



Avances en Investigación Agropecuaria
ISSN: 0188-7890
revaia@ucol.mx
Universidad de Colima
México

Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático

Quero Carrillo, Adrián Raymundo; Miranda Jiménez, Leonor; Villanueva-Ávalos, José Francisco

Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático

Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 21, núm. 3, 2017

Universidad de Colima, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83757423005>

AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, volumen 21, número 3, octubre 2018 es una Publicación cuatrimestral editada por la Universidad de Colima, Av. Universidad # 333, Col. Las Víboras, Colima, Colima, México. CP 28045. Teléfono: (312) 3161000. Ext. 40011, www.ucol.mx/revaia, revaia@ucol.mx, aiagropecuarias@yahoo.com.mx. Director responsable José Manuel Palma García. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2016-112411015200-203, ISSN digital "2683-1716", ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización, MC. Rosa Alejandra del Viento Camacho e Ing. Manuel Gutiérrez Gómez, Av. Universidad # 333, Col. Las Víboras, Colima, Colima, México. C.P. 28045. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático

Grass genetic resources for grazed rangelands. Condition and pressing needs for its conservation facing climate change

Adrián Raymundo Quero Carrillo
Colegio de Postgraduados Campus Montecillo-Ganadería,
México

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83757423005>

Leonor Miranda Jiménez
Colegio de Postgraduados Campus Montecillo-Ganadería,
México

José Francisco Villanueva-Avalos
Colegio de Postgraduados Campus Montecillo-Ganadería,
México
villanueva.francisco@inifap.gob.mx

Recepción: 20 Julio 2017
Aprobación: 01 Diciembre 2017

RESUMEN:

México es un país con amplia dependencia de diversidad genética intraespecífica para especies forrajeras tropicales (Poaceae), las cuales son altamente productivas para forraje y productos pecuarios en pastoreo. Las consecuencias de poseer una baja base genética en la diversidad de estos ecosistemas han sido reconocidas en diversas partes del mundo: el ejemplo más claro es el ataque de mosca pinta en Brasil, que arrasó con el forraje disponible de *Brachiaria decumbens* por dos meses, en una superficie de praderas equivalente al estado de Coahuila en México. Contrariamente a las zonas tropicales, México es rico en diversidad de especies, y en amplias relaciones alélicas diversas intraespecíficas en especies evolucionadas a condiciones de los desiertos y semidesiertos norteamericanos; las cuales, hasta la fecha se mantienen prácticamente inexploradas. Las especies introducidas abaten junto con el sobrepastoreo la riqueza genética de estas especies; sin embargo, las especies introducidas protegen rápidamente el suelo a este alto costo, por lo que su uso está en amplio debate; no obstante, la alternativa de rápido avance de la desertificación resulta peor. Se debe recolectar sistemáticamente la riqueza genética de amplia diversidad de especies para escudriñarlas sistemáticamente e identificar combinaciones alélicas que respondan a demandas futuras ante el cambio climático y relaciones sociales de producción en pastoreo en México.

PALABRAS CLAVE: Poaceae, relaciones alélicas, pastizales, evaluación de forrajeras.

ABSTRACT:

Mexico is a country with a large dependence on intraspecific genetic diversity for tropical forage species (Poaceae), which are highly productive for forage and grazing livestock products. The consequences of having a low genetic base in the diversity of these ecosystems have been recognized in different parts of the world: the clearest example of this is the spittlebug attack in Brazil, that wiped out the available forage in *Brachiaria decumbens* for two months, on a surface of grasslands equivalent to the state of Coahuila in Mexico. Contrary to the tropical zones, México is rich in diversity of species, and wide diverse intraspecific allelic relationship in evolved species to conditions of the North American deserts and semideserts; which, to date they remain practically unexplored. Introduced species, along with overgrazing, reduce the genetic richness of these species; however, the introduced species quickly protect the soil at this high cost, so its use is in wide debate; none the less, the alternative of rapid avance of desertification is worse. The genetic richness must be systematically collected of a wide diversity of species for systematic scrutiny and identify allelic combinations that respond to future demands in the face of climate change and social relation of grazing production in Mexico.

KEYWORDS: Poaceae, allelic relations, grassland, forage species evaluation.

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas comprenden más de la mitad del territorio mexicano, se encuentran en condición ecológica y productiva precaria, en continuo deterioro (creciendo por el avance de la desertificación) e incluyen grandes superficies bajo pastoreo en condiciones de diversos tipos de pastizales de temporal. Gran cantidad de especies (vegetales, animales y microorganismos) poseen su centro de origen genético en estas regiones. En el caso de gramíneas para pastoreo de zonas áridas, México ha sido refugio cíclico de éstas en el subcontinente norteamericano, donde los avances/retrocesos cíclicos de los hielos glaciales resultaron en que nuestro país se constituyera en refugio de especies valiosas de gramíneas adaptadas a condiciones prevalecientes en el semidesierto; ésto, durante millones de años. Existe un género de Poaceae que puede considerarse mexicano: *Bouteloua*, el cual posee cerca de 60 especies con amplia variabilidad genética intraespecífica (Peterson *et al.*, 2015), distribuida de forma exclusiva en México semiárido y adecuado para su aprovechamiento.

Actualmente, varios factores determinan la condición precaria de las gramíneas nativas de México semiárido (Quero-Carrillo *et al.*, 2012): 1) sobrepastoreo consuetudinario; 2) tenencia de la tierra, donde cinco tipos diferentes (privado, colonial, ejidal, comunal y federal) aniquilan en grado diverso el desarrollo y consolidación de abundantes mentes brillantes y tenacidad, entre los usufructuarios, hacia la conservación y mejora del pastizal y complican las actividades culturales para el enaltecimiento y conservación del pastizal (Quero *et al.*, 2007; Quero, 2013); 3) malas relaciones sociales de producción entre usuarios de áreas comunes, la mejor expresión de tragedia de los comunes de Hardin; 4) baja tecnología, aun en productores privados, los cuales, en general, no dependen directamente de la eficiencia de hato o del rancho; 5) escasa atención científica innovadora, intelectos e inversiones van a otros rubros; 6) baja inversión en alta tecnología, en México, se invierte en temáticas industriales o urbanas y se considera poco innovador atender con tecnología de punta a la productividad en pastizales de temporal; 7) baja apropiación social del recurso (los usufructuarios no se perciben como dueños del recurso biótico común), los usufructuarios no lo defienden o promueven de los miembros abusivos de su comunidad (Quero-Carrillo *et al.*, 2012; Quero-Carrillo, en prensa), entre los principales.

El sobrepastoreo consuetudinario, al que están sometidas amplias superficies del pastizal semiárido en México, es un factor que ha afectado a la vegetación en el mundo; no somos diferentes a sociedades de mayor o menor desarrollo económico y sus efectos incluyen reducción de factores como: densidad de especies deseables, baja cobertura vegetal aérea y basal, baja productividad primaria del ecosistema (Huntly, 1991), cambios en la composición botánica e incremento en la proporción de suelo desnudo (del Castillo, 2000); lo anterior, tiene serios efectos sobre la funcionalidad del pastizal y de los servicios que proporciona a la sociedad.

Es ampliamente reconocido que el mal manejo del pastoreo en México ha tenido consecuencias sobre las áreas donde los pastos fueron el componente más importante de amplias superficies, principalmente después de la consolidación del reparto agrario (1940) y la integración del alambre de púas (SEDUE, 1985; socialización de la tierra y de la delimitación efectiva del pastoreo). Posterior a esta etapa, los tipos vegetativos de los pastizales mexicanos han sido paulatinamente afectados, reduciendo seriamente los servicios y funcionalidad del pastizal, como consecuencia del incremento inicial de poblaciones de ganado doméstico: burros, cabras, ovinos, bovinos y caballos (Riojas-López y Mellink, 2005); y posteriormente, de sobrecarga constante de ganado. El sobrepastoreo dio lugar a la invasión de arbustivas espinosas, inicialmente, y a la elevada mortandad de especies vegetales perennes deseables, trayendo como consecuencia erosión física y genética (entendida como la pérdida de relaciones alélicas, frecuencia de alelos y riqueza de la frecuencia de alelos en poblaciones con tamaño reducido).

La ganadería puede ser compatible con un pastizal en buena condición, lo que se puede lograr mediante reorientación de programas (apoyos oficiales vinculados a la condición del ecosistema), acciones participativas (todos a recuperar y proteger), metodologías alternativas de pastoreo y empoderamiento de

los copropietarios para defender y enaltecer sus recursos (Quero, 2015; Quero-Carrillo, en prensa); lo cual, representa un reto intelectual para los profesionales del área: desarrollar los esquemas para lograr la óptima producción económica en pastoreo combinada con la mejor estabilidad ecológica de este sistema bajo pastoreo.

