focused our attention on a case study in San Luis Atolotitlán (SLA), Puebla, located in the Tehuacán-Cuicatlán Valley biosphere reserve. Our study aimed to: (1) characterize the distribution and abundance of *Agave potatorum*, (2) analyze the traditional use, management and extraction rates of *A. potatorum*, the economic importance of mescal production and trading, (3) identify risk factors in the current use patterns and the main challenges for constructing sustainable management strategies, and (4) identify critical actions for sustainable use of this and other agaves of Mexico under similar situations, as well as other non-timber forest products with commercial value.

Material and methods

Study area

The Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve is located in the southeastern part of the state of Puebla and the northwestern region of the state of Oaxaca, central Mexico (Figure 1). This is the southernmost arid area of Mexico [15] and its aridity is determined by the orographic rain shadow caused by the *Sierra Madre Oriental*. The Biosphere Reserve covers nearly 4,950 km², nearly one half of the whole Tehuacán-Cuicatlán Valley region (10,000 km²). The reserve contains a variety of climates, warm climates with annual mean temperature of 21°C and rainfall of 700 to 800 mm in the southeast, semi-warm climates with annual rainfall of 300 to 500 mm in the central and western areas, and temperate climates with 600 mm of annual rainfall in the northwest [16]. A mosaic of plant communities

includes 36 association types, described and classified by [17] according to their physiognomy, dominance, and structure.

Our study centered in the case of the village and territory of San Luis Atlotitlán (SLA) with the purpose of developing a methodological tool that could help for analysing the cases of other species and wider spatial scales. SLA is located at the southeast of the state of Puebla (Figure 1), with average elevation of 1900 m [18] comprising a territory of approximately 118 km². The village of SLA was founded after the Mexican revolution in 1915, in the area of the Hacienda de SLA Tultitlanapa. People of SLA are descendants from Náhuatl communities of the surrounding areas. At the time of this study only three older members of the community referred to that their grandparents spoke Náhuatl language. However, there are

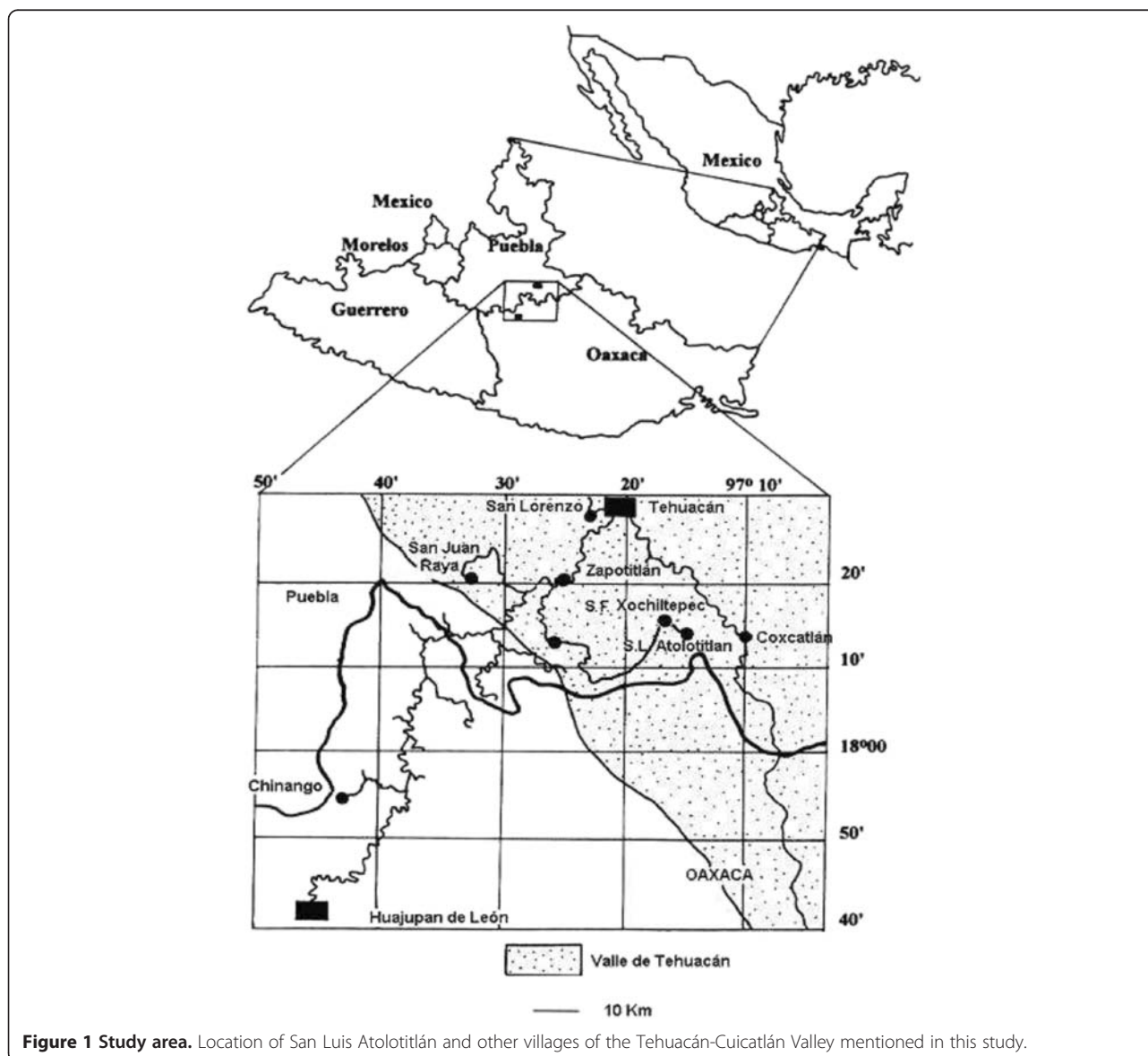


Figure 1 Study area. Location of San Luis Atlotitlán and other villages of the Tehuacán-Cuicatlán Valley mentioned in this study.

still numerous terms derived from Náhuatl commonly used by local people; this is the case of “*papalometl*” (meaning “butterfly agave”), the name of *Agave potatorum*. People are mostly peasants dedicated to seasonal agriculture of corn and beans, complementing their diet with nearly 44 species of wild edible plants [19]. Some households are also dedicated to extensive raising of cattle and goats. Almost all women weave handicrafts with palm (*Brahea dulcis*) leaves. Nearly one third of households participate in activities related to mescal production, and a few households are traders or work in clothes factories in Tehuacán (‘maquilas’ factories) [14].

Climate

According to [16], the climate type registered in the nearest meteorological station in Caltepec, is semi-arid with annual mean temperature above 18°C, a dry station during the winter (November to January) and a rainy season in summer (June-September) with annual precipitation averaging 655 mm. Nevertheless, local people mentioned to have perceived progressive decreasing of rainfall.

Vegetation

We firstly described and characterized vegetation types of the territory of SLA based on remote perception images, fieldwork to corroborate the physiognomy of vegetation units and vegetation sampling by 500 m² plots in all the vegetation types identified according to [17] throughout the whole territory [19]. We identified eight plant association types: (1) scrubland of *Euphorbia anti-syphilitica*, (2) scrubland of *Dasyllirion serratifolium*, (3) scrubland of *Gochnatia-Dasyllirion*, (4) forest of *Mitrocereus fulviceps*, (5) oak forest, (6) cacti forest of *Polaskia chichipe*, (7) chaparral or mexical of *Dasyllirion serratifolium*, (8) scrubland (izotal) of *Beaucarnea purpusii*. We constructed a map of these vegetation types, identifying those where *Agave potatorum* was present, and complemented the records with the “walk in the woods” method, which allowed identifying areas of presence of the agave studied in vegetation types in which previous studies did not identify it. This method also allowed identifying a larger number of geo-referenced points for constructing a bioclimatic collection of data that were used for projecting the map of potential distribution. In addition, we identified and geo-referenced areas where people knew there were agaves some 15 to 20 years ago and became extinct because their extraction for preparing mescal.

Agave potatorum

The individuals of *Agave potatorum* (Figure 2) form relatively small rosettes with 50 to 80 glaucous or light green broad leaves (the name “butterfly agave” makes reference to this feature) with margins undulated to deeply crenate



Figure 2 Aspect of an individual of *Agave potatorum* Zucc. showing an early floral escape.

with prominences, mostly 25–40 by 9–18 cm [20]. Their spines are 3 to 4.5 cm long, broad at their base, sinuous, broadly grooved to flat above, with castaneous to grayish brown color. Their inflorescences are 3 to 6 m tall, racemes with sub-sessile flower clusters or panicles with lateral peduncles [20]. It is a monocarpic species with only sexual reproduction [20]. The species is endemic of semi-arid habitats of the states of Puebla and Oaxaca, growing at elevations from 1240 to 2300 m and its populations have a fragmented distribution.

Ecological aspects

Distribution

In order to estimate the distribution of *A. potatorum* in the territory of SLA, we recorded 40 geographic locations of *A. potatorum* populations in random points of vegetation types where the species was previously identified and those areas that through the method of “walks-in the woods” [21] which allowed identifying and geo-referencing its present and past occurrence. We analyzed data with the bioclimatic model BIOCLIM of the software package ANUCLIM [22], which employs climatic surfaces that are statistically interpolated on the basis of data obtained from a network of meteorological stations. These surfaces include average

values of monthly periods, as well as minimum and maximum temperature and precipitation from 6500 stations in Mexico and surrounding areas [23]. A potential distribution map to a high spatial resolution of 0.004 arc seconds (50×50 m) was projected using Arcview GIS 3.2 [24], which was also used to calculate the total surface of the potential distribution area. Information from this process was verified in the field.

Abundance

Abundance of *A. potatorum* was evaluated through 21 sampling plots of 500 m². About 80% of the points were randomly determined within the distribution area documented through vegetation types sampling and complemented by “walks-in the woods” as explained above. Some points recommended by the mescal producers were sampled, since these were identified as preferred harvesting sites.

Plot sites included rosetifolius scrubland of *Dasyllirion serratifolium*, scrubland of *Euphorbia antisiphylitica*, scrubland of *Gochnatia hypoleuca* – *Dasyllirion serratifolium* and cacti forest of *Mitrocereus fulviceps*. We identified and counted all the mature agaves ready to be harvested (extractable agaves) and multiplied that number by five to calculate availability by hectare. We then averaged data from all plots to estimate a number of extractable agaves/ha and multiplied this figure by the total potential distribution area of *A. potatorum* within the territory of SLA.

Ethnobotanical study

Through semi-structured interviews [25] to a total of 47 households we obtained the information reported in this study. A total of 30 households (20% of the total in SLA) were selected at random in the village, and with the interviews we documented the traditional uses, amounts and frequency of extraction of *Agave potatorum* plants or other products per year, cultural and economic importance of mescal and other agave products, and information about its management. We complemented this information by participant observation, and informal interviews, which substantially enriched ethnobiological qualitative information on use, preparation, and consumption forms of agave products, as well as management techniques.

