



De genes y magueyes
estudio y conservación
de los recursos genéticos
del tequila y el mezcal

Luis E. Eguiarte Fruns y Andrea González González



El tequila y el mezcal, ambas bebidas destiladas de agaves, han llegado a ser símbolos de lo mexicano. Como todos sabemos, los últimos quince años han sido testigos del *boom* del tequila y, más recientemente, el mezcal comienza a cobrar popularidad. Este fenómeno implica un aumento en la producción de dichas bebidas y por ende un aumento en las plantaciones de los agaves utilizados en su elaboración, *Agave tequilana* en el caso del tequila y *A. angustifolia* para el mezcal tradicional de Oaxaca.

A pesar de las grandes ganancias económicas que producen estas industrias, en particular la del tequila, se ha invertido relativamente poco y sólo muy recientemente en la investigación científica de estas especies. De hecho, la mayor parte de los esfuerzos han estado destinados a optimizar la producción por biotecnología, tomando los mejores genotipos para su subsecuente clonación por medio de cultivo de tejidos, y así obtener grandes cantidades de plantas para sembrar. Nosotros hemos estado muy preocupados por los recursos genéticos de estas especies, especialmente a la luz de estudios que demuestran que tanto el henequén (que es otro agave, *A. furcroydes*, usado en la producción de fibras) como el tequila, al ser propagados de manera clonal (esto es, no se reproducen por semilla como la mayoría de las plantas, sino que se toman hijuelos de las plantas adultas con exactamente el mismo genotipo) han perdido totalmente su variación genética.

La fiebre por el tequila y la que se está iniciando en torno al mezcal han promovido que se siembren plantas en muchas áreas, empleando técnicas cada vez más erosivas y en monocultivo, utilizando tierras dedicadas a cultivos tradicionales —y por lo tanto recursos genéticos— como el maíz, además de desmontar amplias secciones de selva seca para sembrarlos, lo cual, aunado a la pérdida de la variación genética, es potencialmente muy grave.

En el laboratorio de Evolución molecular y experimental del Instituto de Ecología de la UNAM nos hemos dedicado durante más de quince años a estudiar la evolución, ecología y los recursos genéticos del género *Agave* —así como el de la familia Agavaceae—, el cual agrupa todas las especies de agaves, mezcales o magueyes, como comúnmente se les conoce. Las rosetas de agave cubren extensas áreas del territorio de México, y se pueden considerar como especies clave por la cantidad de recursos que producen, sobre todo en su floración, de los que dependen gran cantidad de animales que a su vez pueden ser importantes polinizadores de otras especies. Son plantas que han sido utilizadas ampliamente desde tiempos prehispánicos, e indudablemente desempeñaron un papel fundamental en la supervivencia de los primeros pobladores del territorio mexicano, ofreciendo tanto comida como bebida, vestido, y un estimulante al ser preparado como alcohol.

El género fue descrito por el mismísimo Linneo en 1753 en su *Species Plantarum*. Aparentemente el nombre viene del griego *agavos* que significa noble, admirable, y se cree que Linneo se lo puso debido a la talla que pueden alcanzar las rosetas y las inflorescencias de algunas de sus especies. Una de las características más espectaculares e interesantes de los agaves es que, después de producir una inflorescencia que puede ser realmente muy grande, sobreviene su muerte, es decir, tiene un solo evento reproductivo, grandísimo, espectacular, pero suicida.

Agave es el género más grande de la familia Agavaceae, que también incluye a las yucas de los desiertos de Norteamérica —alrededor de cincuenta especies agrupadas en el género *Yucca*— y a otras plantas similares pero menos conocidas, que pueden ser perennes y morir también después de reproducirse, como el género *Furcraea* —unas veinticinco especies— o herbáceos como los amoles y nar-



dos —géneros *Manfreda*, *Polianthes*, *Prochnyanthes*, con unas cuarenta y cinco especies.

¿Por qué es importante la variación?