La aptitud natural del ecosistema de pastizal es la producción en pastoreo de rumiantes domésticos o silvestres. Estos sistemas de pastoreo son, cuando bien manejados, enaltecedores de los componentes del pastizal y sostienen a la población mundial más rezagada económicamente, por lo que se vienen proponiendo a nivel mundial que la Organización de las Naciones Unidas declare 2021 como el año mundial de los pastizales y el pastoreo (Cancún Statement, 2016); por tanto, en México tendremos ganadería extensiva en las áreas marginales de todo el país por largo tiempo y es recomendable elevar la estabilidad ecológica (y económica) de los ecosistemas bajo pastoreo, principalmente en regiones donde el avance de la desertificación es una amenaza constante: las zonas áridas y semiáridas; la cuales, son de extrema importancia adicional, por diversas razones:

1) Contienen a la población con menores oportunidades de generación de riqueza renovable; lo anterior, en contraste a zonas tropicales (secas o húmedas; con potencial para producir frutales, cultivos básicos, entre otros, aun con sequías de siete a ocho meses), lo que resulta en menor diversidad de ingresos y bajas oportunidades de desarrollo integral para la familia rural.

2) Geográficamente, ésta es la región de mayor impacto social (para la inversión económica e intelectual asertiva), prácticamente comprende la mitad del territorio nacional.

3) Los sistemas de pastoreo extensivo predominantes en regiones áridas y semiáridas son los denominados vaca-becerro y éstos se encuentran alejados del límite biológico de producción (baja eficiencia de hato y de productividad primaria) y, por tanto,

4) ofrecen la mejor oportunidad y la de mayor impacto para la productividad nacional de riqueza renovable, con la menor inversión económica y la mayor inversión intelectual; la cual, sigue siendo de bajo costo.

Cambio climático

Durante el mes de octubre de 2016 se publicó que el mundo sobrepasó la concentración anual (durante 12 meses) de 400 ppm de CO₂ en la atmósfera (WMO, 2016); aunque previamente existieron reportes de rebases mensuales de este nivel. Se ha reportado que el nivel seguro de CO₂ en la atmósfera es su mantenimiento por debajo de 350 ppm (400PPM, 2016). El problema de la elevación de la temperatura por incrementos de CO₂ tiene varios frentes: elevación del nivel del mar, tormentas y sequías extremas y fuera de época, movimiento geográfico de las temperaturas medias y extremas en el planeta, desplazamiento de plagas y enfermedades, entre otros aspectos.

Lo anterior, afecta de forma directa e indirecta a la ganadería. De forma indirecta debido a que plagas y enfermedades del ganado comenzarán a desplazarse; similarmente, se desplazarán especies vegetales exóticas que afectarán la productividad primaria, la calidad del forraje producido y su disponibilidad en el año. De forma directa, el ganado y ganadero tendrán que aplicar energía (en alimento o infraestructura) para alcanzar niveles de bienestar por la presencia de temperaturas fuera del rango idóneo por mayor tiempo (dentro de un día, mes o año y para cada estación del año), en mayor intensidad (en áreas que ya se encuentran fuera de la temperatura de bienestar para el ganado) y en áreas geográficas mayores.

El sector ganadero mundial contribuye con una parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como resultado de la producción (figura 1); sin embargo, contrario a la industria y el transporte, el CO₂ utilizado en la ganadería no proviene del secuestro hace miles de años, es el que se recicla de la atmósfera por la producción de forraje y, en el caso de la ganadería extensiva, no se usan agroquímicos o fertilizantes; por tanto, la ganadería extensiva no es una actividad que impacte sobre la concentración de CO₂ y metano atmosférico. Muchas de éstas, como la fermentación entérica (figura 1), solamente sustituyen emisiones de grandes poblaciones extintas de rumiantes silvestres (antílope, bisonte, berrendo, entre las

de mayor importancia); contrariamente, la elevada concentración de CH_4 de estiércoles provenientes de sistemas intensivos requiere tecnología y manejos adecuados. La ganadería de sistemas vaca-becerro, hace uso de CO_2 que ya se encuentra en la atmósfera y libera mucho menores cantidades de CO_2 secuestrado en el suelo (en comparación a otras actividades humanas como la industria y la agricultura).

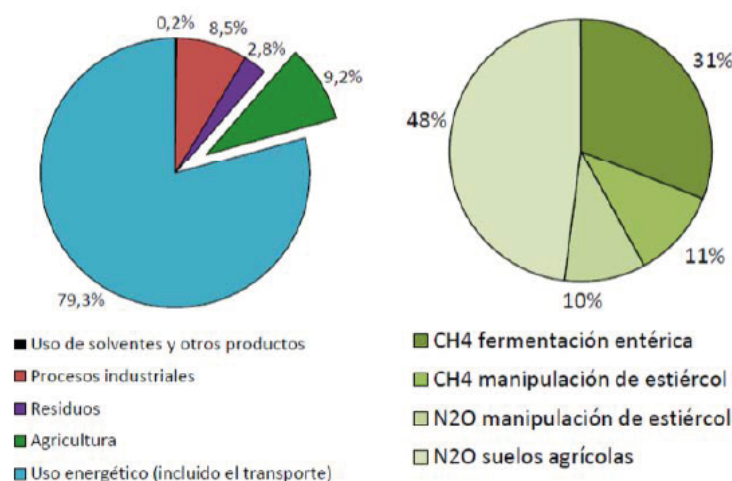


FIGURA 1
Aporte de la ganadería en GEI que resultan de procesos biológicos inherentes, muchas de las cuales son inevitables.

GEI: gases de efecto invernadero.
Fuente: www.Copa-Cogeca.eu (2009).

El conocimiento detallado de la magnitud, fuentes y rutas de las emisiones de los GEI es imprescindible para enaltecer el diálogo político, evitando posiciones maniqueas y apoyar la toma de decisiones de forma asertiva (en oportunidad y certidumbre) en la conformación de políticas ganaderas; lo anterior, es importante, debido a que el metano proviene de fermentación entérica y estiércol y, a partir de la fertilización de pasturas, produce óxido nitroso (21 y 310 veces más dañinas a la atmósfera, respecto al CO_2). La ganadería contribuye con 14.2% de los GEI equivalentes a CO_2 .

Al cortar o pastorear un forraje se integran al sistema minerales y materia orgánica que son básicos para la actividad biótica del suelo a través de las raíces y nutrientes que contienen éstas: carbono y nitrógeno, además de otros elementos. Un principio elemental en forrajes es que al momento de defoliar éste, se mueren (e integran al suelo) una cantidad similar de raíces; por tanto, a través de un pastoreo eficiente, la ganadería puede colaborar de manera importante con los esfuerzos de mitigación necesarios. Lo anterior, mediante la conservación de la mejor cobertura basal y productividad primaria óptima del pastizal.

El problema es que con el sobrepastoreo continuo se agobia de tal forma a la planta que se deprime la capacidad de resiliencia hacia ambientes adversos (O'Connor, 1991); principalmente, de especies deseables productivas, resultando en la acción exponencial promovida por especies invasoras, arbustivas espinosas, especies de baja apetencia para el ganado, exposición de la semilla disponible a depredadores o a eventos adversos normales del semidesierto y resultando en elevados porcentajes de mortandad de plantas, suelo desnudo y desertificación. Las especies de pastos con baja producción y capacidad de dispersión de semilla resultan las más predispuestas a la extinción; un ejemplo claro de esto puede ser *Tripsacum dactyloides* L., especie altamente apetecida por el ganado y que solamente se encuentra en poblaciones pequeñas muy dispersas en el desierto chihuahuense. Lo anterior, expone al sistema a la reducción de relaciones alélicas (intraespecíficas) valiosas y plenamente adaptadas a ciclos de sequía y bajas temperaturas que condicionan la productividad primaria y la estabilidad ecológica del semidesierto.

Recursos genéticos

Los recursos forrajeros en el mundo y en México adolecen de esquemas de utilización adecuados, ya que los que se han utilizado a la fecha resultan poco representativos de la diversidad natural y su utilización no ocurre bajo esquemas de evaluación y utilización sistemática. Contrariamente en la selección de cultivos para la producción de grano, el rendimiento de grano es de menor importancia respecto a aquel de materia seca en especies forrajeras. Por otra parte, debido al sobrepastoreo consuetudinario en gramíneas para pastoreo extensivo, se pierde la riqueza, frecuencia y relaciones alélicas de gramíneas mexicanas nativas (del centro de origen genético de estas especies *i.e.* no existe esta riqueza alélica en otras partes del mundo), la mayoría aún inexploradas y generadas por la naturaleza durante millones de años de adaptación; las cuales, pueden resultar de alta estima cuando se someten a planes de selección para un uso antropocéntrico del pastizal, algunos aspectos inexplorados en la diversidad natural incluyen la variabilidad para resistencia a sequía, capacidad de asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno, capacidad de rebrote, capacidad de establecimiento, relación hoja:tallo, degradabilidad del forraje, por mencionar algunos; todos los cuales pueden tener un impacto contundente en sistemas productivos actuales, basados en pastoreo extensivo.

A nivel mundial, se han invertido y se invierten enormes recursos (económicos e intelectuales) en la investigación sobre cultivos básicos, muchos de cuyos resultados son fácilmente utilizables en gramíneas forrajeras. En la ciencia del pastoreo en México, nos encontramos muy elementales en el aprovechamiento de los agentes transformadores de la energía solar de bajo costo: vegetación (baja productividad primaria), ganado (bajos parámetros de hato), infraestructura (subutilizada), programas federales (no planeados hacia el enaltecimiento de la condición del pastizal), e incluso el intelecto de los recursos humanos implicados han sido escasamente dirigidos, en combinación con estrategias de aprovechamiento que conserven y promuevan la mejor condición del pastizal.

