

Índice

Identificación molecular de <i>Lippia graveolens</i> Kunth s.l., Verbenaceae: Lantaneae, en la planicie costera del Golfo de México	5
<i>Jesús Di Carlo Quiroz Velásquez, Bianca Edith Bazán Cruz, Jeremías Cruz-Cruz, Ángel Salazar-Bravo y José Luis Hernández-Mendoza</i>	
Concentraciones de cobre y zinc en el ostión <i>Crassostrea gigas</i> cultivado en dos lagunas costeras del norte de Sinaloa, México	19
<i>Andrés Martín Góngora-Gómez, Manuel García-Ulloa, Brenda Paulina Villanueva-Fonseca, Ana Laura Domínguez-Orozco y Juan Antonio Hernández-Sepúlveda</i>	
Evaluación de materiales recolectados de <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) Gray en la zona centro-este de Cuba	31
<i>Tomás E. Ruiz, Jatnel Alonso, Verena Torres, Nurys Valenciaga, Juana Galindo, Gustavo Febles, Humberto Díaz, Raúl Tuero y Ciro Mora</i>	
<i>Megathyrus maximus</i> . Resultados científicos y potencialidades ante el cambio climático en el trópico [®]	41
<i>Milagros de la C. Milera Rodríguez, Osmel Alonso Amaro, Hilda C. Machado Martínez y Rey L. Machado Castro</i>	
Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático [®]	63
<i>Adrián Raymundo Quero Carrillo, Leonor Miranda Jiménez y José Francisco Villanueva-Avalos</i>	
Indicaciones para los autores	87

Index

Molecular identification of <i>Lippia graveolens</i> Kunth s.l., Verbenaceae: Lantaneae, in the coastal plain of the Gulf of Mexico.....	5
<i>Jesús Di Carlo Quiroz Velásquez, Bianca Edith Bazán Cruz, Jeremías Cruz-Cruz, Ángel Salazar-Bravo y José Luis Hernández-Mendoza</i>	
Copper and zinc concentrations in the oyster <i>Crassostrea gigas</i> cultivated in two coastal lagoons at the north of Sinaloa, Mexico.....	19
<i>Andrés Martín Góngora-Gómez, Manuel García-Ulloa, Brenda Paulina Villanueva-Fonseca, Ana Laura Domínguez-Orozco y Juan Antonio Hernández-Sepúlveda</i>	
Evaluation of materials collected from <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) Gray in the central-eastern part of Cuba	31
<i>Tomás E. Ruiz, Jatnel Alonso, Verena Torres, Nurys Valenciaga, Juana Galindo, Gustavo Febles, Humberto Díaz, Raúl Tuero y Ciro Mora</i>	
<i>Megathyrus maximus</i> . Scientific results and potentialities against the climate change in the tropic.....	41
<i>Milagros de la C. Milera Rodríguez, Osmel Alonso Amaro, Hilda C. Machado Martínez y Rey L. Machado Castro</i>	
Grass genetic resources for grazed rangelands. Condition and pressing needs for its conservation facing climate change	63
<i>Adrián Raymundo Quero Carrillo, Leonor Miranda Jiménez y José Francisco Villanueva-Ávalos</i>	
Guide for authors	95

Identificación molecular de *Lippia graveolens* Kunth s.l., Verbenaceae: Lantaneae, en la planicie costera del Golfo de México

Molecular identification of *Lippia graveolens* Kunth s.l., Verbenaceae: Lantaneae, in the coastal plain of the Gulf of Mexico

Jesús Di Carlo Quiroz Velásquez,³ Bianca Edith Bazán Cruz,¹ Jeremías Cruz-Cruz,² Ángel Salazar-Bravo³ y José Luis Hernández-Mendoza^{3*}

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas
Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa
Rodhe Carretera Reynosa-San Fernando, cruce con Canal Rodhe
Col. Arcoiris, C.P. 88779

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Departamento de Botánica
Calzada Antonio Narro 1923
Buenavista, Saltillo, COAH. México. CP 25315

³ Instituto Politécnico Nacional
Centro de Biotecnología Genómica
Boulevard. del Maestro s/n esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza
Reynosa, México. CP 88710
Tel/Fax (899) 9243627, ext. 87714

*Correspondencia: jhernandezm@ipn.mx

Resumen

El orégano es una especie de amplia distribución en territorio mexicano, donde sus poblaciones se han adaptado a condiciones geoclimáticas muy diversas. En este trabajo se ubican poblaciones nativas, se geo-referencian y se realiza la identificación molecular usando ITS's. Es importante recalcar que no existe en el NCBI información reportada de *Lippia graveolens*. Las secuencias obtenidas tienen alto nivel de identidad y cobertura con *Lippia sidoides*, la cual es considerada como sinónimo de *Lippia graveolens* y *L. berlandieri*, especies cuya presencia ha sido reportada en México en regiones montañosas y el altiplano mexicano.