Una buena parte de la biología evolutiva está dedicada a describir la variación que hay al interior de las especies. Todos estamos familiarizados con esta variación: los individuos de la especie humana somos diferentes unos de otros, tanto en complexión y estatura como en el color de la piel y otros rasgos más. Por experiencia sabemos que las otras especies con las que coexistimos tienen también variación; pensemos en la razas de perros y las diferencias que nos permiten distinguir a los perros aun entre los de su misma raza o entre hermanos. No hay que olvidar que esta variación puede ocurrir en diferentes niveles genéticos —ADN, proteínas, cromosomas, genoma—, y se refleja en la enorme diversidad de la vida en términos de las diferencias existentes entre individuos de una población, entre las diferentes poblaciones de la misma especie, y entre las diferentes especies.

Respecto de las plantas y animales que son la base de nuestra alimentación o poseen algún otro uso, si no existe variación en la base genética que determina ciertas características, las especies no pueden ser mejoradas. Por ejemplo, para aumentar el rendimiento, incrementar la

resistencia a plagas y enfermedades o que las plantas puedan crecer en nuevas condiciones climáticas, se necesita que la especie cuente con suficiente variación genética. En pocas palabras, si no hay reservas de variación, no se pueden mejorar los organismos, es decir, la selección artificial no puede actuar. Pero tampoco la selección natural, ya que si no hay variación genética, las poblaciones no se pueden adaptar a las nuevas y diferentes condiciones ambientales que ocurren a lo largo del tiempo, y tampoco cambiarían ni aparecerían nuevas especies, por lo que no habría evolución. Por ello se dice que la diversidad genética es la materia prima de la evolución.

Es por esto que entre las diferentes razones por las que el ser humano se preocupa por conservar los recursos naturales —las ecológicas, para mantener la biodiversidad; las económicas, por el valor comercial actual o potencial de los recursos naturales; las éticas, por la discusión de si tenemos o no derecho de alterar los patrones de extinción que naturalmente ocurren— las genéticas ocupan un lugar preponderante. Desde el punto de vista genético, los genomas de las especies son reservorios de información genética sobre todo tipo de adaptaciones, procesos bioquímicos, morfologías, patrones de desarrollo, ciclos de vida y adaptaciones ecológicas complejas. Ciertamente, existen porciones del genoma que no se expresan o no representan

adaptaciones en el momento actual, no obstante, pueden funcionar como marcadores genéticos para reconstruir la historia evolutiva de las especies o ser la base de la adaptación del organismo a condiciones futuras, materia prima de la evolución futura de diversos linajes. En síntesis, la conservación de la variación genética mantiene la posibilidad de evolución.