Los recursos genéticos nativos están al alcance de un buen programa de bajo costo para combinarse con un aprovechamiento asertivo (sistemático y con equipo sólido de investigación), utilizando mucha de la tecnología generada en ciencias vegetales para pastos productores de grano (cultivos básicos): centros de origen genético; organización de la diversidad morfológica, citológica, marcadores moleculares, fisiológica; transformación genética; cultivo de tejidos; fijación de nitrógeno; genética tradicional del mejoramiento; análisis de crecimiento vegetal (tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, entre otras); componentes del rendimiento; estructura de la pradera y respuesta al manejo, entre otros de gran importancia.

Aunque surgieron hace 65 millones de años, las poblaciones de gramíneas (Poaceae) se volvieron dominantes hace 16 millones de años (Asia, África y Sudamérica) y en Norteamérica hace 11 millones de años (Kellogg, 2001), y durante este tiempo han evolucionado enfrentando diversas presiones evolutivas: sequías, pastoreo, sobrepastoreo, bajas temperaturas invernales, diversidad de consumidores, dominancia alterna de diversos rumiantes con características diferenciales en: dentadura, hábito de pastoreo, pesuña, peso, fermentación ruminal o asimilación duodenal, densidad de individuos, entre otros aspectos; lo anterior, obligó a las gramíneas a desarrollar estrategias de evasión o resistencia a estas presiones de selección para persistir hasta nuestros días (Quero *et al.*, 2007).

Las gramíneas se adaptaron a partir de implementar diferentes estrategias de persistencia: desarrollo modular programado, aprovechamiento de la plasticidad genética (poliploidía) y la acción combinada de genes por incremento, combinación de frecuencias alélicas, ciclos de poliploidización (auto, parcial o total, alopoliploidía), tipos reproductivos diversos: cleistogamia, apogamia, apogametia, polinización abierta, androesterilidad, autoincompatibilidad. En forma similar, a través del desarrollo de atributos de sintenia (conservación de bloques de genes entre especies que se separan por suficiente distancia que no se ha demostrado segregación ligada *i.e.* la posesión de secuencias cromosómicas comunes) y diversos grados de colineridad del genoma (Gale y Devos, 1998; Bennetzen, 2000).

Lo anterior, ha permitido que se reforzara la idea original de Paterson *et al.* (1995), de que a través de estudios comparativos para caracterizar los genes que determinan las similitudes funcionales de los cultivos básicos, éstas puedan ser transferidas fácilmente a otras especies de gramíneas (pensemos en caída de semilla, perennidad, fijación de nitrógeno, etcétera, que pueden ser intercambiados entre miembros de la familia Poaceae); similarmente, se mejorará la información sobre los mecanismos evolutivos que han originado los atributos estructurales del genoma de los pastos. Las poblaciones de gramíneas están sujetas a cambios evolutivos en los que subyacen cambios genéticos, los que a su vez están influidos por factores como la selección natural, la deriva genética, el flujo genético, la mutación y la recombinación genética.

Para el aprovechamiento de los recursos genéticos, la ciencia de genética de poblaciones es un elemento esencial para entender la importancia de las relaciones alélicas en la persistencia de sistemas ecológicos que rinden un amplio servicio a la sociedad. Al principio se trataba de una disciplina altamente basada en análisis matemáticos; sin embargo, actualmente incluye aportaciones basadas en trabajos teóricos, prácticos y de campo. El tratamiento de datos informáticos, gracias a la teoría de la coalescencia hacia un ancestro común, ha permitido el avance de este campo a partir de los años ochenta.

La importancia de revalorar la utilización de recursos genéticos, nativos e introducidos, entre las especies forrajeras de mayor impacto en México, es señalada y, en conjunto con una tecnología de pastoreo adecuada, representan las alternativas viables a corto plazo y de bajo costo, para impulsar la industria de producción en pastoreo, respetando la condición del ecosistema e incluso mejorándola, hacia una capacidad máxima sostenida.

¿Por qué debemos conservar?

La expresión de atributos de resistencia y/o evasión de la defoliación por pastoreo puede reflejar en las especies forrajeras consumidas por el ganado en pastoreo, respuestas controladas genéticamente (seleccionables) y/o ser expresiones de la plasticidad del genoma de éstas (amplitud de respuesta a diferentes condiciones, de un mismo genotipo) y entre estos atributos pueden incluirse: tolerancia a sequía, mejor relación hoja:tallo, mayor número de tallos (variabilidad en la dinámica de producción y mortandad de tallos), hábito de crecimiento, cantidad y tamaño de hoja, desarrollo horizontal de hoja, menor asignación de carbono hacia la hoja, cambios en la asignación de nutrientes, incrementos en la tasa fotosintética y en la razón hoja:vaina, entre otros atributos escasamente explorados en especies silvestres (Jaramillo y Detling, 1988; Carmen y Briske, 1985; Briske y Richards, 1994; Briske, 1996; Smith, 1998).

Como un centro de origen importante de recursos genéticos de especies de Poaceae para zonas áridas y semiáridas, México tiene la oportunidad de desarrollo tecnológico para incrementar la resiliencia social de estos ecosistemas para el mundo. Un ejemplo: como el género de mayor cobertura en México: *Bouteloua* spp. (Peterson *et al.*, 2015) y otras especies de diversos géneros (McVaugh, 1983), los efectos del sobrepastoreo constante sobre estas regiones afecta seriamente la riqueza genética (riqueza de relaciones alélicas) de las poblaciones nativas de gramíneas de las especies de este género y otras especies; la cual no ha sido muestreada, explorada y valorada; sin embargo, puede ser resguardada y evaluada sistemáticamente, conforme se integren recursos económicos e intelectuales, dado que éstas contiene las relaciones alélicas con las que podemos enfrentar los nuevos desafíos a resolver:

- Generales: servicios del pastizal, cosecha de agua, conservación y mejoramiento de suelos, hábitat de poblaciones silvestres (flora y fauna), paisajismo, bienestar, cosecha de suelo en movimiento, formación de suelo, entre otros que benefician a la sociedad en general.
- Sociales: menor pobreza económica y ecológica, mayores oportunidades de desarrollo de la familia rural, turismo ecológico, entre otros.
- Agronómicos: agresividad de establecimiento (necesaria para establecer praderas en condiciones desafiantes del semidesierto), protección de la erosión, resistencia a sequía, fijación de nitrógeno, resistencia a bajas temperaturas, atributos del forraje (producción, calidad, morfología forrajera, relación hoja:tallo, capacidad de rebrote, etcétera), entre los más importantes

Los sistemas de temporal en México son importantes para la productividad primaria por la magnitud del territorio nacional que depende de las lluvias de verano, donde es difícil y costoso atender con infraestructura de riego, para la productividad primaria. Hasta 2013, el año de marcada caída en la producción de maíz fue 2011; lo anterior, debido a una helada tardía que afectó al estado de Sinaloa. Durante este año, los pequeños y medianos productores de temporal produjeron 56% de los 17.6 millones de toneladas producidas nacionalmente y son estos productores los que pueden duplicar o triplicar su productividad mediante investigación sobre resistencia a sequía (Hobbs y Curiel, 2013). *i.e.* la sequía es el principal factor que afecta la productividad primaria en México. Los pastos de zonas semiáridas están plenamente adaptados a la sequía y ofrecen relaciones alélicas que pueden responder a otras necesidades antropocéntricas de producción e incremento de la resistencia a este factor.

La conservación de comunidades naturales es importante para la funcionalidad biológica y resiliencia de los ecosistemas ante la presión de utilización que sufren éstos por la rentabilidad económica a la que deben responder actualmente. Lo anterior, se puede lograr a través del estudio sistemático de las comunidades naturales nativas y las gramíneas (Poaceae), son una familia destacada por su diversidad y condición avanzada del conocimiento sobre su taxonomía, que sienta las bases para comparaciones precisas entre fenotipos e identificar genes que controlan la variación la diversidad presente y, además, ésta puede ser descrita nuevamente a nivel genético y del desarrollo. Por tanto, los pastos proveen un ejemplo del poder de la biología del siglo XXI para su manejo y aprovechamiento (Kellogg, 2006).

En México, se pierde a pasos agigantados la diversidad de alelos disponibles en especies valiosas de gramíneas, debido al fraccionamiento y reducción de hábitats por las presiones de uso sobre componentes importantes del ecosistema: agua, pastoreo, sobrepoblación humana, caza, cambio de uso de suelo, etcétera; lo anterior es importante en el caso de gramíneas de zonas áridas, debido al hecho de que México es reconocido por su valor como centro de origen genético de muchas especies de gramíneas norteamericanas de los desiertos sonorenses y chihuahuenses.