Extraction

We evaluated the rate of *A. potatorum* extraction through surveys and interviews with mescal production units (a total of 12 of the 15 owners of the production units who directly extract agave plus the 5 persons which in total were identified to be dedicated to extracting and selling agaves to the owners of production units). Interviews focused on documenting the agave extraction techniques, amounts of agaves extracted, frequency of extraction per year, and provenance of agave (from the territory of SLA or from elsewhere), among other aspects. We complemented this

information through direct observations and video-recording of the extraction process. Based on this information we estimated the annual extraction rate of *A. potatorum* in SLA.

Economic importance

We documented economic aspects of mescal production and commercialization through interviews to 12 out of a total of 15 mescal producers identified in SLA at the time of this study. The main topics documented in these interviews included prices and amounts of agave stems for producing mescal, salaries and cost of production of the activity (including fuelwood for the underground ovens, extraction, milling of the cooked agave stems, fermenting process care, and distillation), making explicit the amount and cost of hand labor and other inputs. For investigating aspects of commercialization of the elaborated mescal we interviewed the 12 producers referred to above, as well as nine traders selling mescal in commercial establishments in the village, as well as the 30 local households interviewed who consume this beverage.

Results

Ecological aspects

Distribution

We found and sampled *Agave potatorum* in eight vegetation types: scrubland of *Euphorbia antisiphylitica*, scrublands of *Dasyllirion serratifolium*, scrubland of *Gochnatia-Dasyllirion*, columnar cacti forest of *Mitrocereus fulviceps*, columnar cacti forest of *Polaschia chichiipe*, izotal of *Beaucarnea purpusii* and *Quercus* forest. Based on this information and records of presence of *A. potatorum* in the field we calculated that the potential distribution of *A. potatorum* covers approximately 608 ha of the territory of SLA (Table 1, Figure 3).

Abundance

We recorded the greatest abundance of *A. potatorum* in the scrub of *Euphorbia antisiphylitica* (on average 53 extractable individuals per ha), whereas the least abundance was recorded in oak forests (Table 1). The average density calculated based on sampling conducted was 12 adult plants of *A. potatorum* per ha, which allows estimating a total of 7,296 extractable individuals of *A. potatorum* in the whole territory of SLA at the time of the present study.

Ethnobotany

Uses

Agave potatorum is a species with high cultural value for people of SLA. We recorded seven current use categories, as defined by [26], in order of importance: mescal production (the whole stem), food (leaves, stem, flowers and floral scape), medicine (leaves and mescal), fodder (floral

Table 1 Average number of individuals of adult plants (extractable for preparing mescal) per vegetation type within the territory of SLA

Vegetation type	Availability individuals/hectare
Scrubland of <i>Euphorbia antisiphilitica</i>	53
Cacti forest of <i>Mitrocereus fulviceps</i>	20
Rosetofilous scrubland of <i>Dasyliiron serratifolium</i>	18
Cacti forest of <i>Polaschia chichipe</i>	15
Rosetofilous scrub (Chaparral)	8
Izotal of <i>Beaucarnea purpusii</i>	5
<i>Gochnatia hypoleuca</i> - <i>Dasyliiron</i> scrub	5
Forest relict of <i>Quercus</i> sp.	0
AVERAGE	15.38

scape), construction (floral scape), religious (whole plant and mescal), and ritual (mescal) as described in Table 2. Other uses are occasionally practiced, such as the preparation of agave leaves conserves and cooked agave stems and escapes mixed with corn to cook tortillas which are considered emergency food, consumed during scarcity of maize. However, the traditional knowledge of agave uses may be progressively disappearing, as could be identified through the scarce information provided especially by the young women interviewed.

Management

Mescal producers have to pay nearly \$10.00 U.S. dollars per year to the communitarian authorities to have the right of open access to harvest *A. potatorum* plants from wild populations. Less than 10% of people who harvest agaves said to leave the most robust agave individuals to reach sexual maturity, flower and produce seeds. Although producers recognize scarcity of agaves SLA is facing, they cannot stop producing mescal and that is the principal reason why in the last decade they started mixing *A. potatorum* stems with those of other agave species, such as *Agave marmorata* (locally known as *pitzometl*) to fill the oven (*la hornada*). Recently, they have even started buying *Agave angustifolia* and *A. tequilana* in plantations near the City of Tehuacán.

Since nearly five years ago, people of SLA started actions to propagate *A. potatorum*. They are sowing seeds in a greenhouse and transplanting plants three years old into natural agave populations in local forests. They started restoring degraded populations of *A. potatorum* and implemented actions to reintroduce plants into areas where populations of this species disappeared some years ago. They also protected large reforested areas using nets to safeguard the young plants from cattle.

Extraction rates

Based on interviews, we calculated an annual extraction rate of 12,331 agaves per year. On average, 356 of them

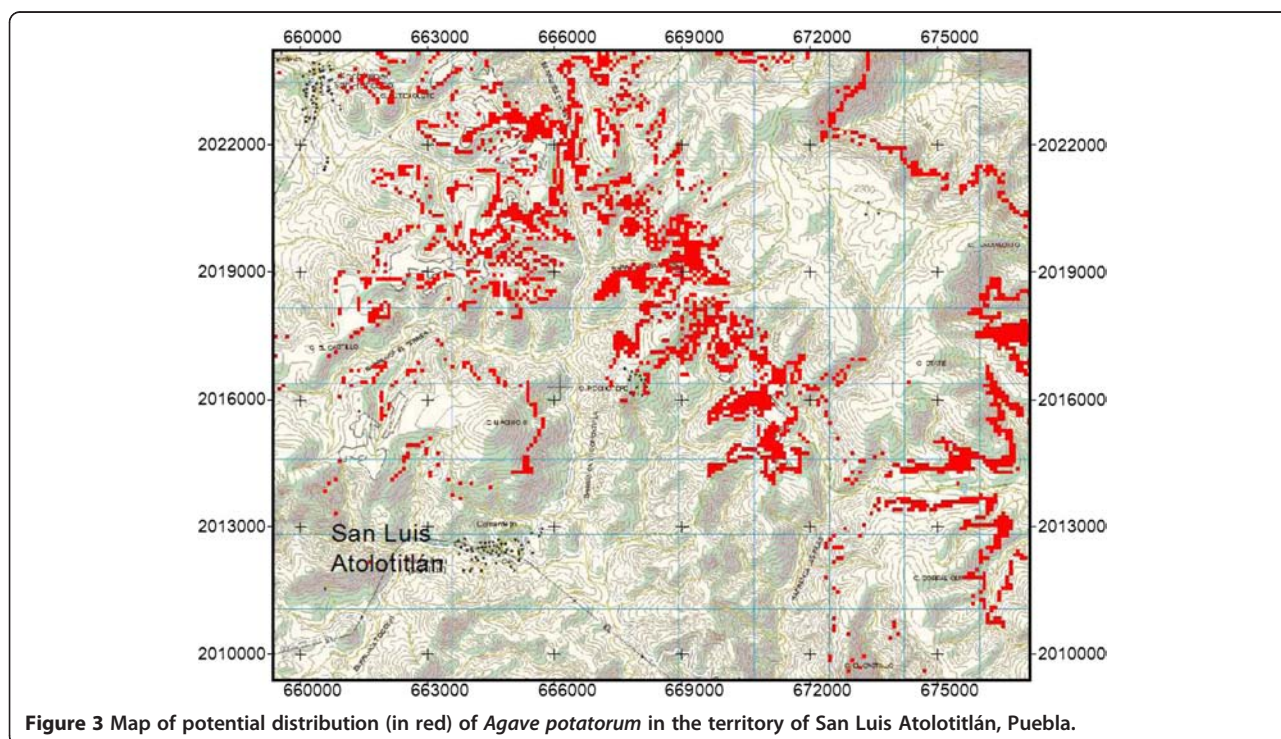


Figure 3 Map of potential distribution (in red) of *Agave potatorum* in the territory of San Luis Atlotitlán, Puebla.

Table 2 Use and management forms of *Agave potatorum* recorded in San Luis Atlotitlán

Plant part	Use	Use form	Percentage of users	Management
Stem	Mescal production	Whole stems are backed inside an earthen pit, grounded, fermented and distilled	100	Extraction of whole individuals from wild populations
Flower buds	Food	Flowering buds are boiled or roasted, cooked with eggs or hot chilli sauce	66	People extract the whole scape, to get the flowering buds
Floral scape		Roasted over the fire while working in the field	33	Extract the young whole floral scape
Leaf bases	Food	People ask for the backed leave bases to the mescal producer and eat them as candy	30	Leave bases remaining from mescal production
	Medicine	An infusion of cooked agave leaf for lung affections	10	
		Applying a piece of fresh leaf (or roasted) directly to wounded area	33	Eventually cutting up one leaf
Floral escape	Fodder	Cattle eat the growing scape	40	Cattle eat the early floral scape while it is starting to grow
	Construction	Used in small fences	16	Extract the whole floral scape
Whole plant	Religious	Agaves are transplanted from the wild to "little mountains" (<i>montecitos</i>) dedicated to the GuadalupeVirgin	10	Each year in December small agave individuals are transplanted from wild populations to home gardens
Uses of Mescal	As medicine	A small glass of mezcal alleviate the stomach-ache, flu symptoms, fever and cold- weat	30	(produced from agave stems)
	Ritual	A small glass of mezcal is offered to the death in the "ofrendas de muertos"	80	

are consumed by households as food: i) 66 floral escapes are cut to be used as food, ii) flower buds from additional 132 agaves are extracted during the flowering season from September to January, iii) nearly 80 agave stems are consumed as fodder by cattle, iv) 32 escapes are cut down for construction, v) six are used to make tools, vi) 40 whole plants are extracted for religious purposes. In addition, on average 158 agave leaves are annually harvested to be used as medicine, but this extraction does not affect survival of individual plants; and vii) the over-extraction of *A. potatorum* in SLA is caused mainly by mescal production. Annual mescal production in SLA needs nearly 11,975 agave plants.

Mescal production is an important economic activity during the dry season, consequently, people extract from wild populations of the community territory nearly 70% of agave plants at reproductive stage. At the time of the study, working with 12 households producing mescal we counted 4,250 plants extracted from the territory of San Luis, but according to the interviews this number may be up to 6,400 plants. The remaining agaves used in mescal production are bought to neighboring villages, mainly San Francisco Xochiltepec and Caltepec. Agave collectors harvest almost all reproductive plants from two sites, "Machiche" which is relatively close to the village and relatively more disturbed than "La Cumbre", the other site which is more distant to the village.

Economic importance

Based on the interviews, we estimated that mescal production in SLA during 2007 was approximately 4,000 l (ranging from 3,500 to 4,350 l). In order to produce one liter of *mesca*, on average two adult individuals of *Agave potatorum* and 16.2 kg of firewood are needed. Quality of mescal differs among the 12 local distilleries (locally called *palenques*) studied, depending on the site from which agaves are collected, the tree species used as firewood, and particular procedures and materials used during production.

