

*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<sup>1\*</sup>, 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](mailto: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 m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup>, 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 ( $\lambda$ ) 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  $\lambda$ . 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  $12 \pm 16$  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 mésica, 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  $\lambda$ . 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  $\lambda$  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 antisyphilitica*, *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.

## 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 Náhuatl 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.

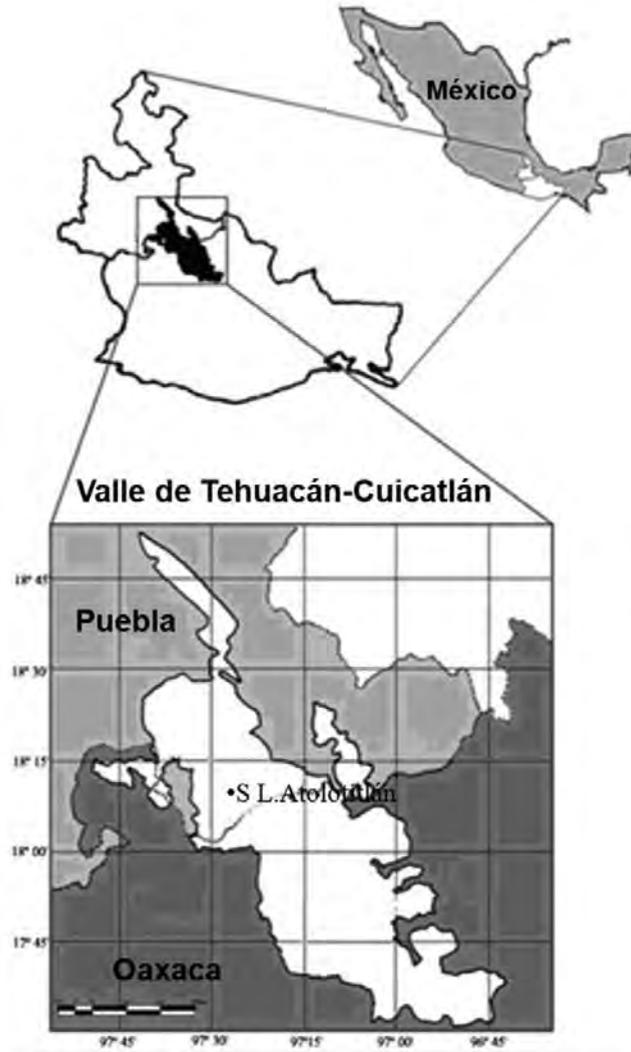
Torres, I. 2004. Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, Morelia.