Esta pérdida de recursos genéticos, entendida como la pérdida de relaciones alélicas (genes y formas diferentes de un gen –alelos, además de sus combinaciones y frecuencias) en individuos ampliamente adaptados a las condiciones climáticas y con amplia variabilidad potencial para condiciones que demanda el uso antropocéntrico de los ecosistemas, no evaluados sistemáticamente hasta la fecha, tales como la producción de materia seca, calidad de forraje, facilidad de establecimiento, velocidad de rebrote, resistencia a sequía, resistencia a bajas temperaturas y aquellos condicionados por el cambio climático: temperaturas extremas, ciclos de sequía/inundación extremos, concentración de carbono en la atmósfera, entre otros. Esta pérdida de recursos genéticos ocurre en muchos casos, sin que se haya valorado cuales combinaciones alélicas valiosas contienen, no solamente en Poaceae y pueden determinar su potencial productivo y/o fortalecer la resiliencia de los ecosistemas bajo presión antropocéntrica (Quero, 2015).

Gramíneas y pastoreo

Los pastos por sus atributos de crecimiento modular, que los hace resistentes a un pastoreo racional, son y serán por mucho tiempo, la base de la ganadería extensiva de sistemas vaca-becerro. Sin embargo, otras especies arbustivas y arbóreas se deben integrar al sistema en áreas cerriles y para pastoreo invernal; lo anterior, es indicativo de que se requiere de combinar conocimientos agronómicos y de ganadería para alcanzar el potencial productivo del pastizal (límite biológico del sistema).

Un pastizal debe contener entre 50,000 y 60,000 macollos maduros de pastos deseables por hectárea (Quero-Carrillo *et al.*, 2014); en caso de contener menor densidad, la primera tarea para caminar hacia su óptimo productivo, es lograr en el tiempo más de 50,000 macollos maduros por hectárea y en buen vigor constante, posterior a lo cual se puede comenzar a hablar de sistemas de pastoreo, razas mejores, eficiencia de hato, introducción de arbustivas valiosas, entre otros aspectos. Primero, es lograr alta densidad y vigor de pastos deseables.

México se encuentra ante un amplio fenómeno de reducción drástica de la diversidad de sus poblaciones nativas de mamíferos, bacterianas, de hongos, etcétera, y los pastos no son la excepción. Los recursos genéticos disponibles, estudiados en forma sistemática serán la única herramienta sólida para enfrentar los cambios que la presión de utilización y el cambio climático provocan en los pastizales (Quero *et al.*, 2007; Quero-Carrillo *et al.*, 2012).

Vastas zonas de pastizales áridos y semiáridos sufren de erosión física y genética en México. Lo anterior, ante un sobrepastoreo consuetudinario en todos los tipos de tenencia de la tierra, dado que éste no se ajusta a los factores condicionantes de las épocas de bajo o nulo crecimiento de los pastos: sequía y bajas temperaturas invernales (épocas de baja/nula presión de pastoreo vs. épocas de mayor presión de pastoreo).

Naturalmente, el pastoreo se debe aplicar con mayor presión de uso durante el verano, cuando se conjuntan las condiciones adecuadas de crecimiento: alta temperatura y alta humedad; posteriormente, reducirse drásticamente, durante la época de sequía y bajas temperaturas (cuando los pastos reducen su crecimiento y/o entran en latencia). Lo anterior, requiere de un número altamente variable de ganado pastoreando para cada época, aspecto si bien de naturaleza práctica, de difícil aplicación en el terreno por parte de los ganaderos. Para ello se debe recurrir a estrategias como potreros de invierno y producción de forraje extra en áreas con mayor aptitud productiva en el rancho; siempre con la intención de descargar potreros hacia una menor presión de pastoreo, nunca para tener un ingreso extra diferente.

Incluso lo ideal sería eliminar totalmente el pastoreo durante la época difícil del año (invierno y primavera fría y seca), manteniendo un potrero pequeño para alimentar en pesebre al ganado, con el forraje producido en el verano en el mismo rancho (Quero-Carrillo, en prensa). Lo anterior, reeditaría en mayor densidad y vigor de pastos deseables como respuesta a la eliminación de la defoliación y pisoteo en épocas en que el pasto tiene nulo crecimiento. Esto es, se deben seguir esquemas similares a los de aquellos sitios de elevada latitud (Norte de US, Canadá, Europa y Norte de Asia) donde la nieve invernal condiciona al productor a construir establos para resguardar del frío al ganado y producir su forraje total anual, en el verano. En México no sería necesario construir establos para proteger de las bajas temperaturas al ganado, sería necesario un potrero pequeño con agua, sombra, alimento y minerales suficientes para mantener ganado productivo (ciclando, gestando, amamantando).

El sobrepastoreo reduce cíclicamente la densidad de pastos deseables perennes, las especies de mayor calidad y productividad, las cuales, son defoliadas con mayor frecuencia e intensidad por el ganado, lo que las hace menos resistentes a bajas temperaturas y sequías, reduciendo su densidad y vigor en el pastizal y afectando la productividad de éste. Estos ciclos son constantes y, a pesar de que el potrero se observa verde durante cada época de lluvias, especialmente cuando ocurren años de buenas precipitaciones, los potreros contienen gran abundancia de especies herbáceas, anuales o aún plantas indeseables. Lo anterior, provoca que los ganaderos no perciban el deterioro de su pastizal. El costo productivo y ecológico es alto dado que son las especies nativas perennes las que pueden soportar años difíciles (sequías o heladas intensas), los cuales, ocurrirán con mayor intensidad y frecuencia con los cambios que vienen ocurriendo como consecuencia del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera.

Gramíneas de zonas áridas

En el caso de las gramíneas en México, el sobrepastoreo consuetudinario y otras presiones de utilización: cambio de uso del suelo, urbanización, aprovechamiento de acuíferos (humedales, geológicos y superficiales) resulta en una acción combinada de fragmentación (pérdida de resiliencia de las especies) de hábitat y una disminución constante de la base genética de éstas para enfrentar la modificación de su entorno.

De hecho, el avance de la pérdida de recursos genéticos ha sido denominada como la sexta extinción en masa que ha sufrido la vida en el planeta y la primera generada como resultado de actividades humanas, indicando que las especies se extinguen a una tasa 100 veces mayor de lo que ocurriría sin la intervención humana (Braxton, 2016).

La erosión genética (pérdida de riqueza de relaciones alélicas) puede representar la pérdida de poblaciones completas, genéticamente diferenciadas de otras y, de forma silenciosa, de la frecuencia de alelos específicos en las poblaciones o la pérdida de combinaciones alélicas completas y desconocidas. Este fenómeno puede ocurrir en especies silvestres como respuesta a la reducción de las poblaciones que evolucionaron durante miles de años y/o en cultivos altamente especializados (maíz, trigo, etcétera), por uniformidad genética al enfrentar con pocas relaciones alélicas un estrés biótico o abiótico (Scarascia-Mugnozza y Perrino, 2002).

Usufructuarios y pastoreo

Cabe mencionar que la única fuente de riqueza renovable en zonas áridas y semiáridas es un pastizal ecológicamente funcional en sus componentes: suelo, flora, fauna, hidrología, ciclos biogeoquímicos, entre los de mayor importancia, bajo un esquema de uso antropocéntrico ordenado ante una economía global.

Los nativos americanos desarrollaron una cultura excelsa hacia cultivos diversos como maíz, calabaza, frijol, jitomate, nopal, tomate, chile y otros de importancia mundial; muchos de los cuales, aún se encuentran bajo una dinámica silente y activa en la conquista de paladares y cocinas de otras regiones y culturas. Ellos fueron ajenos al ganado doméstico y al uso intensivo del pastizal; por tanto, no se desarrollaron culturalmente hacia su aprovechamiento sustentable. Lo anterior, da muestra del impacto del desarrollo cultural hacia el recurso, en nuestro caso, los pastos en su relación con los rumiantes en pastoreo.

Algunos aspectos que han resultado en la condición actual de pastizales prístinos hasta hace 70 años, se indican a continuación.

1. Arribo y proliferación del ganado doméstico. El ganado doméstico fue ajeno a las culturas nativas; sin embargo, era común para las poblaciones europeas que fallaron en transmitir la cultura necesaria para el pastoreo sin deterioro de la condición del pastizal.

2. Cambio en el tipo de tenencia de la tierra, donde las decisiones de uso de los recursos del pastizal quedan en al menos el 50% del país, sin ruta definida, dado que los comunes no respetan reglas de uso y no poseen rutas de enaltecimiento del pastizal. Acceso masivo al pastizal sin capacitación sobre su conservación y uso y ausencia de reglas de pastoreo eficaces.

3. Reglamentación del pastoreo antigua y cada vez con mayor obsolescencia. Formuladas en 1917; cuando, por ejemplo, Chihuahua tenía 800 000 habitantes, actualmente tiene 4.5 millones de habitantes y no han cambiado estas reglas (ni ha ocurrido su promoción adecuada entre usufructuarios); por tanto, el pastizal adolece de rutas y acciones de enaltecimiento de su condición.

4. Arribo del alambre de púas después de 1930, lo que intensificó el pastoreo abusivo y dio lugar a la reducción del vigor y densidad de especies perennes valiosas para el pastoreo e invasión de arbustivas espinosas hacia el pastizal. Datos dendrológicos confirman la coincidencia de la invasión por arbustivas espinosas hacia el pastizal, con la socialización del alambre de púas.