Nearly one third of the households in SLA participate in the process of mescal production, which means that in 60 families at least one member takes part in the process. Based on information from surveys, we estimated annual earnings of the entire village production as \$3,921.57 U.S. dollars (the exchange rate at the time of the research being 10.89 Mexican pesos per dollar). Nearly 58% of total income was earned by the producers (Figure 4), who may earn from \$64.27 to \$422.40 dollars per batch of mescal produced, depending on the number of agaves used and size of the production unit. For instance, 200 agaves can yield from 60 to 180 liters of mescal, depending on the size of the plants and the conditions in which the agave grew (climate, soil, orientation of slope exposure, etc.). Amount of earnings also depends on the cost of certain inputs, including agave stems, workers salary, and the number of batches

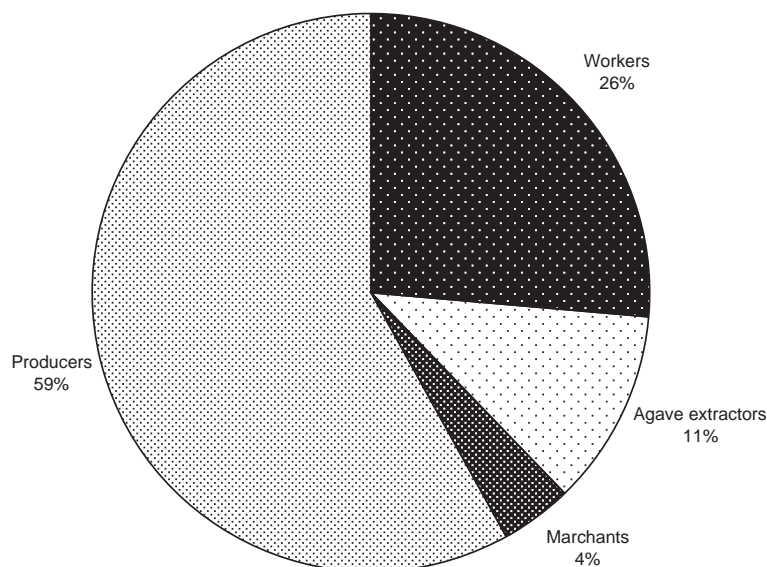


Figure 4 Percentage of earnings corresponding to each mescal production chain in SLA.

produced per year (the average being 3.6 batches per household). There are significant differences between the producer with the largest production (he produces mescal at least six times throughout the year), for whom mescal production represents his main income, and other producers for whom mescal production represents one of many activities complementing a multiple use subsistence strategy. Workers receive only minimal income, between \$18.36 and \$82.64 dollars annually (\$41.32 average); they may also be paid with mescal.

Discussion

Agave potatorum represents an important cultural and economic species in SLA. This appreciation is consistent with previous studies on non-timber forest products of the Tehuacán Valley in general and SLA in particular [7,13,14,19]. Such cultural importance is reflected in the multiple uses of *A. potatorum*, in the traditional ecological knowledge about the agave, its biological attributes, morphological and quality variation, including size, sugar content, and yield recognized by local people among sites, as well as ecological interactions with other organisms, as recognized in this ethnobiological study and that conducted by Torres *et al.* [3]. Despite its importance, we documented a significant loss of knowledge related to some *Agave potatorum* uses and forms of preparation, more evident among young women. Young men have good traditional knowledge on this agave species, probably because they do more work in the forest areas and interact directly with *A. potatorum* during mescal production process. The study case of SLA is representative of other communities producing mescal in the region, as these are the cases of Coatepec, Caltepec, and San Francisco Xochiltepec, in the state of

Puebla, as well as Santa María Ixcatlán, Santa Cruz Corunda, and Tepelmeme in the state of Oaxaca [3,7], among others. A regional approach to evaluate the problem of availability, extraction rates and traditional management of *A. potatorum* would require methods similar to the one reported in this study. And this method would be similarly helpful for agaves extracted from the wild in other regions, as well as other non-timber forest products under pressure because of their commercialization.

Extraction rates

Agave potatorum is one of the non-timber forest products used with the greatest intensity in SLA and in the whole Tehuacán Valley [3,4,7], mainly because it represents one of the relatively few natural local resources allowing people to obtain monetary incomes [3,4,7]. Mescal producers of SLA harvest or use harvesting of other people totalizing annually nearly 70% of all wild reproductive plants available within the territory of the village. But the impact on some preferred sites could be even higher, since in those areas people use to collect all the reproductive agaves. This over-harvesting is having drastic negative effects on local ecosystems from where agaves are harvested, and also in agave availability, as revealed by the sites where people have identified local extinction. In addition to extraction to satisfy the mescal production, people buy nearly half of agave plants required in neighboring villages, thus affecting populations within other territories of the region. Mescal producers of SLA buy agaves to San Francisco Xochiltepec. Similarly to other related studies [27-29], ours suggests that more attention should be directed towards assessing the effects of agave harvest on the whole plant communities. Harvest of

agaves for mescal production affect local wild populations and may determine high risk of disappearing them, but also, other plants and animals interacting with agaves are affected by this activity. In addition, preparing mescal involves the utilization of fuel wood which although regulated in SLA contributes to local deforestation [3,4,30].

Management

The growing commercial trade of natural products worldwide has resulted in the harvest of increasing volumes from wild plant populations and has therefore generated concern about overexploitation. In the Tehuacán Valley, nearly 180 species of native plant resources have been identified interchanged within and among villages, as well as in the main regional markets [7]. In the case of agaves, 12 species used in mescal production and commercialization are extracted from the wild [14,27,31,32]. Therefore, the information and conclusions of this study may be helpful for attending needs of those agaves.

At the beginning of our study in SLA we identified no management practice other than simple extraction of parts or complete *Agave potatorum* individuals from wild populations. Management based on local ecological knowledge, such as monitoring of specific resources and ecologically focused practices that responded to and managed disturbance and build resilience [33] seemed to be absent. Even though the extraction of *Agave potatorum* focuses on reproductive individuals, based on similar case studies, it is possible to suggest that agave harvest may affect the physiology and vital rates of individuals, change demographic and genetic patterns of populations, and alter community and ecosystem level processes [3,4,27-29]. Extraction may affect not only the capacity of agave populations recovery, of the scrubs surrounding the extractable agaves as reported by Jiménez-Valdéz *et al.* [27] for *Agave marmorata*, but also the ecological interactions with other organisms in the plant communities such as bats, birds and bees feeding on agave flowers, as reported by [34], as well as ants and birds feeding on their seeds [31]. Agaves are also nurse plants for other agaves and succulent plants in their process of recruitment, which is crucial for recovering of the whole biotic community [17,31,35]. Detailed studies of population dynamics [3,4] demonstrated that the extraction rates of *A. potatorum* and its population dynamics are closely related, and have suggested that at least 30% of adult agaves plants occurring in a population should be let standing until the release of seeds, in order to ensure the recovering of the population. These studies have also simulated the optimum forms of propagating seeds and transplanting young plants to particular nurse plants in forest areas in order to increase the success of actions.

By the end of our study we identified local perceptions of risks the agave populations are facing. Local people recognize sites where *A. potatorum* is more abundant than in others, and places where it occurred in the past but are not there anymore, due to over-exploitation. We could also clearly identify social mechanisms and practices focusing in securing the availability of *Agave potatorum*. Local people, in coordination with the authorities of the Tehuacán Biosphere Reserve, about ten years ago started to work in the restoration of *A. potatorum* populations: they sowed seeds in a local greenhouse, when plantlets reach three years of age they were transplanted into the sites of wild agave populations. They started restoring damaged populations of *A. potatorum* and implemented actions to reintroduce plants in populations where the species had disappeared. They also protected large reforested areas using nets to safeguard the plantlets from cattle. Our research team was asked by local authorities to collaborate in monitoring the actions conducted and developing proposals to improve the effectiveness of actions. We designed several studies in order to evaluate the success of transplanting agave plants into the forest, identifying that nearly 90% of plants transplanted to open areas died after one year of being transplanted, whereas most plants under the canopy of shrubs survived. The results of this and other associated studies are published elsewhere but contribute ecological information for improving the population recovery techniques.

The authorities of the Biosphere Reserve established a prohibition to extract *A. potatorum* within the SLA territory, clearly not taking into account the role of *mescal* for the subsistence of people. The total economic benefit from mescal production in SLA is \$3,921.57 US dollars per year. Since a total of 60 households (30% of households) are involved in the production process, on average each household received from \$64.27 to \$450 U.S. dollars per year. This low income is even more drastic since some actors of the mescal production chain receive less income than others. The meager economic benefit and drastic ecological impact easily could lead to the conclusion that it would be cheaper to subsidize the households involved in mescal production than to maintain the destructive production itself. However, the conclusion is in fact not so easy. Mescal is an important part of local customs and culture, even more important than the economic income *per se*. Moreover, because mescal production in any of its steps is only a small part of a diversified peasant economy, the small incomes derived from it and other similar activities supplement the main subsistence activities like agriculture, farming, gathering of wild resources and temporary jobs. A small income represents a significant opportunity to solve specific needs or problems, such as a sudden need of medical care, a family celebration or loss.

Mescal is also exchangeable for other subsistence items in local stores and regional markets. Other studies in different regions of Mexico have revealed that similar low economic incomes are fundamental to peasant economy: [36] reported 280 useful plants are collected in SLA from wild populations, but as few as five of these have a commercial or exchange value, *A. potatorum*, *Brahea dulcis* and *B. nitida* appear to be the most important. Rangel-Landa [31] found similar situations with *Brahea* palms in other communities of the Tehuacán Valley.

In order to ensure the *Agave potatorum* availability and keep up the mescal production, about ten years ago some mescal producers started growing and using *Agave marmorata* (*pitzometl*), a local agave that most traditional mescal producers mention would never use. More recently, we have also recorded mescal made from *Agave angustifolia*. This agave has a somehow similar devastating history to that of *Agave tequilana*. The plantation of both was promoted by governmental institutions, cutting down enormous areas of natural vegetation to introduce agave crops for commercial use, replacing local and better adapted agave species with those with poor genetic diversity.

The risk of mescal agave populations disappearing is real, especially in areas surrounding production sites, because the local communitarian institutions did not regulate the extraction of agave plants in the past and because management techniques to prevent their extinction were absent. However, the communitarian authorities started to discuss and regulate how to optimize the use of agave, preventing its disappearing and started a program for its propagation and recovering of populations in collaboration with authorities of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve and our research group. Our current study allows evaluating the unbalanced relation between availability of *A. potatorum* adult plants and their extraction for mescal production. It is a relation that has been helpful for local people construction of rules and making decision, for protecting and recovering this valuable plant resource.

In this perspective, information derived from our studies allows the following recommendations:

- (1) Protection of conserved or low impacted agave populations. Our ecological studies could not identify pristine populations within the territory of SLA but some areas that deserve to be conserved. Furthermore, we recognized that populations of scrublands of *Gochnatia-Dasyllirion* and the *Quercus* sp. relicts presented no reproductive individuals and are candidates for restoration and total protection. We suggest that extraction sites like El Machiche and La Cumbre are declared as local conservation areas, at least until the populations recover. Another suggestion is to reintroduce *A. potatorum* in areas

once it was present, such as the small hill of La Chirunda located just next to SLA village.