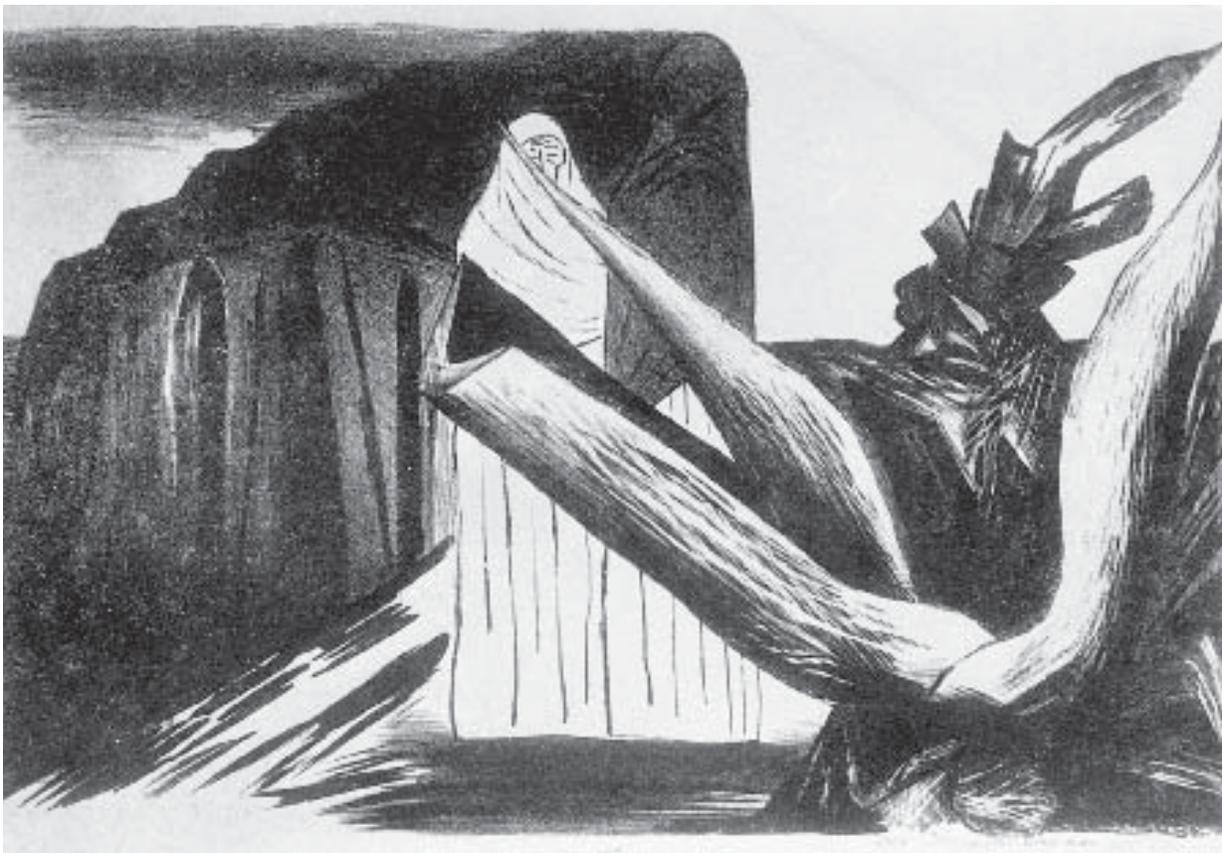
Con esta preocupación surgió la biología de la conservación, ligada a problemas genéticos en diferentes especies en peligro de extinción y, junto con el desarrollo de la teoría de biogeografía de islas en la década de 1970, fue parte de las ideas ecológicas y evolutivas que se comenzaron a emplear en el diseño de refugios y reservas naturales. Posteriormente se realizaron los primeros análisis a nivel genético de especies en cautiverio y silvestres, y recientemente se ha implementado una gran cantidad de nuevas metodologías moleculares y computacionales que permiten analizar y hacer predicciones cada vez más precisas.

Diferentes criterios se han utilizado para elaborar las estrategias y los planes de conservación. Sin embargo, para lograr una verdadera conservación a largo plazo lo mejor es permitir que las poblaciones sigan evolucionando, es

decir, que sigan activos los procesos naturales microevolutivos —principalmente selección natural y adaptación— y de especiación. Para ello necesitamos conocer la historia natural y la genética de poblaciones de las especies que queremos conservar. De esta síntesis nació la genética de la conservación, que se define como la aplicación de la genética de poblaciones para la preservación de las entidades dinámicamente evolutivas. Por lo tanto, una etapa inicial y fundamental en todo estudio moderno de recursos genéticos es el establecimiento de la variación genética existente en las poblaciones así como su distribución; esto permite saber qué tan distintos son los diferentes individuos en la población, qué tan diferentes son las poblaciones entre sí y qué tan diferentes son las especies.

El caso del género *Agave*

Uno de los aspectos que más nos ha interesado estudiar en el laboratorio es la genética de poblaciones de diferentes especies del género *Agave*, y hemos encontrado que todas las especies silvestres presentan una gran variación genética. Esto es consecuencia de su historia de vida, ya que,



generalmente, son plantas perennes, es decir de vida larga —como las coníferas y los árboles tropicales—, tienen una gran variación genética, y casi siempre presentan polinización cruzada, lo cual evita la autocruza y todas las formas de cruza entre parientes, esto es, la endogamia. Además, gracias a sus polinizadores, especialmente los murciélagos del género *Leptonycteris*, el polen viaja grandes distancias, generando así un alto flujo génico entre las poblaciones.

Sin embargo, la genética de poblaciones de los agaves tiene características que constituyen una complicación para su manejo, y es que muchas de las especies se pueden propagar asexualmente, es decir, no se necesita que cada individuo se desarrolle a partir de una semilla, sino que se puede producir una nueva planta —una roseta— a partir de una roseta adulta. Naturalmente, esto representa una adaptación importante y un escape a la forma suicida de reproducción; si por mala suerte ese año no hay polinizadores, no se pierde el genotipo en un evento letal pero inútil, ya que quedan copias más pequeñas del mismo individuo.