5. Arribo a partir de 1950 de especies forrajeras africanas de alta invasividad, productividad y baja apetencia invernal. A pesar que su ingreso ocurrió desde la Colonia, las especies africanas se habían mantenido ajenas a los pastizales semidesérticos. Actualmente, en combinación con el sobrepastoreo diversas especies se encuentran dominando amplias superficies de pastizal: *Cenchrus ciliars*, *Echinochloa colona*, *Melinis repens*, *Chloris crinita*, *Eragrostis lehmaniana*, *Eragrostis curvula*, *Cynodon dactylon*, *Panicum coloratum*, entre las de mayor impacto. El problema es que de cada una de estas especies; las cuales, soportan mayor presión de pastoreo respecto a las nativas por diversos factores, es que arribaron con recursos genéticos altamente limitados, lo que expone a la ganadería nacional y al pastizal a diversas problemáticas.

Financiamiento irregular. Debido a que los comunes no son sujetos de crédito bancario, la autoridad debe financiar regularmente la producción agrícola o ganadera. Lo anterior, ha afectado el mercado de semillas de pastos forrajeros para producir éstas de forma rentable y, similarmente, el desarrollo de tecnología para establecer praderas con mayor certidumbre en ambientes desafiantes. Ésto, debido a que no existe certeza regular para financiamiento en el establecimiento de praderas, lo que resulta en la escasa consolidación de dicho mercado y tecnología. La semilla se produce en octubre, la ventanilla de financiamiento oficial se abre

en marzo, las siembras son en junio-julio. Al momento de abrir la ventanilla si trae el componente de praderas (que no ocurre todos los años), no se dispone de semilla nacional y se debe importar “de donde haya” y de “la calidad que se encuentre”.

6. Existe actualmente en México una compleja red de condiciones sociales, económicas, jurídicas, políticas, técnicas, educativas, entre las de mayor importancia, que inhiben el florecimiento cultural de los usufructuarios para el apropiamiento de los recursos bióticos y abióticos del pastizal, enaltecerlos con tecnología ampliamente disponible y alcanzar (o dirigirse consistentemente hacia) el uso eficiente de éstos, bajo un esquema de aprovechamiento sustentable.

Existe actualmente en México una compleja red de condiciones sociales, económicas, jurídicas, políticas, técnicas, educativas, entre las de mayor importancia, que inhiben el florecimiento cultural de los usufructuarios para el apropiamiento de los recursos bióticos y abióticos del pastizal, enaltecerlos con tecnología ampliamente disponible y alcanzar (o dirigirse consistentemente hacia) el uso eficiente de éstos, bajo un esquema de aprovechamiento sustentable.

Similarmente, la riqueza de recursos humanos entre los usufructuarios del pastizal es sobresaliente. Existe en México amplia diversidad y riqueza de gente innovadora (inteligente hacia su entorno) y tenaz (trabajadora); sin embargo, la consolidación de la innovación y el efecto de la tenacidad se ve inhibida por la compleja red de condiciones que no permiten (por estructura) expresar y multiplicar el potencial de las personas hacia la mejora biológica del entorno, especialmente cuando se requiere la participación grupal en beneficio del pastizal (ejidatarios, colonos o pequeños propietarios) y éste reduce su funcionalidad paulatinamente, a través de sus componentes bióticos y abióticos.

Es abundante la presencia de individuos inteligentes y trabajadores (innovadores y tenaces en el trabajo) entre nuestras comunidades; sin embargo, las condiciones de manejo y aprovechamiento de los recursos del pastizal requiere de grupos con estas características hacia un objetivo común; lo cual, es de baja frecuencia (como grupo), difícil para identificar y potencializarse hacia el enaltecimiento del pastizal. De esta manera se mantienen “encerrados” los individuos brillantes y se aniquilan ideas o actividades individuales para la conservación ecológica y mayor producción del pastizal común.

Cinco tipos de tenencia de la tierra en México complican el arribo y permanencia de amplia tecnología disponible para los productores. En el caso de los productores privados muchos de éstos no dependen de la eficiencia del pastizal para su sostenimiento y, en muchos casos, mantienen una relación tradicional con el pastizal, aunque tenemos algunos ganaderos sobresalientes que han mantenido la buena condición de sus predios.

Lo anterior, ha inhibido el desarrollo y consolidación de mentes brillantes y espíritus tesoneros enfocados a la conservación de la condición funcional del pastizal en combinación con eficiencia sobresaliente en parámetros productivos del hato.

Recursos genéticos de Poaceae. Sentados en el cofre del tesoro

La importancia de disponer de riqueza de especies y de alelos dentro de especie, para mantener la funcionalidad histórica de los pastizales en México es notoria únicamente para los técnicos especializados.

La sociedad civil, que celebra predominantemente el bienestar y los beneficios de la cultura urbana, se olvida que 83% del país es de temporal (excluyendo ciudades y zonas de buen potencial de producción agrícola) y que en estas regiones se mantienen la flora y faunas silvestres, se recargan mantos acuíferos, se atenúan/aceleran escorrentías, se desarrolló la cultura vaquera (música, comida, terminología, filosofía, entre otros valores), se mantienen poblaciones humanas fuente de mano de obra barata, se resguarda la diversidad natural y oportunidades de riqueza renovable estable, entre otros aspectos. En contraste con este marco referencial, los tomadores de decisiones no asignan recursos intelectuales y económicos hacia el desarrollo tecnología pertinente para estas regiones; lo anterior, en la misma proporción que para industria, turismo o comercio. La paradoja: la geografía de México seguirá siendo de temporal y la sequía será un enemigo

omnipresente a futuro, si seguimos sin invertir en tecnología innovadora y pertinente para enfrentar ésta, tendremos problemas cíclicos de escasez de alimento.

En la historia evolutiva de los pastizales norteamericanos, México es un centro de diversidad genética extremadamente importante para gramíneas (Poaceae), además de otras familias vegetales de zonas áridas y semiáridas. Durante millones de años, de forma cíclica, eras glaciales de duración diversa (en miles de años) avanzaban y retrocedían desde/hacia el polo norte; lo anterior, provocaba que los hielos eternos se consolidaran, como en la etapa más rigurosa de la última glaciación, hasta regiones del territorio actual del estado de Oklahoma en Estados Unidos. Esta dinámica provocó que las gramíneas (Poaceae) se ajustaran a estos ciclos, reculando hacia el sur huyendo de los hielos eternos e invadiendo cíclicamente las tierras liberadas por el retroceso de hielos y bajas temperaturas extremas, hacia el norte.

Esta dinámica climática condicionó que el territorio actual del México (los desiertos sonorenses y chihuahuenses, incluyendo la mixteca poblano-oaxaqueña) y extremo sur de los Estados Unidos se convirtiera en el reservorio natural de los recursos genéticos de gramíneas para todo el subcontinente norteamericano. En consecuencia, los recursos genéticos quedaron obligadamente circunscritos a esta región, en donde tuvieron oportunidad de diversificarse mediante la adopción de amplia diversidad de tipos reproductivos: sexuales, asexuales, compatibles, autoincompatibles, y otros procesos biológicos como poliploidización, ciclos poliplodización-dihaploidización-poliploidización, apomixis, cleistogamia, además de la natural promiscuidad en Poaceae para las cruces interespecíficas y en ocasiones intergenéricas y la diversidad de condiciones geográficas como consecuencia de las serranías y valles aislados que generaron aislamiento, endogamia, selección localizada, entre otros aspectos.

Como resultado, México es el país de Norteamérica donde persiste la mayor diversidad de géneros y especies de gramíneas forrajeras nativas adaptadas al pastoreo, condiciones de sequía y bajas temperaturas, bajo amplia diversidad fisiográfica (origen suelo, pH, estructura, altitud, precipitación, exposición al ambiente, salinidad, temperaturas extremas, etcétera) para prácticamente todo el subcontinente norteamericano. Estados Unidos y Canadá poseen, en comparación con México, amplia diversidad genética de pocas especies de gramíneas nativas.

Un ejemplo: el pasto banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., crece desde Canadá hasta Argentina y es en México donde se encuentra amplia diversidad de morfotipos y citotipos (niveles de ploidía y tipos reproductivos) de esta especie, lo que evidencia la mayor interacción genética de esta especie en México dado que esta riqueza no ocurre fuera de México. De hecho *Bouteloua*, es un género con cerca de 60 especies; muchas de las cuales, son endémicas de México. Piense usted en el potencial de *Bouteloua gracilis*, *B. chondrosioides*, *B. dactyloides*, *B. chasei*, *B. dimorpha*, *B. erecta*, *B. repens*, *B. radicata*, entre otras de gran importancia, donde México posee una riqueza natural prácticamente inexplorada.

Como consecuencia natural del sobrepastoreo, todas estas especies que sobrevivieron a fuertes presiones de selección incluyendo el pastoreo, se encuentran reduciendo de forma silenciosa y consistente su riqueza morfológica y combinación de alelos, resguardados en individuos dispersos en México, los cuales se pierden aún antes de ser recolectados, resguardados, sistematizados o caracterizados. La mala noticia es que estos individuos contienen la mejor respuesta a las necesidades antropocéntricas ante el cambio climático y para reforzar la resiliencia del ecosistema bajo producción en pastoreo de sistemas vaca-becerro.