- (2) Recovering of impacted populations. People of SLA started sowing seeds in a greenhouse and then transplanting them to the forest. We suggest continuing the efforts of reforestation, transplanting young agaves under nurse plants, based on information generated by [34,31].
- (3) Plantation of *A. potatorum* in agroforestry systems. Agro forestry systems commonly practiced by local people of the Tehuacán Valley are important reservoirs of biological diversity and have been recognized as key parts of regional strategies of biodiversity conservation [35,36]. Currently, people maintain within these systems several species of *Agave*, among them *A. potatorum*. However, propagation of this species in those systems is difficult since young plants require the protection of nurse plants [31]. It is necessary to develop techniques for simulating effects of nurse plants, like artificial shades, thus favoring the establishment of *A. potatorum* plants in agro forestry systems, far more desirable than the common implementation of agave monocultures.
- (4) In order to recover the eroded populations, the monitoring and protection of reproductive individuals of *A. potatorum* is needed, as well as the implementation of a method of annually rotating extraction sites, and sustainable extraction rate of adult plants.

Further ecological studies must be encouraged, for a precise estimation of the availability of agave within SLA territory, in order to explore and propose sustainable extraction rates.

All of these actions should be conducted under the approach of adaptive management [37], which should connect social or local institutions and organizations across levels and scales, such as the Biosphere Reserve, government aid projects and the local actors. Mescal producers are a long distance from working all together, and some seem not to find the advantages of creating an organization, implying equal rights, obligations and benefits to all. Recently, some producers have been working with the Biosphere Reserve introducing young individuals of *Agave marmorata* with young plants from a greenhouse near the village of Zapotitlán, instead of producing agaves in the local greenhouse using local seeds. The introduction of other agave species shows the lack of empathy between the Biosphere Reserve programs and local actors involved in the management of this species. It is a way analogous to promote monoculture models with introduced species, as used in the tequila industry with *A. tequilana* and with *A. angustifolia* in some regions of Oaxaca by industrials of

mescal and governmental programs [38]. It also implies changes in the mescal production process, in the spirits organoleptic properties, such as aroma and flavor and yield production. Time will be required by mescal producers people to adapt their preparation techniques to new species with different sugar content and amount of water, time required for fermentation, among other issues. A time of adaptation can represent therefore uncertainty or loss in monetary income.

However, there are some examples, unfortunately still few, of how local *A. potatorum* populations can be recovered with social actions. In Sola de Vega, Oaxaca, Luis Méndez, member of a Rural Production (Union) Society (SPR) *El Solteco*, has worked for more than 10 years in a project to recover and implementing productive crops of this species. *EL Solteco* has already produced mescal with plants from its own greenhouses certifying its products looking forward fair trading. The experience of *El Solteco* may be a model for sustainable use and management of *Agave potatorum* and other agave species and non-timber forest products.

Conclusions

In SLA *A. potatorum* represents the forest plant resource with higher cultural and economic value, used as food, medicine, fodder, construction material and most important, as main input in mescal production. Our study suggests that current mescal production in SLA is a non-sustainable activity due to its high ecological and social costs and low monetary income.

The remaining populations of *A. potatorum* could support a sustainable use planning, achieved by: protecting conserved agave population such as those under high extraction. It is essential continuing efforts to produce agave plants in the plant nursery of the village. The reforestation and monitoring of these actions as well as of the existing populations must be encouraged. We also consider pertinent to introduce this agave species to agro forestry systems of the area, fallow agriculture areas and known areas where populations disappeared. All these actions require planning of agricultural, forestry and livestock activities through participatory approaches.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions

AD-L main author, involved in the study design, conducted interviews, field work, literature review and general data collection and systematization, wrote the first draft and concluded the final version of this manuscript. AC main coordinator-supervisor of the research project; contributed with original data and the designing of all the researches providing the information for the current analysis; participated in fieldwork, systematization and analysis of data and reviewed several drafts of the manuscript. OT advisor of the studies of vegetation and geographic information system analyses. All authors read and approved the final manuscript.

Authors' information

AD postgraduate students at the Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), UNAM. AC full time researcher at CIEco, UNAM. OT full time researcher at UBIPRO, FES Iztacala, UNAM.

Acknowledgements

The authors thank the Posgrado en Ciencias Biológicas at the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for academic and financial support of PhD studies of the first author. CONACYT (Projects CB-2008-01-221800 and CB-2013-01-221800) and PAPIIT-DAGAPA, UNAM (project IN209214) provided financial support for conducting field work. We sincerely thank people of San Luis Atlotitlán for their hospitality and generosity in sharing their experience in using and managing and wishes for conserving *Agave potatorum*. We thank Edgar Pérez-Negrón, Ignacio Torres and Selene Rangel-Landa for their valuable assistance during field work.

Author details

¹Centro de Investigaciones en Ecosistemas, (CIECO), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 27-3, Santa María Guido, C.P. 58090 Morelia, Michoacán, México. ²UBIPRO, Facultad de Estudios Superiores, Iztacala (UNAM) Avenida de los Barrios, S. N., Tlalhepantla, Estado de México, México.

Received: 7 July 2014 Accepted: 26 August 2014

Published: 3 September 2014

References

1. García-Mendoza A, Galván R: **Riqueza de las Familias Agaváceae y Nolinaceae en México.** *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 1995, **56**:7–24.
2. Colunga-García MP, Zizumbo-Villarreal D, Martínez-Torres J: **Tradiciones en el aprovechamiento de los agaves mexicanos: una aportación a su protección legal y conservación biológica y cultural.** In *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves.* Edited by Colunga-García Marín P, Eguarte L, Larqué A, Zizumbo-Villarreal D. Mexico: Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán-CONACYT-CONABIO-INE; 2007:229–248.
3. Torres I, Casas A, Delgado-Lemus A, Rangel-Landa S: **Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, México: Aportes etnobiológicos y ecológicos para su manejo sustentable.** *Zonas Áridas* 2013, **15**(1):1–16.
4. Torres I, Casas A, Vega E, Martínez-Ramos M, Delgado-Lemus A: **Population dynamics and sustainable management of mescal agaves in central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley.** *Econ Bot* 2014, in press.
5. Gil-Vega K, González M, Martínez O, Simpson J, Vandemark G: **Analysis of genetic diversity in *Agave tequilana* var. Azul using RAPD markers.** *Euphytica* 2001, **119**:335–341.
6. Valenzuela-Zapata A: *El agave tequilero, su cultivo e industria.* Guadalajara, México: Monsanto; 1997.
7. Arellanes Y, Casas A, Arellanes-Meixueiro A, Vega E, Blancas J, Vallejo M, Torres I, Solís L, Pérez-Negrón E: **Influence of traditional markets and interchange on plant management in the Tehuacán Valley.** *J Ethnobiol Ethnomed* 2013, **9**:38.
8. Blancas J, Casas A, Rangel-Landa S, Moreno AI, Torres I, Pérez-Negrón E, Solís L, Delgado A, Parra F, Arellanes Y, Cortés L, Lira R: **Plant Management in the Tehuacán Valley.** *Econ Bot* 2010, **64**:287–302.
9. MacNeish RS: **A summary of the subsistence.** In *The Prehistory of the Tehuacán Valley. Vol. 1. Environment and Subsistence.* Edited by Byers DS. Austin: University of Texas Press; 1967:14–27.
10. Callen EO: **Food habits of some Pre-Columbian Mexican Indians.** *Econ Bot* 1965, **19**:335–343.
11. Callen E: **Analysis of the Tehuacan coprolites.** In *The Prehistory of the Tehuacán Valley. Vol. 1. Environment and Subsistence.* Edited by Byers DS. Austin: University of Texas Press; 1967:261–289.
12. Serra-Puche MC, Lazcano JC: **Mezcal yesterday and today.** *Voices of México CISAN-UNAM* 2006, **75**:37–43.
13. Casas A, Rangel-Landa S, Torres-García I, Pérez-Negrón E, Solís L, Parra F, Delgado A, Blancas JJ, Farfán B, Moreno AI: **In situ management and conservation of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An ethnobotanical and ecological perspective.** In *Current Topics*

- in *Ethnobotany*. Edited by De Albuquerque UP, Alves-Ramos R. Kerala, India: Research Signpost; 2008:1–23.
14. Delgado-Lemus A: *Aprovechamiento y disponibilidad espacial de Agave potatorum en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: Master thesis. Universidad Nacional Autónoma de México; 2008.
 15. Rzedowski Y: *Vegetación de México*. México: Editorial Limusa; 1978.
 16. García E: *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México; 1988.
 17. Valiente-Banuet A, Dávila P, Solís L, Arizmendi MC, Silva Pereyra C, Ortega-Ramírez J, Treviño-Carreón J, Rangel-Landa S, Casas A: *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán Cuicatlán*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A.C; 2009.
 18. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI): *XII Censo de población y vivienda 2000*. México: Digital Edition INEGI; 2001.
 19. Torres I: **Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, Municipio de Caltepec, Puebla, México**. In *Bachelor Thesis*. Morelia, Michoacán: Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; 2004.
 20. Gentry HS: *Agaves of Continental North America*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press; 1982.
 21. Phillips O, Gentry A: **The useful plants of Tambopata Peru. II. Additional hypothesis testing in quantitative Ethnobotany**. *Econ Bot* 1993, **47**:33–43.
 22. Houlder DJ, Hutchinson MF, Nix HA, McMahon JP: *ANUCLIM 5.1. User Guide*. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies. Australian National University; 2000.
 23. Téllez O, Hutchinson M, Nix HA, Jones P: **Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México**. In *Cambio climático y biodiversidad en México*. Edited by Sánchez G, Pavón N, Ballesteros C. México: Universidad Autónoma de Hidalgo; 2011.
 24. Environmental Systems Research Institute Inc. (ESRI): *Arcview- GIS, 3.2 Software*. Redlands, CA: ESRI; 2000.
 25. Martin G: *Ethnobotany, a Methods Manual*. London: Chapman & Hall; 1995.
 26. Gausset Q: **Ranking local tree needs and priorities through an interdisciplinary action research approach**. *J Transdiscipl Environ Stud* 2004, **3**:1–17.
 27. Jiménez-Valdés M, Álvarez HG, Caballero J, Lira R: **Population dynamics of *Agave marmorata* Roetz. under two contrasting management systems in Central Mexico**. *Econ Bot* 2010, **64**:149–160.
 28. Martínez-Salvador M, Valdéz-Cepeda R, Arias HR, Beltrán-Morales LF, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Ortega-Rubio A: **Distribution and density of maguey plants in the arid Zacatecas Plateau, Mexico**. *J Arid Environ* 2004, **61**:525–534.
 29. Ticktin T: **The ecological implications of harvesting non-timber forest products**. *J Appl Ecol* 2004, **41**:11–21.
 30. Torres I: **Manejo sustentable y dinámica poblacional de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán**. In *Master Thesis*. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.
 31. Rangel-Landa S, Lemus R: **Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los Ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca, México**. In *Bachelor Thesis*. Morelia, Michoacán: Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; 2002.
 32. Delgado-Lemus A, Torres I, Blancas J, Casas A: **Vulnerability and risk management of *Agave* species in the Tehuacán Valley Mexico**. *J Ethnobiol Ethnomed* 2014, **10**:53.
 33. Holling CS: **The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change**. In *Sustainable Development of the Biosphere*. Edited by Clarke WC, Munn RE UK: Cambridge University Press; 1986.
 34. Estrella P: *Efecto de la explotación humana en la biología de la polinización de *Agave salmiana* y *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. M. Sc. thesis. México: Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México; 2008.
 35. Moreno-Calles A, Casas A, Blancas J, Torres I, Peréz-Negrón E, Caballero J, Masería O, García-Barrios L: **Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico**. *Agroforest Syst* 2010, **80**(3):315–331.
 36. Moreno-Calles AI, Casas A, García-Frapolli E, Torres I: **Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: their management and role in people’s subsistence**. *Agroforest Syst* 2012, **84**:207–226.
 37. Olsson P, Folke C, Berkes F: *Adaptive Co-management for Building Resilience in Social–Ecological Systems*. New York: Environmental Management, an International Journal for Decision Makers, Scientists and Environmental Auditors; 2004.
 38. Vargas-Ponce O, Zizumbo-Villarreal D, Colunga-GarcíaMarín P: **In Situ diversity and maintenance of traditional *Agave* landraces used in spirits production in West-Central Mexico**. *Econ Bot* 2007, **61**(4):362–375.

doi:10.1186/1746-4269-10-63

Cite this article as: Delgado-Lemus et al.: Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2014 **10**:63.