Abstract

Oregano is a specie of wide distribution in Mexican territory, where their populations have adapted to very diverse geoclimatic conditions. In this work native populations were located, they geo-reference and they realize the molecular identification using ITS's. It is important to reiterate that in the NCBI reported information of *Lippia graveolens* does not exist. The sequences obtained have a high level of identity and coverage with *Lippia sidoides*, of which it is considered as synonym whit *Lippia graveolens* y *L.berlandieri*, species whose presence has been reported mountainous regions of Mexico and in the Mexican highlands.

Palabras clave

Morfología floral, descripción, quimiotipos, frontera Tamaulipas-Texas.

Keywords

Floral morphology, description, chemotypes, Tamaulipas-Texas border.

Introducción

La tribu Lantaneae agrupa poblaciones presentes en medios ambientes variados, donde han desarrollado adaptaciones que reflejan una aparente plasticidad genética, que forma filogenéticamente una tribu rica en especies dentro de la familia Verbenaceae, que está conformada por nueve géneros diferentes (Marx *et al.*, 2010; Lu y Olmstead, 2013), y de ellos *Lippia* spp, que se estima tiene unas 200 especies (Atkins, 2004). Por otra parte, un gran número de Lantaneae incluye especies con amplias variaciones en su morfología (hierbas, arbustos y árboles pequeños), arquitectura de inflorescencias y hojas: en *Lantana* se forman drupas, mientras que en *Lippia* spp lo típico son los esquizocarpos (Troncoso, 1974; Lu y Olmstead, 2013).

Los estudios filogenéticos realizados en plantas (Lohmann, 2006; Marx *et al.*, 2010; Bárcenas *et al.*, 2011; Yuan *et al.*, 2009) muestran un bajo rango de cambios moleculares, y los análisis multilocus parecen ser necesarios para mostrar diferencias entre especies (Lohmann, 2006; Yuan y Olmstead, 2008; Yuan *et al.*, 2009; Novak *et al.*, 2008; Cazares *et al.*, 2010). Sin embargo, el uso de la técnica de pentatricopeptide repeat (PPR), en la que se emplean varias secuencias de locis nucleares, puede ser aconsejable para estudios en verbenáceas y es valioso como herramienta filogenética en Lantaneae (Katsiotis *et al.*, 2009; O'Leary *et al.*, 2012; Lu y Olmstead, 2013).

La presencia y cuantificación de timol y carvacrol tienen importancia relevante por sus funciones como antibióticos, antioxidantes y antiparasitarios (Pino *et al.*, 2006; Arana *et al.*, 2010; Rocha *et al.*, 2007). Sin embargo, el uso principal del orégano es por la participación del follaje seco en el arte culinario, pues es altamente aromático (Castillo *et al.*, 2007).

El orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth s.l.) es una planta que se encuentra presente en comunidades vegetales herbáceas, matorrales submontanos, espinosos, subinermes, rosetófilos y otros paisajes del desierto chihuahuense (Castillo, 1991; Huerta, 1997; Olhagaray *et al.*, 2005; Treviño y Valiente, 2005; Quezada *et al.*, 2011; Villavicencio, 2010; Granados *et al.*, 2013). Las áreas donde son reportadas las poblaciones tienen diferentes altitudes, condiciones climáticas y de calidad de suelo; debido a ello, se considera una planta con alta plasticidad y adaptabilidad al medio ambiente (Griffith y Sultan, 2006).