Sin embargo, esta característica, empleada por los pueblos indígenas prehispánicos para generar plantaciones de genotipos interesantes, ha resultado recientemente muy atractiva para los productores industriales de tequila o henequén, pues al tener un mismo genotipo se asegura un crecimiento y una calidad uniformes y constantes de las plantas, lo cual es muy importante para producir fibras o azúcares, ya que simplifica y hace más eficiente la producción.

Por ejemplo, en 1999, Patricia Colunga, del CICY de Mérida, y sus colaboradores encontraron que las plantaciones de henequén en Yucatán constituyen básicamente un solo genotipo. Un par de años después, el grupo de June Simpson, del Cinvestav Irapuato, obtuvo el mismo resultado para las plantas de tequila, que aunque ahora resulta lógico, inicialmente fue muy impactante: ¡*A. tequilana* es un solo genotipo, una sola gran clona! Esta nula variación genética, junto con el descuido y las pobres prácticas fitosanitarias en las plantaciones, generaron una gran mortandad en las plantaciones a finales de los años noventa debido a enfermedades producidas por diferentes organismos como bacterias (*Erwinia*), hongos (*Fusarium*) e insectos, principalmente escarabajos. En la actualidad, el problema se encuentra relativamente controlado, pero el potencial de que evolucionen patógenos y plagas perfectamente adaptados al único genotipo del tequila y destruyan completamente estas plantaciones monoclonales pesa como una gigantesca espada de Damocles sobre la industria del

tequila. A pesar de ello, la mayor parte de los esfuerzos de la industria en cuanto a investigación ha dejado de lado esta amenaza y ha continuado apostando a la biotecnología, haciendo caso omiso de las consideraciones ecológicas y evolutivas.

El caso del mezcal

Toda bebida destilada de un agave es considerada tradicional y técnicamente como un mezcal; así, tanto el tequila como el bacanora serían mezcales, mientras que el xotol, por ejemplo, ya no sería un mezcal pues es un derivado de plantas del género *Dasyliirion*, que pertenecen a otra familia de las monocotiledóneas, las nolináceas o convallariáceas, como se ha sugerido llamarlas en estudios más recientes, separadas por unos cincuenta millones de años de la familia Agavaceae.

En diferentes lugares y tiempos se ha utilizado una gran cantidad de especies de agave para la producción de mezcal. Un estudio reciente, llevado a cabo por “mezcales y diversidad”, una iniciativa que busca integrar y difundir información biológica, ecológica, geográfica y cultural sobre los mezcales como parte del Programa de recursos genéticos de la Conabio, indica que aún se utilizan alrededor de veinte especies diferentes de agaves para elaborar mezcales tradicionales a lo largo y ancho del país.

Cuando se habla de mezcal inmediatamente se piensa en Oaxaca, y hasta cierto punto es justo, pues allí en-



contramos la mayor diversidad de especies mezcaleras y es donde se ha mantenido con más vida la tradición de elaborar mezcal. En su mayoría, el mezcal oaxaqueño es producido a partir del maguey espadín (variedades de *A. angustifolia*), pero hay otro mezcal oaxaqueño, que es una joya, y se hace a partir de las poblaciones silvestres de maguey tobalá (*A. potatorum* Zucc.). También merecen una mención los mezcales que se elaboran puros o mezclados con *A. karwinskii* (tobasiche, cirial), *A. marmorata* (tepezate), *A. rhodacantha* (mexicano) y *A. americana* var. *oaxacensis* (arroqueño).

En el noroeste del país se utilizan otras variedades de *A. angustifolia* para elaborar el legendario bacanora, mientras en el occidente se usa *A. duranguensis* (cenizo), *A. maxmilianiana* (lechuguilla, tecolote) y *A. inaequidens* (lechuguilla) para laborar la raicilla y, obviamente, *A. tequilana* para el tequila. En la cuenca del Balsas se emplea *A. cupreata* (papalometl o papalote), en el altiplano Potosino-Zacatecano *A. salmiana* subsp. *crassispina* (cimarrón) y en el nores-te *A. americana* (americano) y *A. lophanta* (lechuguilla).