Submit your next manuscript to BioMed Central and take full advantage of:

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit



CAPÍTULO V
DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

DISCUSION GENERAL

En la presente investigación se analizó la diversidad de formas en las que el papalometl, *Agave potatorum*, es aprovechado y manejado en comunidades del Valle de Tehuacán. Con base en información geográfica, ecológica y socio-económica hacemos una reconstrucción del panorama regional de los principales problemas y del potencial de su aprovechamiento, así como los requerimientos para su conservación y recuperación en áreas donde el recurso se ha deteriorado severamente. De la visión regional se profundizó en el análisis a nivel de comunidades productoras y de sus territorios. Se identificaron los principales aspectos ecológicos, culturales y económicos que determinan riesgos y como éstos influyen en la forma en que el recurso es manejado para mitigar tales riesgos. Se analizaron las percepciones locales de los riesgos en torno a esta especie, y cómo tales percepciones se relacionan con el diseño e implementación de las respuestas de manejo para tratar de asegurar su disponibilidad futura.

Actualmente, *Agave potatorum* es una especie sobre-explotada en la región estudiada, principalmente debido a su uso como materia prima para preparar mezcal, como se discutió en el capítulo IV se trata de una actividad eminentemente extractiva, pues los individuos que se utilizan se extraen de áreas forestales a partir de poblaciones silvestres, sobre todo de áreas que circundan a las comunidades productoras. Sin embargo, recientemente y en gran medida como resultado de la incertidumbre sobre su disponibilidad futura, la gente que aprovecha los agaves ha generado respuestas de manejo dirigidas a mitigar o disminuir el riesgo para las poblaciones naturales de estos agaves.

Algunas respuestas de manejo se basan en prácticas de manejo tradicional, otras adoptan elementos tecnológicos modernos y acciones de experimentación individual o colectiva, incluyendo el trasplante de agaves silvestres, la recolección de semillas, su siembra y reforestación con base en el trasplante de plantas

juveniles producidas en vivero. Las diferentes estrategias y experiencias técnicas desarrolladas constituyen información muy valiosa sobre el comportamiento de las plantas y sus propágulos, sus interacciones con otros organismos, los procesos ecosistémicos que son impactados por la extracción de agaves, entre otros aspectos. En general, son de gran ayuda para desarrollar propuestas para un manejo regional adecuado de *A. potatorum*, entendiendo éste como aquel con menor impacto y mayores beneficios socio-ambientales. Estos aspectos contribuirían hacia lo que consideramos como un aprovechamiento sustentable: disminución del impacto negativo sobre los ecosistemas, mantenimiento de la capacidad de recuperación de las poblaciones afectadas y beneficios socio-económicos justos, acordes con el trabajo invertido, la originalidad y la creatividad del proceso productivo.

En esta Discusión General se abordan las interrelaciones que se aprecian a partir de la información obtenida a nivel local y regional. Particularmente, discutimos los aspectos ecológicos primordiales para el manejo de este recurso mezcalero, de manera que contribuyan a desarrollar estrategias que garanticen la permanencia de sus poblaciones. Esta investigación se propuso profundizar en aspectos socio-culturales y económicos asociados a la producción de mezcal, su comercialización y las técnicas regionales de manejo. Particular énfasis se puso en la información compartida por los productores de mezcal y habitantes de la región que participan en el proceso productivo y en su consumo. Finalmente, con base en la información de la presente investigación, así como en la de otros estudios llevados a cabo por nuestro grupo de trabajo, discutimos las perspectivas de políticas de protección y manejo integral de *Agave potatorum*, la importancia de la gestión de mercados justos y otros temas pertinentes al aprovechamiento sustentable y conservación de esta especie, así como de otras especies de agave que se encuentran bajo formas similares de aprovechamiento en la región y en otras áreas del país.

Aspectos ecológicos primordiales en el aprovechamiento de *Agave potatorum*

Distribución potencial y distribución real

Las especies con distribución amplia, relativamente más cosmopolitas, están adaptadas a un amplio rango de condiciones, lo que les confiere una mayor probabilidad de recuperarse después de un disturbio. Por otra parte, las especies con distribuciones limitadas, por ejemplo las especies endémicas y micro-endémicas, por estar adaptadas a ambientes más específicos, pueden resultar mucho más vulnerables al disturbio y a la fragmentación de su hábitat (Cox y Moore, 2005). Para los propósitos de los análisis de riesgo realizados en esta tesis, se consideró a *Agave potatorum* como una especie con distribución intermedia en comparación con otras especies de *Agave* del Valle de Tehuacán (véase el Capítulo 2). Sin embargo, cuando tomamos en cuenta que la predicción de la disponibilidad potencial (Figura 1) es de solo 2.4% del territorio total de la Reserva de la Biósfera, parece que este agave está más limitado en su distribución de lo que se suponía al inicio de la investigación.

Es pertinente señalar que el cálculo del área de distribución potencial de una especie con base en intervalos geográficos, ofrece sólo una aproximación a su distribución real. Dicha predicción es, sin embargo una valiosa hipótesis, de utilidad para el trabajo en campo y para el estudio directo de poblaciones de *Agave potatorum*. No obstante, al determinar tales intervalos geográficos se debe tomar en cuenta que existen otros factores que los modelos predictivos no consideran y que afectan la distribución de las especies. Es el caso, por ejemplo, de las interacciones bióticas o de la actividad humana, entre estas últimas de manera particularmente relevante el cambio de uso del suelo. Tales factores e interacciones desde luego pueden determinar fallas en las predicciones, tanto positiva como negativamente.

Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados por García-Mendoza (2010), en el sentido de que *Agave potatorum* se desarrolla en sitios planos,

con poca a mediana pendiente, sobre suelos arenosos derivados de rocas calizas, en un intervalo altitudinal que va de los 1300 a 2400 metros sobre el nivel del mar, en climas áridos y semiáridos. Forma parte de la selva baja caducifolia, del matorral xerófilo con cactáceas columnares y del matorral xerófilo con *Quercus*. Su distribución abarca el extremo oriental de la cuenca del río Balsas, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el pie de monte de las sierras Mixtecas y las montañas que rodean los Valles Centrales de Oaxaca.

Abundancia

Una especie abundante puede tener mayor probabilidad de amortiguar el efecto de una perturbación y de recuperarse de ésta que una especie cuyas poblaciones son escasas, fragmentadas y con pocos individuos. Estos aspectos pueden ser menor o mayormente afectados por los factores bióticos y abióticos del entorno (Caswell, 2000), así como por la magnitud de un impacto humano y la existencia o no de prácticas de manejo. En este sentido, a pesar de que a simple vista las poblaciones muestreadas al sur de la reserva parecen estar en condiciones más saludables y que en éstas se registraron plántulas y plantas juveniles que no se encontraron en los muestreos cercanos al poblado de San Luis Atolotitlán, la abundancia promedio fue similar en ambas zonas.

También es pertinente recordar que abundancia no es un sinónimo de disponibilidad, puesto que no todos los individuos son aprovechables. Solamente se aprovechan los agaves en etapa reproductiva, justo antes de que brote su escapo floral, por lo que en este estudio nos hemos referido a disponibilidad haciendo alusión a los individuos adultos, extraíbles.

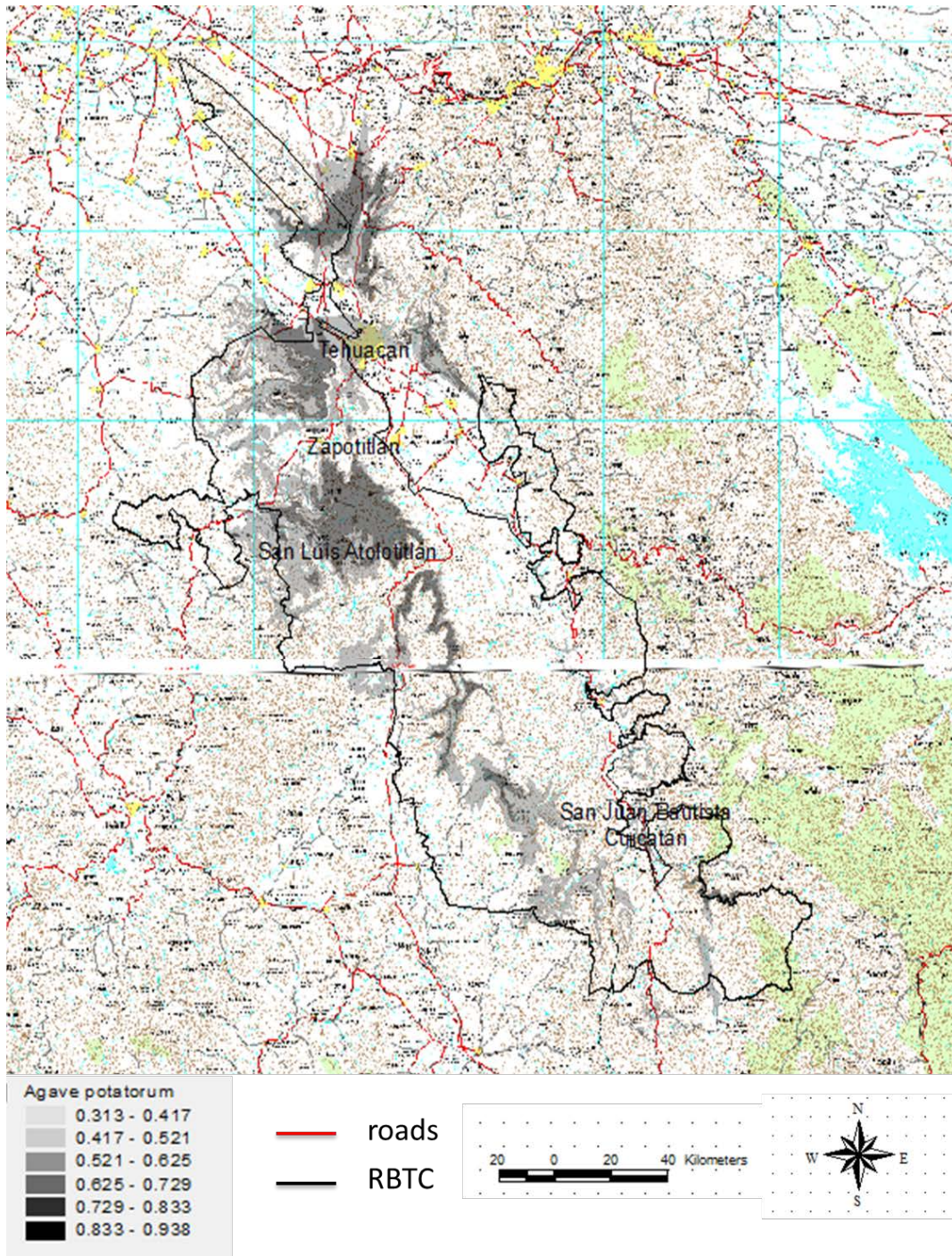


Figura 1. Distribución potencial de *Agave potatorum* dentro del polígono de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (en negro). El recuadro de la izquierda corresponde a la escala logarítmica que muestra en tonos de gris seis de las nueve clases del modelo, entre más claro menos idoneidad o probabilidad de hábitat favorable y en tono más oscuro (negro) la clase nueve con mayor idoneidad de hábitat y, en consecuencia, de presencia de *Agave potatorum*.