La distribución de la planta cambia de acuerdo a las condiciones ecogeográficas. Por ejemplo, en los estados de Puebla y Oaxaca, que tienen densidades que van desde 1,000 a 5,000 plantas/ha (Quezada *et al.*, 2011). En Jalisco, sus densidades alcanzan las 25,000 plantas/ha. En San Luis Potosí, la densidad promedio es de 4,000 plantas/ha. En Tamaulipas, las poblaciones prosperan en montañas y lomeríos de los municipios de San Carlos, Hidalgo, Casas, Jaumuave, Bustamante y Méndez, este último, que

está a una mayor latitud entre los mencionados, tiene una abundancia de 905 plantas/ha (Quezada *et al.*, 2011). En este estado, el registro más al norte del que se tiene conocimiento son las poblaciones de orégano situadas en las inmediaciones de la cabecera municipal de Méndez, Tamaulipas (25°06'37.8"N 98°36'26.5"W) (Quiroz *et al.*, 2016), ubicada a más 140 km en línea recta de la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

El presente artículo sirve para documentar la presencia de poblaciones nativas de orégano mexicano, *Lippia graveolens* Kunth *s.l.*, ubicadas en la región fronteriza de México, así como las primeras secuencias obtenidas por Espaciadores Internos Transcritos (Internal Transcribed Spacer [ITS]) para la identificación molecular de dichas poblaciones.

Materiales y métodos

Descripción morfológica

En el verano del 2014 se realizaron recorridos en la periferia de la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, ubicada en la frontera de Tamaulipas con Texas-USA. Se recolectaron muestras de poblaciones nativas en sitios cuya ubicación se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1
Ubicación de los sitios muestreados en Reynosa, Tamaulipas, con poblaciones naturales de orégano.

Sitio	Altitud	Latitud norte	Longitud oeste	Densidad
Rey 01	53	26° 04' 22.7''	98° 20' 17.5''	81
Rey 02	79	26° 03' 48.0''	98° 23' 44.2''	26
Rey 02a	72	26° 03' 48.0''	98° 23' 44.2''	43
Rey 02b	69	26° 03' 41.3''	98° 23' 47.0''	12
Rey 02c	88	26° 03' 50.4''	98° 23' 28.1''	13
Viad 01	65	26° 00' 40.3''	98° 20' 57.6''	62
Sol 01	55	26° 04' 09.5''	98° 18' 47.7''	nd
Sol 02	58	26° 02' 14.8''	98° 20' 13.9''	nd

(Rey= Reynosa; Viad= Viaducto Noreste; Sol= Col. Solidaridad; nd= No determinado).

Las poblaciones se detectaron al sureste y al noroeste de la ciudad de Reynosa, donde los suelos tienen pH de 8.0. Las plantas crecen en suelo predominantemente calcáreo, con una geomorfología dominada por llanuras y pequeños lomeríos, vegetación xerófila, en altitudes de 53 a 88 m. En los sitios visitados (Rey 01 y Rey 02c), el suelo es de roca caliza, pedregoso, y en los sitios 2, 3 y 4, los suelos son profundos, rojizos y poco pedregosos. La precipitación promedio es de 650 mm anuales, con lluvias de verano, y en menor escala en invierno. Los sitios del 1 al 3 corresponden a zonas perturbadas con asentamientos urbanos a su alrededor; el sitio 4 conserva parte sin perturbar, es una ladera con un suelo pedregoso. El sitio 5 presenta un tipo de suelo castaño color rojizo obscu-

ro. Todos los sitios, en las cercanías a la ciudad, están en peligro de desaparecer por la urbanización de la cual es objeto la zona. De hecho, los muestreos iniciales se realizaron en verano de 2014, y para el otoño del 2016, el orégano de los sitios 1 a 3 desapareció por el crecimiento urbano de la ciudad.

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Cuantificación de timol y carvacrol, como parte de los aceites esenciales, se realizó por HPLC. La extracción de aceites se realizó con 10 g de hoja seca de orégano, colocados en un matraz de 250 mL⁻¹ y añadiendo 100 mL⁻¹ de etanol absoluto por durante 24 h; el sobrenadante se centrifugó a 10000 rpm durante 15 min, se filtró con membrana de nylon de 0.45 μm. La muestra se inyectó al HPLC (Hewlett Packard® modelo 1100, USA), previamente acondicionado y calibrado con estándares de timol (J.T. Baker®) y carvacrol (Sigma-Aldrich®), con una columna RP-18, marca Beckman Ultrasphere® de 150 mm de largo por 4.6 mm de diámetro. La fase móvil consistió en metanol-agua 50/50 (CH₃OH/H₂O) y el detector ajustado a 280 nm. El volumen de inyección fue 20 μL⁻¹, con flujo de 1 mL⁻¹/min, tiempo de corrida 10 min y temperatura de 30° C.