Por tanto, debemos aprovechar nuestra capacidad única para planear, definir estrategias y fortalecer programas para su resguardo y aprovechamiento, dado que ahí está la clave para la mejor funcionalidad del pastizal. De no hacerlo, la alternativa, es el avance de la desertificación a una tasa cada vez más acelerada.

¿Qué pasa cuando hay diversidad genética limitada para el pastizal?

Aunque no existe información veraz al respecto a la superficie invadida, se puede indicar que varias especies exóticas que comienzan a predominar agresivamente en los pastizales sobrepastoreados mexicanos, poseen baja representatividad genética respecto de aquella posible en sus centros de origen, principalmente en África. Lo anterior, debido a que los viajes de los esclavos que originaron la introducción inicial de pastos

africanos a América tropical durante la colonia, transportaron pastos únicamente como cama y alimento para semovientes y la diversidad genética de estas especies quedó muy restringida en América tropical (Parsons, 1972; Quero *et al.*, 2007).

Los recursos genéticos se encuentran en una dinámica de cambio constante en el espacio y en el tiempo. En el espacio debido a la exploración constante más allá de los límites de su distribución natural. Al respecto, en México se observa la adaptación de pasto Buffel a altitudes mayores de 2,000 msnm de forma paulatina, soportando mayores latitudes a altitudes mayores en un proceso lento. Por otra parte, los cambios de la diversidad genética dependen de efectos estocásticos (germinación y supervivencia) para años con clima y eventos fortuitos adecuados: polinización, supervivencia de la descendencia, nivel de ploidía (euploide, aneuploide), tipo reproductivo (gametofítico: sexual o asexual; esporofito: dioecia, monoecia), sistema de cruzamiento (exocruza, endogamia, cleistogamia, etc.), lo que determina la renovación y movimiento de genes en una interacción constante con la dinámica del ecosistema (Rogers, 2004).

En una siguiente generación, los alelos presentes son una muestra de la generación precedente y ésta está influenciada por diversos factores, entre los que se reconoce la distancia entre alelos (fragmentación y reducción de hábitat). Por tanto, alelos de baja frecuencia y elevada importancia pueden no estar representados en la siguiente generación y en poblaciones fraccionadas (pequeñas) la variación genética por deriva genética tiende a perder más rápido alelos y genes en comparación con poblaciones grandes y estables. Poblaciones aisladas y cada vez más pequeñas tendrán mayores tasas de endogamia y con el tiempo la viabilidad reproductiva de poblaciones endogámicas puede ser un impedimento y tener profundas consecuencias para la población (Rogers, 2004). La deriva genética y la endogamia influyen en poblaciones vegetales pequeñas al modificar los patrones de diversidad genética y la aptitud genética de la descendencia. Mayor endogamia resulta en menores tasas reproductivas y menor tasa de sobrevivencia de nuevos individuos, poniendo a la población en riesgo de extinción. Por otra parte, poblaciones sustentadas en una menor base genética puede tener mayor susceptibilidad a patógenos y factores de estrés ambiental. En el caso de especies autoincompatibles, la erosión genética ha resultado en falta de producción de semilla en *Hymenoxys acaulis* (Pursh) Parker var. *Glabra* (Gray) durante 15 años (Demauro, 1993).

Las mutaciones y recombinaciones durante la formación de gametos en la meiosis y su fusión de gametos en la fecundación son las fuentes primarias de variabilidad genética. Sin embargo, las mutaciones son de lento avance en la población, especialmente si tienen valor selectivo o afectan otros atributos, por lo que un incremento de la frecuencia de alelos nuevos en una población requiere muchas generaciones, especialmente si ésta ya está fragmentada y posee estrategias reproductivas limitadas por la endogamia y tipo reproductivo: cleistogamia, apogamia, autoincompatibilidad, casmogamia, apomixis, entre otros (Rogers, 2004). Aun en grandes poblaciones existe un nivel bajo de alelos deletéreos (piense en el albinismo en humanos), lo que se denomina “carga genética”. Lo cual se vuelve de elevada importancia en poblaciones reducidas y aisladas por la fragmentación del hábitat.

Las especies exóticas han sido un arma de doble filo; sin embargo, debido a que, sin su presencia, la consecuencia del pastoreo consuetudinario persistente en México sería más suelo desnudo y desertificación a mayores tasas, se debe trabajar con las nativas y exóticas disponibles y proteger el suelo de la erosión, también con exóticas disponibles. Gracias a estas exóticas se gana tiempo hasta consolidar estrategias de desarrollo de variedades de especies nativas sobresalientes y promoverlas, a futuro, sobre las exóticas. Este tema es de amplia discusión entre profesionales del pastoreo y ecólogos, abundando en muchas ocasiones posiciones maniqueas en ambos grupos de expertos.

Poaceas como Buffel *Cenchrus ciliaris*, Llorón *Eragrostis curvula*, Garrapata *E. superba*, Africano *E. lehmaniana*, Klein *Panicum coloratum*, Rosado *Melinis repens*, entre otras, poseen una extrema baja representatividad genética en México y, en algunas apomícticas (Buffel, Llorón, Garrapata, Africano), la diversificación ocurre a un ritmo mucho más lento durante su naturalización en América. Casos extremos lo constituyen:

• Buffel *Cenchrus ciliaris*, donde cerca del 90% del territorio que se encuentra cubierto por esta especie es un genoma único cerrado por la apomixis apospórica: Buffel común sinónimo de Buffel T-4464 y sinónimo de Buffel Americano. El otro 10% está cubierto por genotipos y variedades que ingresaron a México desde Estados Unidos (1957) y Australia (1970).

• Garrapata *Eragrostis superba*, apomítico diplospórico con dos o tres genotipos predominando en la totalidad del territorio ocupado por esta especie. Entró a México desde Estados Unidos, después de 1960.

• Llorón *Eragrostis curvula*, apomítico diplospórico con dos o tres genotipos predominando. Ingresó vía Estados Unidos después de 1960.

• Africano *Eragrostis lehmaniana*, apomítico diplospórico con un genotipo predominando. Entró a México después de 1960.

• Bermuda *Cynodon dactylon* y Rosado Melinis *repens* representan casos especiales dado que poseen tipo reproductivo sexual altamente eficiente y similarmente, elevada capacidad de propagación vegetativa, lo que les confiere el potencial de diversificar de forma acelerada respecto a apomíticos y ser manipulables genéticamente con base de observación y selección aplicada.

En ocasiones, se presentan plagas que atacan a los pastos en forma regular: chapulines, gusano soldado, gusano falso medidor y, en el pasado hordas de langostas; estas últimas, han ido reduciendo la frecuencia de sus ataques masivos. Al respecto, ningún ganadero es capaz de detener las plagas en forma aislada por lo que se estructuran estrategias conjuntas en países con recursos y capacidad organizativa. Ataques de estas plagas se han reportado en México pero no han tenido consecuencias devastadoras.

Otra plaga que ataca a los pastos en años lluviosos es la mosca pinta (*Aenolamia* spp.); la cual tiene, en Sudamérica siete géneros con potencial de ataque para los pastos; mientras que en México, solamente dos géneros atacan a los pastos. El cultivo de la caña de azúcar es donde mayor inversión ha ocurrido para combatir esta plaga. En México se han reportado casos regionales en Buffel, Insurgente (*Brachiaria decumbens*) y otros pastos.

En gramíneas para el pastoreo ha ocurrido en Brasil por la escasa base genética en *Brachiaria decumbens* (Marcondes, 1974) y de alta probabilidad en México con pasto Buffel, donde cerca del 90% está sembrado con un solo genotipo: T-4464, Común o Americano (tres nombres para una sola variedad o composición génica, dado que este pasto es apomítico). En 1974, una superficie de praderas de *Brachiaria decumbens* equivalente al estado de Coahuila (alrededor de 150,000 km²) fue infestada por el complejo mosca pinta o salivazo (*Desmoris* spp., *Mahanarva* spp., *Zulia* spp., *Aenolamia* spp., entre otros géneros) cuyas larvas se alimentan de la savia de especies susceptibles de pastos y quedan protegidas de la radiación solar por exceso de forraje y afectan seriamente el desarrollo de la pradera, limitando marcadamente la producción de forraje por varias semanas (cuatro a ocho). Este ataque provocó que no hubiese forraje de forma súbita, para cientos de miles de cabezas de ganado por dos meses. Este problema provocó una emergencia reconocida por toda la sociedad civil brasileña (incluyendo la urbana). El problema es que en esa época un solo genotipo apomítico cubría toda la superficie de praderas de *B. decumbens*, la variedad australiana Basilisk y éste se reconocía como el mejor adaptado (alta producción de forraje de calidad bajo pastoreo) a suelos ácidos tropicales y no se conocía que era altamente sensible a esta plaga.