Cuando se analizan las condiciones de distribución y abundancia de una especie como *A. potatorum* a escala regional, resulta pertinente tomar en cuenta que la identidad taxonómica de esta especie tiene una historia polémica. Gentry (1998) reunió dentro de *Agave potatorum* diversas plantas altamente variables de los estados de Oaxaca y Puebla, pero no encontró caracteres morfológicos que permitieran identificar el taxón específico de manera consistente, y aplicó entonces un concepto amplio para *Agave potatorum*. De acuerdo con Gentry, debido a su naturaleza polimórfica, esta especie es frustrante desde el punto de vista taxonómico. Fue hasta recientemente cuando García-Mendoza (2010) llegó a la conclusión de que *Agave potatorum* se trata en realidad de un complejo que incluye tres taxa distintos: *Agave potatorum*, *A. nussaviorum* subsp. *nussaviorum* y *A. nussaviorum* subsp. *deltoidea*, proponiendo así una nueva delimitación taxonómica para *Agave potatorum* (García-Mendoza, 2010).

En el presente estudio, y con fines prácticos, utilizamos en el campo el concepto de *A. potatorum* en el sentido amplio definido por Gentry (1998). Sin embargo, es pertinente decir que no se tiene la certeza de la identidad de todos los individuos que componen las poblaciones estudiadas, ya que las mencionadas son especies simpátricas y podrían encontrarse entremezcladas. Puesto que no fue posible obtener inflorescencias de todos los individuos para cotejar la identidad de todos ellos, la incertidumbre queda.

De cualquier manera, desde el punto de vista del aprovechamiento, para la gente local, los individuos de estos taxa distintos *sensu* García-Mendoza (2010) son *papalometl* y no existe distinción en su aprovechamiento para la elaboración de mezcal. Por ello, desde el punto de vista práctico es adecuado manejar la información como si se tratara de una sola especie y ello otorga validez a los análisis efectuados. Además, el trabajo de Félix-Valdés (2014), quien trabajó mediante micro satélites las mismas poblaciones analizadas en este estudio,

encontró una unidad taxonómica identificable desde el punto de vista genético en cada una de ellas.

Aspectos socio-culturales asociados al aprovechamiento del *Agave potatorum*

En comunidades campesinas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán es evidente que *Agave potatorum* como el proceso de producción de mezcal, y el mezcal en sí están fuertemente arraigados a la cultura y la vida de estos pueblos. Esto se ve reflejado en la diversidad de usos que posee *Agave potatorum*, como se discutió en el Capítulo 2, en el que se reportan 12 categorías de uso para el valle de Tehuacán-Cuicatlán, y en las dos comunidades en las que nos enfocamos encontramos siete de éstas categorías. A pesar de la importancia de los usos tradicionales, algunos de éstos se están perdiendo, como la colecta de cacayas o botones florales para prepararlos como alimento, cada vez menos consumidos por las generaciones más jóvenes de los pobladores regionales.

Producción de mezcal

El papel central que posee la producción de mezcal en la cultura se ve reflejado en el hecho de que se emplea para toda ocasión social, ritual o religiosa. El mezcal es sobre todo motivo de orgullo, de prestigio, que dentro de las dinámicas entre comunidades rurales tiene mucho valor. Esta actividad es una expresión del patrimonio bio-cultural (Boege 2008, Toledo y Barrera-Bassols 2008) y de la identidad de la región.

Se produce mezcal con papalometl en San Luis Atlotitlán y Santiago Coatepec, Puebla, en Santa María Ixcatlán, Oaxaca y en Santa Cruz Corunda, El Enebro, las Palmas y San Miguel Aztatla, así como en Tepelmeme, Oaxaca. No fue

posible entrevistar formal y sistemáticamente a los productores de todos estos sitios; sin embargo, por medio de entrevistas informales, pudimos deducir que ahí emplean para destilar mezcal de papalometl alambiques del tipo árabe con montera de cobre, similares a los empleados en San Luis Atolotitlán. De manera que el proceso debe ser muy similar al documentado en esa comunidad. No obstante, es posible que existan otras comunidades productoras de mezcal en la región, y aún es necesario profundizar en ello.

Importancia económica

El mezcal cumple una función central en la subsistencia de las familias que están involucradas en la producción, sobre todo de productores y peones. Es una actividad que se lleva a cabo cinco o seis meses del año, justo en la temporada más seca, cuando los agaves están estresados y tienen mayor rendimiento. Así, la producción se va intercalando y complementando con actividades de la milpa, la colecta y extracción de recursos vegetales silvestres y otras actividades productivas como la ganadería, la panadería y la construcción.

Para algunos productores el mezcal representa un importante ingreso económico, sobre todo en el caso de los mayores productores, quienes invierten más tiempo y dinero en la producción y en general incluso producen durante un mayor número de meses al año. Para otras familias de la cadena productiva, como peones y pequeños productores que se van a medias con uno o dos eventos de producción en la temporada, lejos de percibir una fuerte entrada monetaria, el ingreso que perciben por su participación en la producción de mezcal facilita su subsistencia durante la época en que no producen mezcal. El mezcal se usa como moneda de cambio, a manera de trueque en establecimientos locales donde lo cambian por productos de primera necesidad.

Independientemente del ingreso monetario que representa la producción de mezcal para las familias involucradas en su producción, es claro que esta actividad representa una estrategia para subsistir durante los meses en los que no hay producción agrícola, usando el mezcal como moneda a manera de trueque por alimentos y otros productos de primera necesidad en establecimientos locales. Sobre todo, queda claro que el valor de intercambio económico que poseen tanto los agaves como el mezcal es un factor importante que determina el riesgo para sus poblaciones silvestres como se discutió en el Capítulo 2, debido a su intensa y creciente extracción.

Percepción del riesgo y respuestas de manejo

La gente de ambas comunidades posee una clara percepción del riesgo que enfrentan ahora más que nunca las poblaciones silvestres de *Agave potatorum*. Un 80% de la gente relaciona este riesgo con la sobre extracción de la actividad mezcalera. Hemos notado que la percepción del riesgo en recursos de uso común otrora abundantes, como es el caso de los agaves, no resulta clara sino hasta que ya es casi demasiado tarde: 90% de los productores afirman ir cada vez más lejos para acceder a los agaves. Como mencionó un palenquero de Ixcatlán quien recuerda que cuando comenzó a hacer mezcal hace unos 30 años había suficiente *papalometl* en los cerros cercanos y ya no, ahora hay poco.

Se pudo identificar un gradiente de respuestas de manejo con base en las categorías de manejo definidas por algunos autores en base a investigaciones en la zona de estudio (Casas *et al.* 1996, 2007; Lira *et al.* 2009; Blancas *et al.* 2010) que abarcan desde la extracción simple, la tolerancia, promoción, protección de individuos o poblaciones, siembra de semillas, trasplante de plantas completas desde su hábitat natural a áreas manejadas como sistemas agrícolas y huertos de traspatio (Casas *et al.* 1996, 1997b, Blancas *et al.* 2010). La práctica más común es la extracción en poblaciones silvestres, y el riesgo depende mucho de la parte de la

planta que es colectada, así como de la intensidad de extracción. No representa el mismo riesgo a una población de agave el eventual corte de hojas o inflorescencias para consumo local, que la extracción de cientos de individuos completos para producción de mezcal. La tasa de extracción anual puede variar de un poblado a otro, pero en cualquier caso incide drásticamente en el decremento de las poblaciones donde se extraen (Torres *et al.* 2015), tomando en cuenta que la actividad se concentra en sitios de extracción preferencial en donde prácticamente se extrae el 100% de los individuos reproductivos, haciendo difícil observar una sola inflorescencia.

Es común que los campesinos toleren al *papalometl* en sus linderos o en islas de vegetación dentro de sus unidades manejadas. Debido a que el papalometl es una especie que difícilmente se reproduce por hijuelos, cabe señalar la importancia de la experimentación individual en relación a la germinación de las semillas, como la realizada por algunos productores de Santa María Ixcatlán. De igual forma, existen viveros comunitarios que fueron pioneros en la reproducción de este agave con base en la colecta de semilla de diversos parajes y su reforestación, como son los viveros de Cuthá en Zapotitlán, Caltepec y San Luis Atolotitlán, Puebla, aunque lamentablemente éste último se encuentra en abandono.

Recomendaciones para el manejo de *Agave potatorum*

En la presente investigación estudiamos la diversidad de formas de manejo del *Agave potatorum* que practican los habitantes del Valle de Tehuacán, a una escala regional y adentrándonos en la escala comunitaria. Logramos identificar aspectos ecológicos, socio-culturales y económicos que influyen directamente en las prácticas de manejo, así como en la percepción del riesgo a la permanencia de ésta especie por parte de la gente y las respuestas de manejo mediante las que lo enfrentan. Con base en los resultados obtenidos en ésta investigación y otras investigaciones realizadas por nuestro equipo de trabajo (Delgado-Lemus, 20008,

Torres (2009) Rangel-Landa, 2009) respecto a diversos temas en torno a *Agave potatorum*, hacemos las siguientes propuestas para un manejo sustentable del *Agave potatorum* que asegure la disponibilidad de dicho recurso y la actividad productiva que sustenta, la producción de mezcal.