Identificación molecular

Para la extracción del ADN se utilizó el kit Wizard Genomic DNA Purification de Promega®. Las reacciones de PCR se realizaron en un volumen final de 50 μL⁻¹, con 1.5 μL⁻¹ del DNA genómico, 5 μL⁻¹ de Buffer 10X (concentración final a 1X), 1.5 μL⁻¹ de cloruro de magnesio de 50 mM (final 3 mM), 1 μL⁻¹ de dNTPs 10 mM (0.2 mM), 1 μL⁻¹ del par de iniciadores intergénicos, ITS1-5.8S-ITS2, Forward (5'TCCGTA-GGTGAACCTGCGG3') y Reverse (5'TCCTCCGCTTATTGATATGC3'), 5 μM (final 0.1 μM) y 0.4 μL⁻¹ de la enzima Taq DNA polimerasa 5 U/μL⁻¹ en 50 μL⁻¹ de volumen final. El programa que se utilizó consistió de un ciclo de 3 min a 94° C y 35 ciclos de 1 min a 94° C, 1 min a 53° C y 1 min a 72° C, con un paso de extensión final de 1 min a 72° C, manteniéndose a 4° C. Las reacciones de PCR se llevaron a cabo en un termociclador Peltier MJ Research®, y la visualización se realizó en un gel de agarosa al 1%, adicionando con 0.1 μL⁻¹ syber gold y 0.4 μL⁻¹ de orange.

Las muestras se corrieron en una cámara de electroforesis horizontal (Bio-Rad®) a 80 volts por 1 h⁻¹. Se visualizó el gel en el tras-iluminador de luz ultravioleta, captando la imagen en el programa Kodak Digital Science™ 1D®. La reacción de secuenciación se realizó en BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. Las muestras se secuenciaron en el Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional, en un secuenciador ABI-Prism® (Foster City, CA, USA).

Las secuencias que se obtuvieron fueron analizadas con el software CLC Sequence Viewer 7.6.1 ®, y comparadas con las secuencias de referencia depositadas en la base de datos del NCBI (National Center for Biotechnology Information).

Resultados

Para la identificación taxonómica, se herborizaron plantas y se enviaron al Herbario del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, del Instituto Politécnico Nacional, para ser identificadas, obteniendo confirmación de la especie como *Lippia graveolens* Kunth s.l. Las características descriptivas de las hojas de *Lippia* sp., del municipio de Reynosa se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2

Características de las hojas de acuerdo con la porción de la planta de orégano de la región costera del Golfo de México.

	Baja	Media	Alta
Long. pedúnculo (mm)	0.646	0.862	0.620
Ancho de hoja (mm)	1.072	1.542	1.145
Longitud de hoja (mm)	2.172	2.971	2.088
Área foliar (mm ²)	1.547	4.237	2.767

Descripción

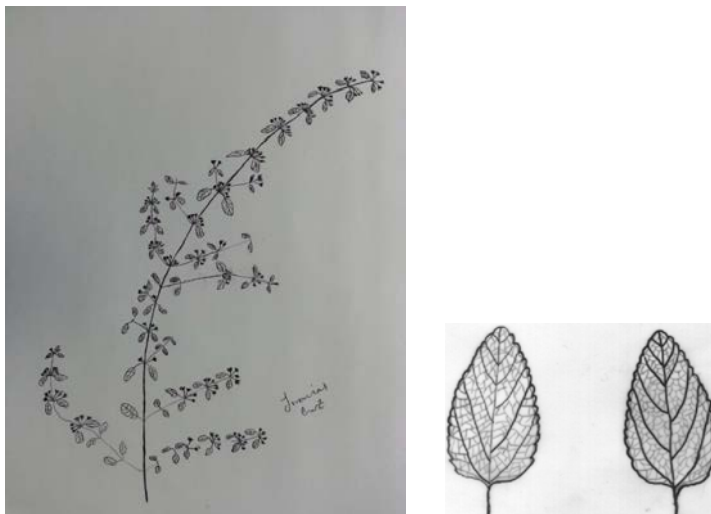
La planta alcanza una altura máxima de un metro, con una arquitectura variable; plantas de escasos tallos, arborescente y otras plantas de varios tallos y muy ramificadas. Las ramas de los años anteriores, desarrollan una corteza que se desprende en tiras longitudinales. Al final de año, por lo general, tiran la mayor parte de las hojas, al igual que las semillas.