La historia de la fabricación del mezcal es apasionante y se remonta a miles de años y a la llegada de los españoles a Mesoamérica. Hace nueve mil años, aproximadamente, los pueblos nómadas del desierto empezaron a consumir los tallos cocidos de los magueyes, que son ricos en azúcar y proteínas, un alimento común en esos tiempos, y que después recibió el nombre nahua de *mexcalli*, de *metl*, maguey e *ixca*, hornear. Se ha sugerido que las embarcaciones provenientes de Manila trajeron consigo no solamente seda, especias y esclavos, sino la destilación de origen asiático documentada por primera vez en 1619 en Nueva Galicia. Así, el *mexcalli* prehispánico comenzó a ser sujeto de destilación en la Nueva España, formando parte de las “mercedes” que los indígenas ofrecían a militares y pobladores españoles. No obstante, debido a la fuerte competencia que se dio entre el “vino mezcal” y los licores de uva del viejo continente, se prohibió su producción durante un siglo, y posteriormente se autorizó solamente un permiso a José María Guadalupe Cuervo para producir “vino mezcal de Tequila” mientras que otros mezcales permanecieron clandestinos por siglos. Actualmente han desaparecido muchos de éstos mezcales, pero el creciente interés en su consumo ha llevado a la creación de programas de estudio interdisciplinario.

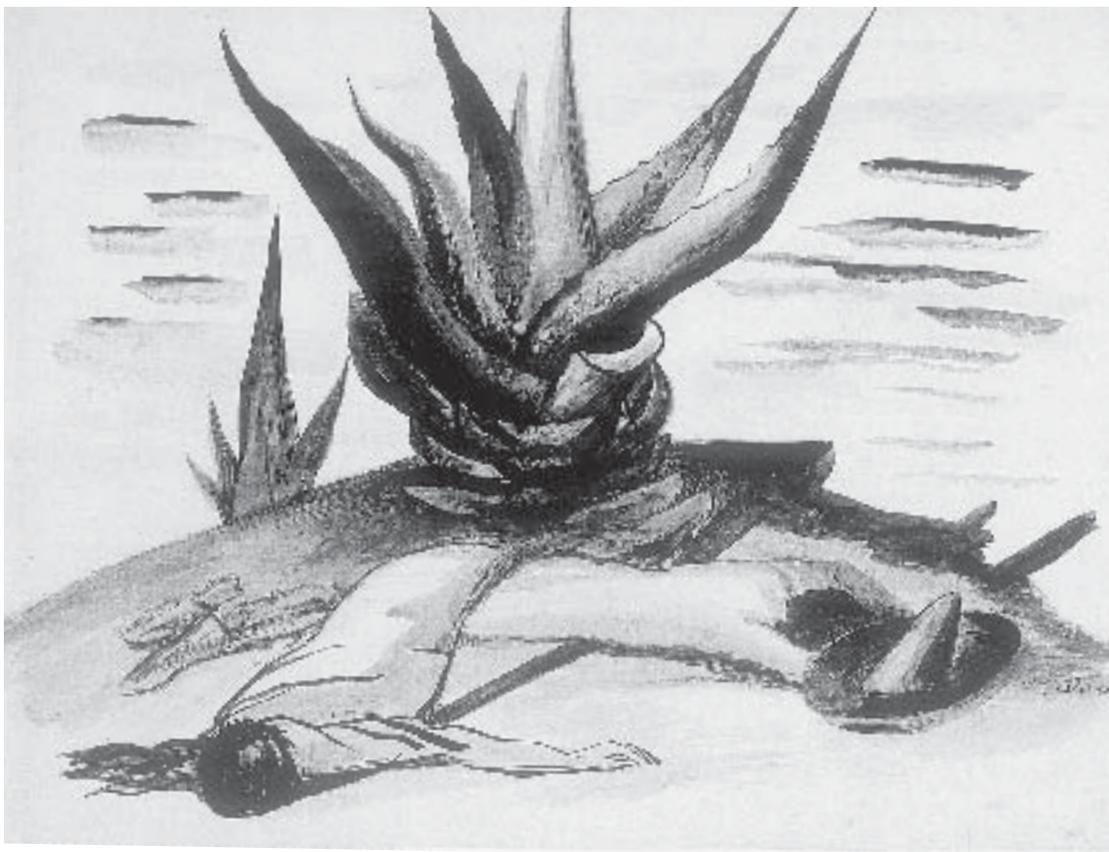
Tanto para el mezcal como para el tequila, las plantas que se utilizan para obtener el destilado son aquellas que ya se encuentran en estado adulto y que han comenzado a