Ante esta situación, los brasileños se organizaron y convencieron a sus autoridades científicas para autorizar la recolecta de recursos genéticos de especies valiosas para Brasil en África y, como resultado de este esfuerzo internacional, a finales de la década de los 80's, recolectaron en África y llevaron a Brasil amplia diversidad vegetal originaria de los centros de origen de especies forrajeras como: *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha*, *B. ruziziensis*, *Panicum maximum*, *Andropogon gayanus*, *Pennisetum* spp., entre otras especies de importancia para la ganadería brasileña. El resultado: actualmente Brasil genera tecnología de punta para el aprovechamiento de recursos genéticos de forrajeras de importancia para el mundo tropical; exporta semilla de variedades mejoradas a todo el mundo tropical; su base genética para el pastoreo se ha ampliado, lo que

reduce su exposición a fenómenos de baja frecuencia y alta intensidad; posee un hato ganadero cercano a 200 millones de cabeza, entre otros aspectos.

La ganadería brasileña aún tiene problemas como los “desiertos verdes” debido al agotamiento de la fertilidad de suelos ácidos frágiles del trópico (Amazonas) y un bajo promedio en los índices de eficiencia de hato. Sin embargo, posee las herramientas tecnológicas, desarrolladas a través del escrutinio profesional de los recursos genéticos forrajeros, para potencializar la producción en pastoreo aún más.

Lo anterior, es indicativo de que la ganadería brasileña se puede multiplicar sin menoscabo de la selva natural gracias a la inversión intelectual y económica planeada para atender su ganadería de pastoreo. De ahí la importancia de acopiar, resguardar y evaluar sistemáticamente recursos genéticos de forrajeras.

La buena noticia es que, para los pastizales de México, la riqueza genética está a nuestro alrededor, al alcance de las manos *i.e.* no tenemos que ir a África o Brasil.

¿Qué debemos hacer?

Se han desarrollado de forma aislada y regionalizada recolectas de recursos genéticos de gramíneas nativas sobresalientes, siendo pasto Banderita la más estudiada entre las especies nativas en México.

Se han registrado y se encuentran en proceso de registro diversas variedades nativas de especies valiosas. Sin embargo, resta socializarlas eficientemente.

Una vez recolectada y resguardada la diversidad natural, el problema es el investigador, dado que se deben caracterizar y detectar los individuos más valiosos dentro de cada especie de interés para atender necesidades de corto, mediano y largo plazo. Lo anterior depende la disponibilidad de equipo de punta: microscopios, laboratorios de marcadores moleculares, laboratorios de semillas, entre otros bien equipados. Sobre todo, se requieren jóvenes con el entusiasmo y deseo de innovar.

Similarmente, se debe consolidar un sistema estable de producción de semillas acompañado del desarrollo de mejor tecnología para la mayor certidumbre en el establecimiento de praderas de temporal en zonas semiáridas.

La recolecta se debe estudiar bajo tres enfoques: diversidad morfológica (morfotipos), diversidad citológica (citotipos) y diversidad fisiológica (fisiotipos) (Quero-Carrillo *et al.* 2012):

Morfotipos: macollos individuales de cada muestra de la diversidad recolectada se coloca a partir de un macollo original similar (y clonal) en un vivero de evaluación bajo condiciones estándares de manejo; lo anterior, con el fin de que expresen su aptitud genética en un ambiente común y representativo de una región de interés, en nuestro caso, los desiertos chihuahuense o sonorenses. Se califican rápidamente mediante descriptores morfológicos forrajeros (no botánicos) ampliamente dispersos en la literatura especializada y se detectan individuos sobresalientes morfológicamente. Algunos descriptores podrían ser: altura total de planta, altura de forraje, relación hoja:tallo, producción de forraje, composición del forraje cosechado, rendimiento de materia seca (total, de hoja, de tallo), componentes del rendimiento de forraje, entre otros informativos sobre la diversidad morfológica forrajera. Los materiales se pueden organizar con el uso de marcadores moleculares para agrupar aquellos con atributos valiosos y buscar correlaciones positivas entre morfología y ambiente de origen.

Citotipos: una vez muestreada la diversidad morfológica, se definen los niveles de ploidía y su diversidad, su origen (auto, alo o segmentario en ploidía), se define su tipo reproductivo: sexual (cleistógamo, autoincompatible, combinado, autógamo, alógamo) o asexual (aposporía, diplosporía). Se localizan sitios e individuos de interés, lo cual se relaciona con su potencial como material forrajero.

A este nivel se pueden registrar materiales naturales sobresalientes como variedad tipo, la cual será la que debe ser superada por los siguientes materiales forrajeros a registrar.

Los agrupamientos moleculares y morfológicos en conjunto con la información citológica nos apoyarán para la definición de estrategias para realizar cruces con objetivos definidos.

La recolecta se debe evaluar para su contraste en condiciones que serán predominantes en algunos años y que se encuentran expresadas en regiones pequeñas del país: si la temperatura se elevará, conviene evaluar

la diversidad de pasto Banderita, por ejemplo, en regiones de menor altitud a aquella actual en la que ésta se desarrolla, probablemente en regiones entre 800 y 1,000 msnm en el desierto chihuahuense: Lerdo, Ceballos o más secas (Camargo, Escalón, Ocampo, Boquillas del Carmen); lo anterior, para obtener rápidamente materiales que tendrán mayor resiliencia a un posible clima futuro.

Fisiotipos: la diversidad revisada para morfotipos y citotipos se reduce a los individuos con potencial forrajero, climático y citológico destacado para consolidarse como variedades selectas. Se recomienda reducir los materiales a menos de 20 genotipos sobresalientes por especie, con el fin de realizar pruebas agronómicas: establecimiento, rebrote bajo diferentes manejos de pastoreo o corte, análisis de crecimiento, fijación de nitrógeno, agregación de lignina, producción de hoja, respuesta a manejo, entre otras; similarmente, pruebas de producción animal (degradabilidad, digestibilidad, consumo, entre otros) en pocos materiales destacados; lo anterior, debido al hecho de que este proceso es costoso.

De esta forma se tendría potencial para la exportación de semilla de variedades de pastos que difícilmente serán superadas, porque la naturaleza nos heredó amplia diversidad genética para escudriñar. Esta exportación puede ocurrir no solamente hacia Norteamérica, también puede ocurrir a altiplanos áridos de Asia.

Un sueño, más bien dos

1. Debido a que los recursos genéticos de gramíneas nativas mexicanas del pastizal se deterioran silente y rápidamente, conviene establecer, al igual que los expertos en bosques (*arboretum*), un *graminetum*. La conservación in situ es la primera alternativa para mantener la mejor sinergia del flujo genético en poblaciones en peligro de extinción (Ellstrand y Elam, 1993). Al respecto, se encuentra uno pequeño en desarrollo en la Universidad de Aguascalientes. Este *graminetum* debe ser por lo menos de 2,500 m² para cada especie de interés (hay por lo menos 50 valiosas), lo que implica poco más de 12 ha de buen suelo, donde agreguemos en el tiempo, todos los interesados en los pastizales y su funcionalidad ecológica, consistentemente, un espécimen (macollo) de nuestra región durante varios años y para cada especie, hasta llenar cada cuarto de hectárea en pocos años. En un arreglo topológico de 0.8 x 0.8 m cabrían, en teoría, 55 surcos con 55 plantas, dejando algunos callejones para el manejo.

Lo anterior implicaría lograr recolectar cerca de 3,000 individuos genéticamente diversos, para cada especie y de regiones diversas del semidesierto, para lograr estudios sólidos.

Este pequeño lote será la fuente de diversidad genética intraespecífica ex situ donde estas especies se mantengan bajo estudio y en una dinámica intensa de recombinación (dirigida o no) y los investigadores puedan evaluar recursos genéticos acorde a las oportunidades de financiamiento que logren, estudiantes que se interesen, equipos disponibles y otras variables de la operación de la investigación.

Recuerden que una vez disponible la diversidad genética, el problema se vuelve nuestra capacidad de escrutinio asertivo de la misma *i.e.* objetivos claros y pocos, para mayor avance genético.

Sin embargo, se requieren recursos para mantenimiento constante de los lotes de conservación *ex situ*.

2. El país seguirá siendo geográficamente rural en 83% de su superficie por muchos años más y el pastoreo representa una fuente de riqueza renovable poco eficiente hasta la fecha. Por tanto, y debido al hecho de que para estas regiones existe similarmente tecnología de vanguardia, el establecimiento de un cenid o una Central de Investigación para Forrajes y Pastoreo de temporal es una necesidad social sentida y no detectada por los tomadores de decisiones. Se deben formar cuadros jóvenes que se interesen en la integración de tecnología innovadora (que la hay y también se debe desarrollar) a sistemas tan rentables como la ganadería de sistemas vaca-becerro.

Aquí se pueden aglomerar equipos, expertos, experiencias y metodologías necesarias para atender las necesidades tecnológicas para impactar definitivamente a la ganadería de temporal que permea en casi el 83% del país.

Se debe consolidar intelectuales rurales (nosotros) y dirigir la decisión sobre el futuro de la ganadería del pastoreo en conjunto con los grupos interesados (ganaderos), reduciendo la influencia de tomadores de decisiones que desconocen la producción ganadera o de estirpe cultura y tecnológica urbana; esto por el

hecho de su escaso conocimiento de las necesidades y oportunidades del área, más allá de una buena voluntad sobresaliente.

Lo anterior, para apoyar eficientemente a la ganadería como actividad primaria de interés público, que sufre amplios problemas.