1. Consideramos imprescindible iniciar un proceso de reordenamiento territorial a nivel comunitario y regional empleando métodos de planeación participativa, debido a que los agaves se aprovechan generalmente de áreas de uso común. La elaboración de mezcal está relacionada directamente con todos los recursos naturales que aprovechan las comunidades, por lo que para llegar a un plan de manejo campesino sustentable del *Agave potatorum*, éste debe incluir el suelo, el agua, las prácticas extractivas forestales de otros recursos y el pastoreo (Illsley *et al.* 2007). Tal proceso de reorganización deberá contar con una plataforma participativa, bajo un modelo de manejo adaptativo (Berkes, 2000). Es recomendable que se realicen diagnósticos rurales participativos, comunitarios, que permitan identificar los principales problemas de cada caso en particular, desde la perspectiva de distintos actores sociales y grupos con diferentes intereses, así como las posibles soluciones comunitarias, inter-comunitarias e interinstitucionales (Illsley *et al.* 2007). Es por esto primordial la inclusión de todos los habitantes de la comunidad, no solamente los que forman parte de la cadena de producción de mezcal, puesto que se trata de áreas y recursos de uso común.

La propuesta se basa en que el proceso asegure que la toma de decisiones se lleve a cabo por todos los manejadores del recurso (ejidatarios), estableciendo las unidades espaciales de manejo e integrando posteriormente recomendaciones y asesoría técnica derivadas de los estudios de caso por parte de los investigadores. Así, sugerimos incluir la información técnica generada en el presente trabajo y en otros estudios

científicos similares (Jiménez-Valdés *et al.* 2010; Martin *et al.* 2011), así como por experiencias organizativas encaminadas a propósitos similares (Illsley *et al.* 2005, 2007).

Para lo anterior, resulta crucial reforzar el diálogo y fomentar el trabajo en conjunto con la dirección de la Reserva de la Biósfera Tehuacán Cuicatlán, pues hay iniciativas institucionales valiosas pero no necesariamente acertadas; como por ejemplo, la promoción de la plantación de agaves externos a la zona, como ha sido el caso del fomento al cultivo de *Agave marmorata* en San Luis Atlotitlán donde no se encuentra naturalmente, o las prohibiciones de uso forestal sin información adecuada ni participación de la población local, generando malestar e inconformidad en la gente.

2. Una de las acciones prioritarias y urgentes es iniciar una estrategia de monitoreo y ubicación de las poblaciones silvestres, caracterizando su densidad y estructura poblacional. Asimismo, la identificación de asociaciones con plantas nodrizas bajo muestreos rápidos en una mayor variedad de ambientes dentro del territorio de la reserva, sobre todo los circundantes a comunidades productoras de agave y de mezcal. Este diagnóstico permitirá ampliar rápidamente el espectro de condiciones seguras o de mayor probabilidad de éxito en las acciones de trasplante de plantas de vivero para recuperación asistida de las poblaciones. Los monitoreos constituyen una pieza clave para acortar distancias en el aprendizaje de las acciones de manejo efectuadas, permitiendo a los campesinos aprender más y más rápidamente de sus propias experiencias, a la par que desarrollan nuevas estrategias (Rangel-Landa *et al.* 2015).

3. Con base en los mapas de distribución potencial, así como en la identificación de sitios en donde poblaciones locales de *Agave potatorum* se han extinguido en décadas recientes, es posible identificar áreas en las que existen condiciones idóneas para la recuperación de poblaciones extintas (o muy fragmentadas) y la de poblaciones deterioradas. En tales áreas, los modelos de nuestros estudios permiten planear los ciclos y tasas más adecuadas de plantación y las mejores condiciones para realizar siembras o trasplantes de manera que se aumente la probabilidad de éxito (Rangel-Landa *et al.* 2015).

4. Es crucial coleccionar semilla de las diferentes poblaciones para la producción de planta en vivero con el fin de asegurar el mantenimiento de una alta diversidad genética y de las adaptaciones locales en las poblaciones manejadas de agave (Rangel-Landa *et al.* 2015); Torres *et al.* 2015) y de esta manera aumentar las probabilidades de éxito en el establecimiento de las poblaciones manejadas, así como la regeneración natural de generaciones subsecuentes. Contar con la identidad del material propagado es de utilidad para decidir el destino más apropiado para su trasplante, de acuerdo con las características de los sitios a reforestar. Es recomendable que el destino de las plantas sean los sitios de origen del germoplasma o bien sitios similares, el tipo de vegetación, de suelo, la altitud y la exposición a la radiación solar son algunos indicadores de tal similitud. Así mismo, en sitios donde hayan desaparecido las poblaciones originales es conveniente probar con plantas de semillas de sitios con ambientes parecidos (Rangel-Landa, 2009; Rangel-Landa *et al.* 2015).

En el momento de hacer la recolección, es necesario tener cuidado de recolectar solamente las cápsulas que estén maduras y dejar que las inmaduras terminen su desarrollo. Las flores de *Agave potatorum* tienen un desarrollo asincrónico y la maduración de semillas no se alcanza durante el

almacenamiento; es preferible su maduración y eventual dispersión *in situ*. Tomando en cuenta las recomendaciones de León (2013), la recolección de semillas se puede llevar a cabo con la ayuda de una tijera de garrocha, puesto que las inflorescencias no rebasan los seis metros de altura.

5. Además de la colecta de semilla es recomendable dispersarlas en sus sitios de origen, específicamente en micro sitios seguros, bajo el dosel de plantas perennes o al costado de una roca que pueda brindarle sombra, con el fin de favorecer el establecimiento natural de los agaves. Un buen ejemplo de esta práctica como parte del manejo intensivo que realizan los magueyeros de la región de Chilapa, Guerrero es el de semilla regada. Es un proceso tradicional orientado a la intensificación, la domesticación y la selección de agaves. Propician así manchones, agrupaciones compactas de muchos individuos. La formación de manchones se induce distribuyendo semillas arrojándolas al boleó o colocando las infrutescencias sobre ramas bajas de los árboles o arbustos para que el aire disperse las semillas, pero queden en sitios de fácil acceso (Illsley *et al.* 2005, 2007). De esta manera se promueve que continúen los procesos de establecimiento naturales que han dado lugar a las características de los agaves de cada sitio que son importantes para quienes aprovechan este recurso (Rangel-Landa, 2009), como en el caso de San Luis Atolotitlán, en que la gente reconoce claramente una variedad de papalometl de menor tamaño y un evidente contenido mayor de azúcar con mejores rendimientos de mezcal (Delgado-Lemus *et al.* 2014b).
6. Generación de plántulas en vivero. Las semillas pueden propagarse fácilmente en viveros comunitarios. La estructura ideal para la siembra es un vivero cerrado que aisle a las plántulas de depredadores tales como aves, roedores, hormigas y conejos, los cuales depredan las plántulas de agave en

esta etapa de su desarrollo .El vivero debe tener un techo de malla sombra para proteger las plántulas de la radiación solar excesiva. Una vez que las plántulas tengan alrededor de seis meses deben trasplantarse a bolsas de plástico independientes y permanecer en ellas al menos dos años (Rangel-Landa *et al.* en prensa). Después, las plantas juveniles deben sacarse de la tierra y dejarse con las raíces expuestas, o incluso cortarlas y sin riego, en un periodo de aclimatación de por lo menos seis meses, con la finalidad de prepararlos para que al ser trasplantados puedan soportar las condiciones ambientales contrastantes del campo (Torres *et al.*2015).

7. Trasplante. No es recomendable trasplantar en espacios abiertos ya que *Agave potatorum* requiere de nodrizas para su establecimiento y en espacios abiertos la mortalidad puede ser de hasta un 90%. Bajo el dosel de plantas perennes presentes en cada sitio es posible encontrar las condiciones de sombra, humedad y disponibilidad de nutrientes adecuadas para aumentar la probabilidad de establecimiento. En este sentido, en cada asociación biótica debería probarse en experimentos o acciones de reforestación cuales son las mejores nodrizas para *Agave potatorum* en cada sitio. Si las asociaciones agave-nodrizas son exitosas, estas pueden ser replicadas (Rangel-Landa *et al.* 2015).

De acuerdo con lo encontrado por nuestro grupo de investigación (Rangel-Landa *et al.* 2015), las especies que son mejores nodrizas son aquellas que tienen un follaje denso, que son perennes o conservan su follaje a lo largo del año, que no producen sustancias alelopáticas y que posean sistemas radiculares no superficiales, los cuales realizan un levantamiento hídrico. Para aumentar la sobrevivencia de las plántulas, los trasplantes deben de efectuarse hacia el norte y el oeste de la planta nodriza, orientaciones hacia donde se proyecta la sombra y donde reciben mayor protección de la radiación solar excesiva. En los sitios desprovistos de

vegetación se recomienda hacer uso de sombras artificiales con materiales locales, ramas, hoja de palma, o bien mallas de sombra, aunque falta experimentar la factibilidad duradera de esta técnica.

8. Además de recuperar las poblaciones de agave es necesario también implementar esfuerzos dedicados a desarrollar técnicas apropiadas a la colecta y propagación de especies nodrizas. Igualmente importante resulta desarrollar estrategias para recuperar poblaciones de especies maderables nativas proveedoras de leña. La producción de mezcal necesita grandes cantidades de madera para el horneado y la destilación.
9. Es factible además, incorporar *Agave potatorum* a los sistemas agroforestales, trasplantando plantas en linderos y franjas de vegetación como parte de la estrategia para la recuperación y aprovechamiento de la especie y generar en conjunto especies de árboles maderables para ser empleados posteriormente como leña en la producción de mezcal.
10. De acuerdo con Martin *et al.* (2011), el reordenamiento del libre pastoreo de ganado es una acción crucial para la protección de *Agave potatorum* y otros recursos forestales. En San Luis Atlotitlán, como en muchos sitios del Valle de Tehuacán el pastoreo se practica en zonas extensas en las cuales no se puede efectuar un control del impacto del ganado. Protegiendo las poblaciones remanentes del ganado, así como las poblaciones bajo reforestación se lograría proteger el desarrollo de plántulas y plantas juveniles pequeñas, las categorías más importantes para el desempeño demográfico de la especie estudiada y las cuales son también las etapas del ciclo de vida más vulnerables al forrajeo de caprinos y al pisoteo de bovinos. Es también necesario proteger los escapos tiernos, los cuales se desarrollan

de junio a agosto y son especialmente susceptibles a la herbivoría por el ganado. El aislamiento del ganado con barreras físicas permitiría establecer unidades espaciales de manejo que serían útiles para el ordenamiento de la actividad pecuaria y el control de su impacto sobre las áreas forestales (Torres *et al.* 2015).

11. En las unidades espaciales de manejo establecidas será necesario fijar ciclos de rotación de cosecha y monitoreo, como lo recomiendan Illsley *et al.* (2005, 2007), para permitir que las poblaciones de estas áreas puedan florecer libremente y llevar a cabo su establecimiento natural, además de poder realizar monitoreos comunitario para conocer aspectos de la densidad y la estructura poblacional, con la finalidad de tomar decisiones sobre las acciones futuras necesarias para cada unidad espacial de manejo. Es necesario diseñar muestreos rápidos de monitoreo mediante técnicas participativas con los campesinos encargados de la reforestación, cosecha y rotación del ganado para así facilitar la identificación de las mejores técnicas adaptadas a características particulares.