producir su inflorescencia (o están a punto de iniciar la formación de la misma), la cual se corta antes de que siga creciendo. La planta permanece en su sitio por algunos meses permitiendo así que se acumulen azúcares y agua, recursos que de otra manera estarían destinados a la producción de néctar y flores. Posteriormente se le cortan las hojas o pencas, y se deja sólo el corazón del agave, que se asemeja a una piña. Estas piñas se hornean —en autoclaves en el caso de tequila, en hornos en el suelo tipo barbacoa en el caso del mezcal—, se fermenta su jugo y posteriormente se destila. En el caso del tequila, estos procesos se encuentran estandarizados e industrializados, lo cual confiere las mismas propiedades y calidad al producto. Por el contrario, en el mezcal estos procesos son meramente artesanales, por lo que tanto el sabor, el aroma, la gradación alcohólica y la calidad dependen de la región y del maestro mezcalero. De aquí la gran diversidad de mezcales y el hecho de que el mezcal constituya una tradición arraigada y exquisita con un gran valor cultural que se ha ido pasando de generación en generación a lo largo de cientos de años.

Recursos genéticos y mezcales tradicionales

¿Qué sucede a nivel genético en las especies de *Agave* utilizadas en la producción de mezcal? En particular queremos mencionar aquí un ejemplo sobre la región de Chilapa,



ubicada al este de Chilpancingo, en el estado de Guerrero, en donde, desde hace mucho tiempo, se produce un mezcal muy apreciado localmente a partir de poblaciones silvestres, no cultivadas, del maguey llamado papalometl o mezcal papalote o mariposa (*A. cupreata*). Este agave es una planta bonita, con pencas que se hacen anchas en la parte central, por lo que recuerda vagamente una mariposa. Las pencas están fuertemente armadas con dientes y una gran espina terminal.

Los habitantes de la región, preocupados por la clara desaparición de las poblaciones silvestres de este agave, formaron, con la asesoría de GEA, una ONG que lleva varios años trabajando en esa zona, la cooperativa Sanzekan Tinemi de productores de mezcal de la región de Chilapa, e iniciaron un proyecto de viveros forestales, en el cual se recogen semillas de algunos individuos de *A. cupreata*, a los que se les permitió florecer y producir frutos. Los viveros se encuentran en diferentes altitudes y valles, cubriendo los diferentes paisajes naturales en los que crece la especie. Cuando las plantas alcanzan una talla que se considera razonable para que sobrevivan en el campo, son reintroducidas en los paisajes naturales o cultivados tradicionalmente

con el sistema de milpa. De esta manera se mantiene no sólo los paisajes, sino también la diversidad de especies naturales y cultivadas y sus recursos genéticos. No obstante, existía la preocupación de que, por el manejo y la colecta de pocas plantas madre para fundar los viveros, se estuviera perdiendo una gran parte de la variación genética.

Por ello, recientemente, con el apoyo de la Conabio, analizamos la variación genética de cuatro viveros y dos poblaciones silvestres cercanas por medio de ISSR (Inter Simple Sequence Repeats, un tipo de marcador basado en la PCR). Para nuestro alivio encontramos que estos viveros forestales tienen muy bien representada la variación genética de la especie en la región. En general, las poblaciones en los viveros se parecen mucho a las poblaciones silvestres contiguas. Asimismo, encontramos que algunos presentan ligeramente mayor variación, lo cual se deba tal vez al intercambio de semillas con regiones contiguas. En otros casos encontramos niveles ligeramente menores de variación, debido probablemente a que se utilizaron relativamente pocas madres para hacer el vivero.

Además encontramos que en promedio, de cada cien individuos, alrededor de treinta son heterocigos en un gen

dado, o que cada individuo es heterocigo en aproximadamente 30% de sus genes. Estos niveles de variación genética son muy altos, varias veces mayores a los que encontramos en las poblaciones humanas o de vertebrados en general, y comparables a los de las especies de plantas que presentan los mayores niveles de variación genética. Sin embargo, aunque los viveros mantienen la variación genética de *A. cupreata*, esto no garantiza la supervivencia de la especie. Es posible que muchas de las plantas no sobrevivan al ser transplantadas al campo, y que, si no hay apoyo o interés a largo plazo, se pierdan estos viveros y plantaciones; y si el precio del mezcal sigue subiendo, la tentación de coleccionar todos los individuos reproductivos aumentará.