Hojas: son ternadas, pecioladas y sin estípulas. Los meristemos axilares originan yemas axilares de maduración ascendente. Las yemas son de desarrollo siléptico, que originan paraclados o yemas prolépticas que forman nuevas ramas. Estas últimas son de tipo homomórfico. Las hojas tienen forma oval de márgenes crenados, son anchas hacia la parte central y con terminación roma. Miden entre 2 y 5 cm, según su posición en la rama. Las más grandes están hacia la porción media (figura 1). Los bordes de las hojas son claramente dentados, con el limbo cóncavo y totalmente cubierto por tricomas en ambos lados. Los haces conductores son longitudinales y poco ramificados. Alcanzan los bordes de la hoja en ramificaciones terciarias o cuaternarias delgadas, que terminan en las hendiduras de los bordes.

Inflorescencias: las poblaciones de orégano que fueron muestreadas, presentan florescencias distribuidas en toda la rama, principalmente en la parte superior. Son cilíndricas. Son cabezuelas (espigas) glomerulares, cilíndricas, que se desarrollan a partir de los puntos axilares de las hojas. Surgen en grupos de uno a ocho florescencias por axila. Tienen origen opuesto, igual que las hojas, y la orientación se alterna a lo largo de la rama. Están distribuidas a lo largo de la rama, predominantemente hacia la zona de crecimiento y cuando la planta está en etapa de floración, la florescencia corona la punta de la rama o del tallo (figura 3).

Figura 1

Esquema general de la distribución de hojas e inflorescencias. Esquema de venación en envés y haz de una hoja.



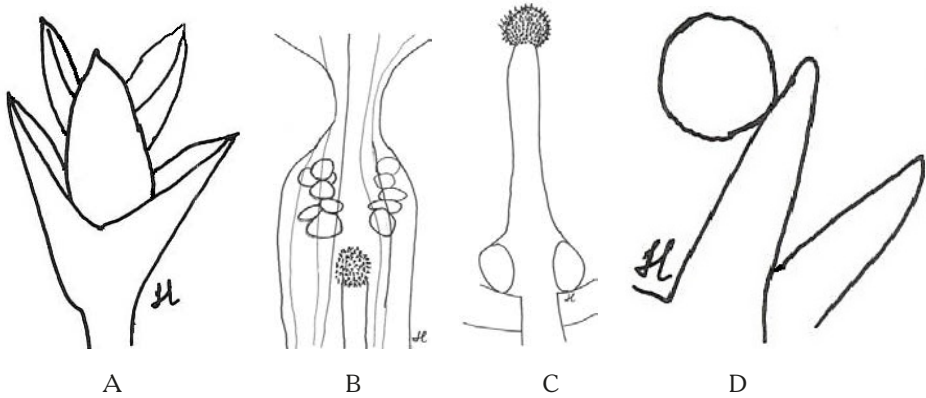
Fuente: Esquemático por Jeremías Cruz-Cruz, UAAAN, CBG-IPN.

Flor: Las flores tienen brácteas, dispuestas en series. Son de color verde, cóncavas, imbricado-decusadas, soldadas entre sí y más pequeñas que las flores. Las flores son blancas o ligeramente amarillentas, alargadas, con un ensanchamiento central, por encima del cáliz, que es de color verde. El número va de una a nueve flores por inflorescencia (figura 3).

Los pétalos son de color blanco o blanco amarillento. El pétalo superior es más largo que los otros; el inferior es más ancho que largo y posee, además, dos pétalos laterales que son los más delgados. Los pétalos están irrigados por ases conductores de dos a ocho que se originan en la base. Recorren el tubo corolario hacia la orilla donde terminan abruptamente (figura 2).

Los pétalos cubren totalmente las estructuras reproductoras, las cuales se encuentran en la zona del ensanchamiento, donde los estambres, cuyos filamentos están adheridos a la corola, se separan para formar ocho anteras que posteriormente se llenan de polen (figura 2).

Figura 2
 Detalles de la flor de orégano.



Fuente: Esquemático por Jeremías Cruz-Cruz, UAAAN, CBG-IPN.