12. En cuanto a los patrones de extracción, los modelos demográficos efectuados sugieren que no hay un efecto drástico en la dinámica poblacional asociada a la extracción de agaves adultos (Torres *et al.* 2013, 2015); sin embargo, consideramos pertinente proponer a las asambleas comunitarias regular que se evite el corte de más del 70% de los individuos maduros en una unidad de manejo. Es recomendable que se elijan para su protección adultos vigorosos, de tallas grandes con la finalidad de asegurar la máxima producción de semillas para que se lleve a cabo el establecimiento de manera natural y la disponibilidad de germoplasma que pueda colectarse con el fin de su propagación controlada en vivero.

13. La comercialización es un tema delicado no solo en esta región, sino también en la mayoría de los estados que producen mezcal que desean venderlo legalmente y no cuentan con la denominación de origen, e incluso en lugares dentro de la denominación, donde pequeños productores no tienen oportunidad de certificar su producto como mezcal. Aunque generalmente el mezcal se comercializa en la localidad donde se produce y regiones cercanas, hay productores que tienen las intenciones de embotellarlo y venderlo. Una alternativa que puede ayudar a encaminar al aprovechamiento sustentable de este recurso, aportando mayores beneficios socio-económicos a los integrantes de la cadena productiva, es la inclusión de estos destilados en mercados orgánicos y de comercio justo en donde pueden obtener mayores ganancias que las actuales y así destinar un porcentaje de dichas ganancias a la reforestación y otras acciones que fortalezcan el mantenimiento de las poblaciones locales del agave. Una parte fundamental en este tipo de experiencias es la organización social, la cual depende de que los actores principales se apoderen de las técnicas y sean directamente los manejadores de sus recursos naturales.

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación sugieren que los escenarios de riesgo para esta especie son aquellos en que el manejo se limita a la simple recolección, donde las tasas de extracción para producción de mezcal pueden sobrepasar la capacidad de recuperación de los ecosistemas, contrario a un manejo en que se realizan diversas prácticas de manejo, aminorando el riesgo. A escala local la extracción en sitios preferentes es del 100% de los individuos maduros, en estado reproductivo. Solamente cuando el escapo floral está avanzado en su desarrollo lo dejan en pie para semillero. Aun cuando no se incluye en este trabajo la información detallada de Santa María Ixcatlán, Oaxaca, en ambas comunidades la

gente percibe el riesgo creciente de que el papalometl se agote, sobre todo los productores de mezcal de mayor edad. Sin embargo en ambas comunidades existen experiencias individuales y colectivas que se han dado como respuesta a la incertidumbre en la disponibilidad de papalometl para preparar mezcal, como en el caso de Ixcatlán donde conocimos dos productores que trasplantan los agaves que crecen sobre rocas o que se han desarrollado varios individuos juntos en un solo sitio, o en San Luis Atolotitlán, donde han tomado lugar experiencias comunitarias o grupales con la intervención de la Reserva de la Biósfera, como la propagación en vivero y reforestación de sitios más deteriorados. No obstante que la Reserva ha impuesto prácticas como la veda, para lo que debió ser incluyente con la comunidad desde su planeación.

A escala regional el problema parece atenuarse, ya que ambas comunidades mezcaleras estudiadas se encuentran dentro de la reserva de la biósfera y son sometidas a prácticas de protección de poblaciones silvestres por parte del personal de la Reserva de la Biósfera, además de que parecen ser pocas las comunidades que extraen *Agave potatorum* para producir mezcal en el Valle. Sin embargo nos queda claro que las áreas cercanas a los sitios de producción son las más deterioradas y que la popularidad del destilado en mercados nacionales e internacionales representará un escenario de riesgo en el futuro cercano de no implementarse acciones de manejo más eficientes e incluyentes, menos dañinas con la naturaleza, que garanticen una mejoría en la calidad de vida de los manejadores del recurso, incidiendo en la comunidad.

Podemos aseverar que se han construido una gama de respuestas de manejo del *Agave potatorum* a nivel regional. Cada caso particular constituye un recetario conformado por mezclas de técnicas y distintas formas de manejo: extracción silvestre, trasplante *in situ* de individuos para mejorar sus oportunidades de establecimiento o en terrenos propios cercanos a su vivienda, reforestación de terrenos comunes, colecta y germinación de semillas, protección de semilleros, son

ejemplos de actividades dentro del ciclo de manejo diversificado del cual forma parte importante el papalometl.

Hemos realizado recomendaciones para el manejo integral del *Agave potatorum* con base en información científica generada en diversos estudios en el Valle y otras regiones del país que aprovechan recursos similares, poniendo énfasis en las acciones y experiencias locales del manejo. Sin embargo, las respuestas de manejo más eficientes serán sin lugar a dudas las desarrolladas y adoptadas por manejadores locales del *Agave potatorum*. Algunas comunidades como SLA, han implementado prácticas para el rescate del papalometl como la veda o la reforestación bajo nodrizas, que fueron algunas sugerencias de nuestro grupo de trabajo, resultado de investigaciones realizadas en la zona. Aun cuando en un principio tuvieron dudas sobre éstas implementaciones al manejo del agave, las han ido adoptando al ver los resultados en el monte. Si bien es difícil de articular, cada vez es más claro que resulta esencial tomar en cuenta en el diseño de modelos de aprovechamiento al conocimiento tradicional, la experimentación e innovación individual y colectiva eficiente, así como la información generada mediante estudios científicos participativos, desarrollados en conjunto con los manejadores de agaves, en base a sus necesidades, asegurando así la disponibilidad futura del *Agave potatorum*, de la leña, el agua y otros recursos naturales, sustento no solo de la producción de mezcal, sobre todo de las familias que habitan en las comunidades de esta región. Este trabajo pretende aportar elementos en pos de esa búsqueda.

REFERENCIAS

Berkes, F., J. Colding, and C. Folke. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10:1251-1262.

Blancas, J., A. Casas, S. Rangel-Landa, A. Moreno-Calles, I. Torres, E. Pérez-Negrón, L. Solís, A. Delgado-Lemus, F. Parra, Y. Arellanes, J. Caballero, L. Cortés, R. Lira y P. Dávila. 2010. Plant Management in the Tehuacán Valley. *Economic Botany* 64:287-302.

Boege, E. 2008. El patrimonio bio-cultural de los pueblos de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de México. México D.F.

Casas, A., C. Vázquez, L. Viveros, y J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahuatl and the Mixtec in the Balsas River Basin, México: An ethnobotanical approach to the study of plant domestication. *Human Ecology* 24(4):455-478.

Casas, A., B. Pickersgill, J. Caballero and A. Valiente -Banuet. 1997b. *Ethnobotany* and domestication process in the xoconochilli *Stellocereus Stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacan Valley and La Mixteca Baja, Mexico. *Economic Botany* 51: 279-292.

Casas, A., A. Otero-Arnaiz, E. Pérez-Negrón, and A. Valiente-Banuet. 2007. In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany* 100:1101-1115.

Caswell, H. 2000. *Prospective and Retrospective Perturbation analyses: their roles in conservation biology*. The Ecological Society of America.

Cox, C.B. y P.D. Moore. 2005. *Biogeography, an Ecological and Evolutionary Approach*. Blackwell Publishing. UK.

Delgado-Lemus, A. M. 2008. "Aprovechamiento y disponibilidad especial de *Agave potatorum* en San Luis Atlotitlán, Puebla, México". Tesis de Maestría. Posgrado en

Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Delgado-Lemus, A., O., Téllez, A. Casas. 2014b. Traditional use and ecological aspects of *Agave potatorum* in Tehuacán Valley, México: perspectives for its sustainable management. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.

ESRI. 2000. Environmental Systems Research Institute. Inc. Paquete de software Arcview- GIS, 3.2.

Félix-Valdés, L. 2014. Patrones de diversidad y estructura genética de *Agave potatorum* Zucc. e implicaciones en su manejo *in-situ*. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco.

García-Mendoza, A. J. 2010. Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana* 91: 71-93.

García-Mendoza, A. J. 2011. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Agavaceae. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Departamento de Botánica 88: 1-95.

Gentry, H.S. 1998. *Agaves of continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson.

Houlder, D.J., M.F., Hutchinson, H.A., Nix and J.P., McMahon. 2000.

ANUCLIM 5.1. User guide. Centre for Resource and Environmental Studies. Australian National University. Canberra.

Illsley, C., A. Tlacotempa, G. Rivera, P. Morales, J. García, L. Casarrubias, M. Calzada, R. Calzada, C. Barranca, J. Flores y E. Omar. 2005. Maguay papalote en: *La riqueza de los bosques mexicanos: más allá de la madera*. Experiencias de

comunidades rurales. SEMARNAT, CONAFOR; CIFOR; INE, Overbrook foundation, People and plants. Primera edición. México, D.F.

Illsley, C., E., Vega, I., Pisanty, A., Tlacotempa, P., García, P.- Morales, G., Rivera, J., García, V., Jiménez, F., Castro, M., Calzada. 2007. Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. En: En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. Pp. 319-338. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Jiménez-Valdés, M., H.G. Álvarez, J. Caballero y R. Lira. 2010. Population Dynamics of *Agave marmorata* Roezl. under Two Contrasting Management Systems in Central Mexico. *Economic Botany* 64(2), 149-160. The New York Botanical Garden Press, Bronx, NY, U.S.A.

León, A. 2013. Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de *Agave inaequidens* Koch ssp. *inaequidens* (Agavaceae), en el estado de Michoacán. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología. UMSNH

Lira, R., A. Casas, R. Rosas-López, M. Paredes-Flores, E. Pérez-Negrón, S. Rangel-Landa, L. Solís, I. Torres and P. Dávila. 2009. Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany* 63(3):271-287.

Martin, M.P., Ch. M. Peters, M. I. Palmer, C. Illsley. 2011. Effect of habitat and grazing on the regeneration of wild *Agave cupreata* in Guerrero, Mexico. *Forest Ecology and Management* 262: 1443–1451.

Pérez-Negrón, E. and A. Casas. 2007. Use, extraction rates and spatial availability of plant resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: The case of Santiago Quiotepec, Oaxaca. *Journal of Arid Environments* 70:356–379.

Rangel-Landa, S., R. Lemus. 2002. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los Ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca, México.

Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Rangel-Landa, S. 2009. Establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Rangel-Landa, S., A. Casas and P. Dávila. 2015. Facilitation of *Agave potatorum*: an ecological approach for assisted population recovery. *Forest Ecology and Management* 347:57-74.

Toledo, V.M., N. Barrera-Bassols. 2008. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales, Vol. III. Icaria Editorial.

Torres, I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atlotitlán, Municipio de Caltepec, Puebla, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Torres, I., A. Casas, A. Delgado-Lemus, S. Rangel-Landa. 2013. Aprovechamiento, demografía y establecimiento de *Agave potatorum* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: aportes ecológicos y etnobiológicos para su manejo sustentable. *Zonas Áridas* 15.

Torres, I., A. Casas, E. Vega, M. Martínez-Ramos, A. Delgado-Lemus. 2015. Population Dynamics and Sustainable Management of Mescal Agaves in Central Mexico: *Agave potatorum* in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. *Economic Botany*. 69(1):26-41.