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

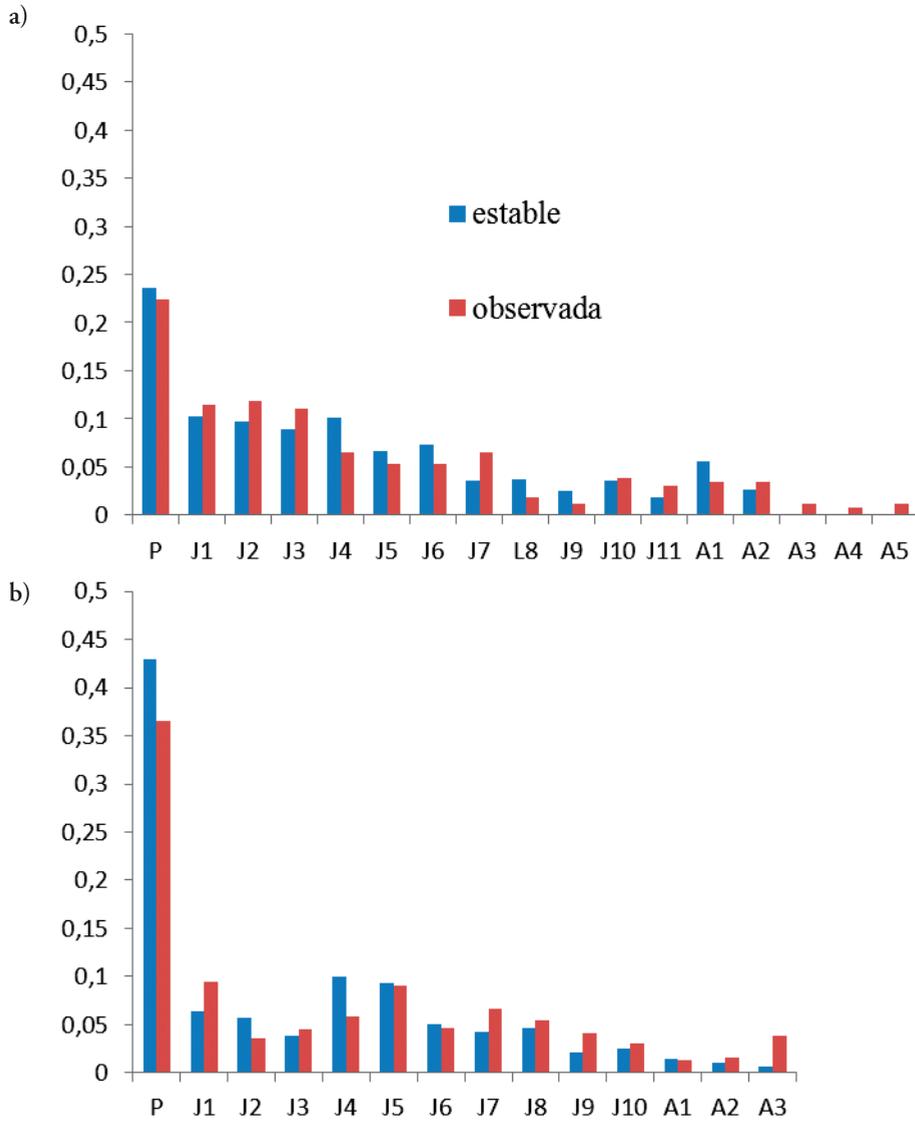


**Figura 1.** Mapa de ubicación de San Luis Atolotlán en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán en los estados de Puebla y Oaxaca, México.

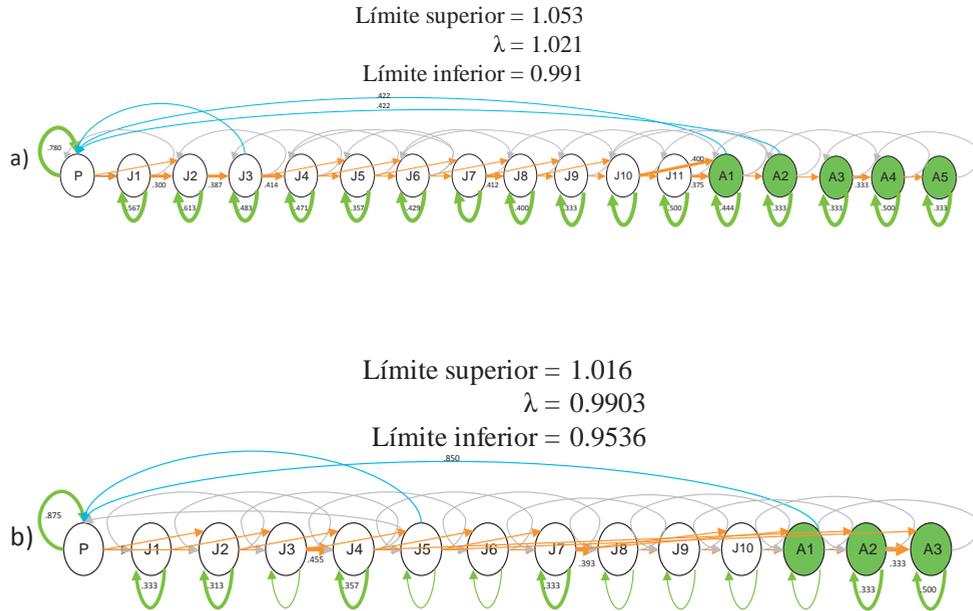


**Figura 2.** Aspectos del recurso forestal estudiado y su aprovechamiento. a) *Agave potatorum*, b) *A. potatorum* en floración, c) extracción de *A. potatorum* con machete y d) tallos y bases foliares de *A. potatorum* cosechados.

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.