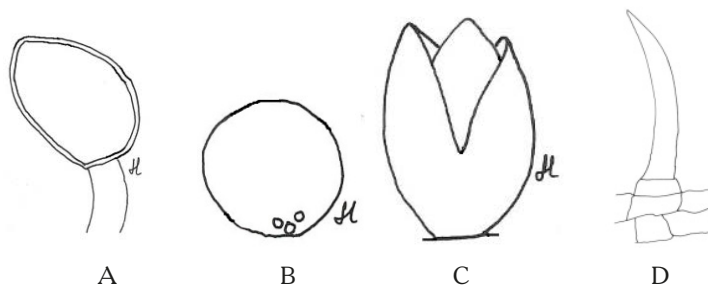
- A) Sección basal de la florescencia de orégano mostrando las brácteas en posición alternada.
- B) Detalle de la flor, mostrando el angostamiento de la corola, los sacos polínicos y el ápice del estigma.
- C) Estigma con ovario súpero y en la parte superior el estigma cubierto de prolongaciones receptoras de los granos de polen. Las líneas verticales corresponden a ases conductores que irrigan la flor.
- D) Detalle de una protuberancia del ápice del estigma y un grano de polen adherido.

El gineceo tiene un ovario súpero, bilobulado, de base ancha donde se encuentran los óvulos, posteriormente, toma forma tubular hasta que se ensancha para alojar los estambres. En el último tercio, el tubo corolario se angosta para abrirse finalmente y separar los pétalos. El gineceo es una estructura libre, central, que en etapa temprana se ensancha en la punta. Cuando está maduro, la estructura es delgada y muestra una punta cubierta de proyecciones terminadas en punta, que es donde se adhieren los granos de polen (figura 2).

El cáliz es de color verde pálido. Al retirar las brácteas que rodean el tallo interno de la inflorescencia, queda expuesto el cáliz que sostienen las flores, con orientación alterna en la inflorescencia (figura 2).

Los tricomas tienen una longitud máxima de 0.75 mm de longitud. Son huecos, se unen a la hoja por estructuras especializadas (figura 3). Los tricomas y las estructuras están presentes en todas las hojas y en la inflorescencia. Se pueden observar tricomas alargados o glandulares.

Figura 3
Detalle de estructuras de orégano *Lippia graveolens* Kunth s.l. de Reynosa, Tamaulipas.



Fuente: Esquemático por José Luis Hernández-Mendoza, CBG-IPN.

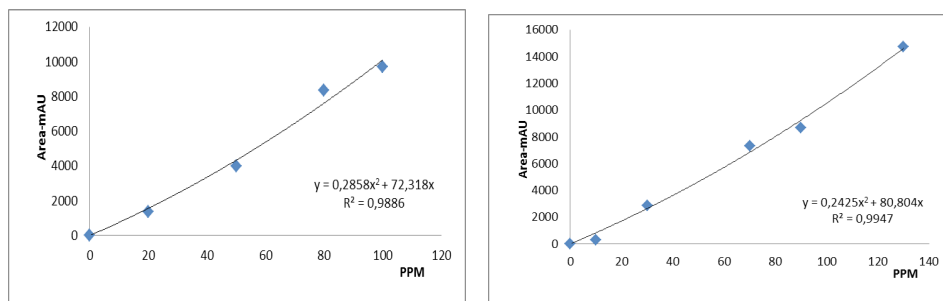
- A) Saco polínico y pecíolo que lo une a la corola tubular.
- B) Detalle de grano de polen.
- C) Semilla de orégano mostrando el embrión.
- D) Tricoma típico que se encuentra distribuido en la flor del orégano.

Aceites esenciales

En la figura 4, (la curva de calibración, estimada con diluciones de los estándares de carvacrol y de timol) se calcula que se pueden detectar valores en soluciones problema, comprendidos entre 20 y 100 ppm.

Figura 4

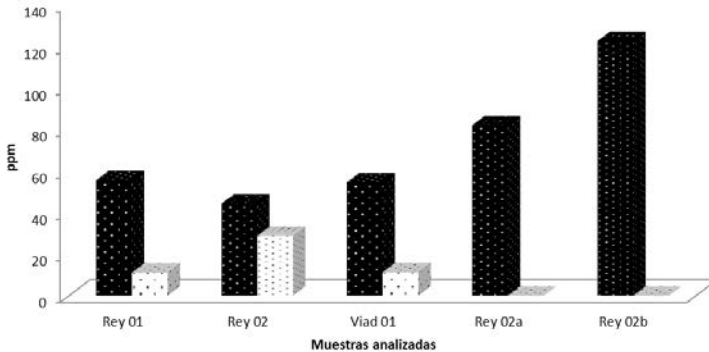
Curva de calibración del carvacrol (izq.) y timol (der.) a partir de las cuales se estiman los valores en las poblaciones estudiadas.