RECOMENDACIONES

La conservación *ex situ* e *in situ* de recursos genéticos son complementarias y deben promoverse ambas, dado que la primera será una muestra de la población original y queda expuesta a fallas presupuestales para su multiplicación y utilización sistemática.

Se debe explorar la biología reproductiva y estrategias de propagación en el tiempo y el espacio de las especies de interés. Similarmente, desarrollar mezclas de variedades para recomendar en las resiembras.

CONCLUSIONES

México es extremadamente rico en recursos genéticos de gramíneas para zonas áridas. Es posible la exportación de semillas de variedades de gramíneas nativas selectas que difícilmente serían superadas por otras norteamericanas.

Se debe trabajar sistemáticamente en el aprovechamiento de los recursos genéticos. Se requiere de una central de investigación para el desarrollo y aplicación de alta tecnología para pastos de temporal. Ésta atendería una superficie que comprende el 83% del país; el cual, geográficamente seguirá siendo la fuente de satisfactores y no ha recibido, a la fecha, la magnitud de inversión que se le otorga a tecnología industrializable: comunicaciones, nanotecnología, conductores, industria diversa; al menos de forma proporcional.

LITERATURA CITADA

- Bennetzen, J. L. (2000). Comparative sequence analysis of plant nuclear genomes: microcolinearity and its many exceptions. *Plant Cell* 12(7): 1021-1030.
- Braxton, J. L. (2016). Welcome to the sixth mass extinction. In: SC George (ed.). *Discover. Science for the Curious. The year in science. 100 top stories of 2015. Discover Magazine*. January/February: 24.
- Briske, D. D. *Strategies of Plant Survival in Grazed Systems: A Functional Interpretation*. In: J Hodgson (ed.) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Oxford University Press. New York, NY, US. (1996). Pp. 37-67.
- Briske, D. D. and Richards, J. H. *Physiological Responses of Individual Plants to Grazing: Current Status and Ecological Significance*. In: M. Vavra, W.A. Laycock, and R.D. Pieper (eds.) *Ecological Implications of Livestock Herbivory in the West*. Soc. Range Manag. Denver, CO, US. (1994). Pp. 147-176.
- Carmen, J. G. y Briske D. D. (1985). Morphologic and allozymic variation between longterm grazed and non-grazed populations of the bunchgrass *Schizachyrium scoparium* var. frequens. *Oecologia* 66(3): 332-337.
- Cancún Statement. (2016). *Promoting Sustainable Pastoralism and Livestock Production for the Conservation Biodiversity in Grasslands and Rangelands*. <http://www.celep.info/wp-content/uploads/2016/12/Cancun-Statement-Endorsed-21dec2016.pdf>. (Diciembre 22, 2016).
- Castillo del, R. F. (2000). Composición y estructura de una nopalera bajo situaciones contrastantes de exposición de ladera y herbivoría. *Bol. Soc. Bot. México*. 65: 5-22.
- Demauro, M. M. (1993). Relationship of breeding system to rarity in the lakeside daisy (*Hymenoxys acaulis* var. *glabra*). *Conservation Biology* 7(3): 542-550.
- Ellstrand, N. C. and Elam D. R. (1993). Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 24: 217-247.

- Gale, M. D. and Devos K. M. (1998). Comparative genetics in the grasses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 95(5): 1971-1974.
- Hobbs, H. and Curiel M. R. (2013). MASAGRO y la biodiversidad. En: Torre de la, S. J. F. y Henríquez P. (eds.): *Taller Internacional de Conservación in situ y Utilización de Recursos Fitogenéticos*. 1ra Ed. INIFAP-CIRPAC-CNRG. Memoria Científica No. 1. Guadalajara, Jalisco, México. Pp 62-67.
- Huntly, N. (1991). Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. *Ann. Rev. of Ecol. and System*. 22: 477-503.
- Jaramillo, V. J. y Detling J. K. (1988). Grazing history, defoliation, and competition: effects on shortgrass production and nitrogen accumulation. *Ecology* 69(5): 1599–1608.
- Kellogg, E. A. (2001). Evolutionary history of the grasses. *Plant Physiol*. 125(3): 1198-1205.
- Kellogg, E. A. (2006). Beyond taxonomy: prospects for understanding morphological diversity in the grasses (Poaceae). *Darwiniana* 44(1): 7-17.
- Marcondes, W. F. (1974). O drama da Braquiaria. *Rev. Criadores (Brasil)* 576: 13-16.
- McVaugh, W. R. *Gramineae*. In: Anderson, W. R. (ed.) *Flora Novo- Galiciana, a Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico*. Ann Arbor: The University of Michigan. US. (1983). 436p.
- O'Connor, T.G. (1991). Local extinction in perennial grasslands: A life-history approach. *Amer. Naturalist* 137(6): 753-773.
- Parsons, J. J. (1972). Spread of African pasture grasses to the American tropics. *J. Range Manag.* 25(1):12-17.
- Paterson, A. H.; Lin, Y. R.; Li, Z.; Schertz, K. F.; Doebley, J. F.; Pinson, S. R.; Liu, S. C.; Stansel, J. W. and Irvine, J. E. (1995). Convergent domestication of cereal crops by independent mutations at corresponding Loci. *Science* 269(5231): 1714-1718.
- Peterson, P. M.; K. Romaschenko, K. and Herrera-Arrieta, Y. (2015). Phylogeny and subgeneric classification of *Bouteloua* with a new species, *B. herrera-arrietae* (Poaceae: Chloridoideae: Cynodonteae: Boutelouinae). *J. System. & Evol.* 53(4): 351-366.
- Quero, C. A. R.; Enríquez Q. J. F. y L. Miranda J. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia* 32(8): 566-571.
- Quero-Carrillo, C.A.R.; Villanueva-Ávalos J. F.; Morales-Nieto C. R.; Enríquez-Quiroz J. F.; Bolaños-Aguilar E. D.; Castillo-Huchim J.; Maldonado-Mémedez J. J. y Herrera-Cedano F. (2012). *Manual de Evaluación de Recursos Genéticos de Gramíneas y Leguminosas Forrajeras*. INIFAP. Folleto Técnico 22, ISBN: 798-607-425-890-5. 54 p.
- Quero-Carrillo, A.R.; Miranda-Jiménez L.; Hernández-Guzmán F. J. y Rubio A. F. A. (2014). *Mejora del Establecimiento de Praderas de Temporal*. Folleto Técnico. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 31 p.
- Quero, C. A. R. (2013). A Manera de Prólogo. In: Quero-Carrillo, A. R. (ed.): *Gramíneas Introducidas. Importancia e Impacto en Ecosistemas Ganaderos*. Serie Biblioteca Básica de Agricultura. COLPOS, INIFAP, UACH, IICA. ISBN: 978-607-715-106-7. Pp. I-VI.
- Quero, C. A. R. (2015). *Pastoreo actual y/o profesionalizado. Importancia e Impacto*. Conferencia Magistral. VI Congreso Intnal. de Manejo de Pastizales, 1ra Reunión de Manejadores de Fauna Silvestre, 1er Encuentro Estatal de Ganaderos. Universidad Juárez del Estado de Durango. In: Toca RJA et al. (compiladores). Manejo De Pastizales, Conservación del Pastizal, Producción Animal y Bienestar del Hombre. ISBN: 978-607-503-183-5. Pp. 8-13.
- Quero-Carrillo, A. R. En prensa. *Value, Condition and Alternatives for Improvement of Pastures/Grasslands in Mexico. Valor, Condición y Alternativas de Mejora de los Pastizales en México*. (Versión Inglés/Español) Colegio de Postgraduados. 190 p.
- Riojas-López, E. M. and Mellink E. (2005). Potential for biological conservation in man-modified semiarid habitats in northeastern Jalisco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*. 14: 2251-2263.
- Rogers, D. L. (2004). Genetic erosion. No longer just an agricultural issue. *Native Plants* 52(2): 112-122.

- SEDUE Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1985). Manejo y Transformación de los Pastizales. de Luna V. R., Medina J. G. Medina, Fierro L. C. (eds.). Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Estado de Coahuila. 192 p.
- Smith, S. E (1998). Variation in response to defoliation between populations of *Bouteloua curtipendula* var. *Caespitosa* (*Poaceae*) with different livestock grazing histories. *Amer. J. Bot.* 85(9): 1266-1272.
- Scarascia-Mugnozza G. T. y P. Perrino (2002). *The History of ex situ Conservation and Use of Plant Genetic Resources*. In: Engels J. M. M.; Ramanatha R. V.; Brown A. H. D.; Jackson M. T. (eds). *Managing Plant Genetic Diversity*. CABI Publishing, Oxon (UK). Pp. 1–22.
- World Meteorological Organization (WMO). (2016). *Globally Averaged CO2 levels reach 400 parts per million in 2015*. <http://public.wmo.int/en/media/press-release/globally-averaged-co2-levels-reach-400-parts-million-2015>. (Octubre 26, 2016).

Apéndice



Salinas

Autora: Marisol Herrera Sosa

Técnica: Acuarelas. 12.5 cm x 17.7 cm

Medidas: 12.5 cm x 17.7 cm