Otra de nuestras preocupaciones es que existen varios proyectos impulsados por diferentes fundaciones y universidades para implementar métodos de cultivo de tejidos e iniciar plantaciones clonales de las especies, así como para desarrollar en estas localidades el mismo modelo agroindustrial seguido en el caso del tequila en Jalisco y en el del mezcal espadín en Oaxaca. Con estas prácticas se elimina toda la diversidad de especies, se modifica el paisaje y se alteran los procesos naturales, además de que se pierde no solo las otras especies sino también los recursos genéticos, y se genera de esta manera las condiciones que hacen posible que se repita la maldición que pesa sobre el tequila. 🌵



Luis E. Eguiarte Fruns y Andrea González
 Instituto de Ecología,
 Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre X., C. Illsley y J. Larson. 2006. "Dulce semblanza de los mezcales del Altiplano y del Balsas", en *México Desconocido*, núm. 352, pp. 36-45 (buena y clara introducción al mezcal y los agaves, donde se discuten los proyectos de la Conabio y del mezcal en la Chilapa).
 Eguiarte, L. E. 1999. "Una guía para principiantes a la genética de poblaciones", en *La Evolución Biológica*, Nuñez-Farfán J. y L. E. Eguiarte (eds.). Facultad

de Ciencias, Instituto de Ecología, UNAM/Conabio, pp. 35-50.
 — y D. Piñero. 1999. "Genética de la conservación: leones vemos, genes no sabemos", en *idem*. pp. 371-398 (sencilla introducción a la genética de la conservación).
 —, A. Silva y V. Souza. 2000. "Biología evolutiva de la familia Agavaceae: biología reproductiva, genética de poblaciones y filogenia", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, núm. 166, pp. 131-150 (una revisión de nuestros conocimientos de la familia del *Agave*, incluyendo estimaciones de variación genética"
 García Mendoza, A. 1998. *Con sabor a maguey*. Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM (práctica

guía ilustrada al género y familia del *Agave*, con comentarios sobre sus usos y biología).
 Larson, J. (coord.). 2007. *Agave: Mezcales y diversidad*. Conabio. México (mapa donde se resumen los avances de la Conabio proyecto sobre los mezcales).

IMÁGENES

P. 28: Edward Weston, *Maguey*, Cactus, 1926; Mayahuel, Códice Laud 9. J. C. Orozco; p. 29: *Tres mujeres*, 1925; p. 30: *Paisaje de picos, fragmento*, 1948; p. 31: *Maguey, ca.* 1929; p. 32: *Bajo el maguey*, 1913-1917; p. 34: *El maguey, ca.* 1932. P. 30: Pablo O'Higgins, *Campesina de Toluca*, 1943. P. 33: Guillermo Meza, *Las tres caídas*, 1952. P. 35: Alfredo Zalce, *Henequén de Yucatán*, s.f.

Palabras clave: variación genética, genética de poblaciones, genética de la conservación, *Agave*, propagación clonal.
Key words: Genetic variation, population genetics, conservation genetics, *Agave*, clonal propagation.

Resumen: Analizamos nuestros estudios sobre la variación y genética de poblaciones de agaves productores de tequila y mezcal, con el fin de aportar datos y estrategias para la conservación de los recursos genéticos de estas especies de gran importancia económica.

Abstract: We describe our studies on the variation and population genetics studies carried out in tequila and mezcal agave populations in order to obtain data and strategies to the conservation of the genetics resources of these economic important species.

Luis E. Eguiarte es investigador del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional autónoma de México (UNAM), donde dirige el Laboratorio de Evolución Molecular e imparte cursos de genética de poblaciones, evolución y ecología. Su interés es entender la evolución de las plantas, animales y bacterias de México mediante la utilización de métodos genéticos y ecológicos.

Andrea González González es estudiante de doctorado del posgrado de Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional autónoma de México (UNAM). El tema de su tesis de licenciatura fue la biología reproductiva y genética de poblaciones de un agave, y actualmente estudia aspectos de la ecología evolutiva de *Escherichia coli* en México como parte de su tesis de doctorado.