Cuantificación de los extractos de *Lippia graveolens* Kunth s.l.

Las muestras analizadas del municipio de Reynosa, Tamaulipas, por sus contenidos de carvacrol y timol, se estima, corresponden al quimiotipo carvacrol, pues es el que presenta las mayores concentraciones; esto sin haber realizado los análisis de sesquiterpenos para completar este dictamen. La presencia del timol permite dar valor agregado a esta planta por la actividad antimicrobiana que le caracteriza (figura 5).

Figura 5
Cuantificación de carvacrol (barras negras) y timol (barras blancas), en muestras de orégano obtenidas de Reynosa, Tamaulipas.



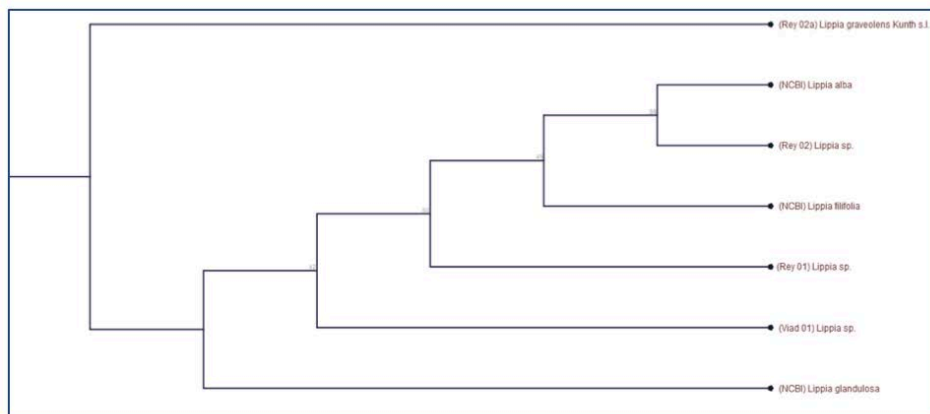
(ppm: partes por millón. Sitios de muestreo descritos anteriormente).
(Rey= Reynosa; Viad= Viaducto Noreste).

Identificación molecular

Los fragmentos amplificados de la región ITS muestran una longitud de 600 pb; el análisis bioinformático de las secuencias amplificadas, reportó una homología del 98 % con *Lippia graveolens* Kunth s.l.; los fragmentos amplificados se alinearon en el programa CLC Sequence Viewer 7.6 ®; se midió la distancia de los nucleótidos y, posteriormente, se generó un árbol filogenético, aplicando el método Neighbor Joining y Jukes-Cantor, realizando el análisis de bootstrap con 1000 réplicas. El dendrograma obtenido agrupó las accesiones con base en las distancias filogenéticas y, al hacerlo, se incluyeron a manera de testigos las secuencias reportadas en el NCBI (National Center for Biotechnology Information) de *Lippia filifolia*, *Lippia glandulosa* y *Lippia alba* (figura 6).

Figura 6

Dendrograma de poblaciones de *Lippia spp* y *Lantana sp* en Reynosa, Tamaulipas, con base en secuencias nucleotídicas.



En función de lo anterior, la especie a la que corresponden las poblaciones de orégano que fueron detectadas en esta región corresponden a *Lippia graveolens* Kunth s.l.

Discusión

Las especies de la familia Verbenaceae han desarrollado adaptaciones en una aparente plasticidad génica, por lo que son adaptables a diversos medios ambientes (Yuan *et al.*, 2009; Marx *et al.*, 2010; Lu y Olmstead, 2013). El género *Lippia* spp., comprende alrededor de 200 especies (Atkins, 2004), de acuerdo a Quezada *et al.*, 2011. *Lippia graveolens* Kunth s.l., está ampliamente distribuida en México, sobre todo en regiones serranas. En el estado de Tamaulipas, está reportado en los municipios de Jaumave, Bustamante, Miquihuana, Tula, Llera, Victoria, Casas, Burgos, Padilla, Hidalgo, San Carlos, San Nicolás, Cruillas y Méndez.

Estudios realizados por Quiroz *et al.*, 2016, enfocados a la distribución real y potencial del orégano mexicano, con base en los registros de diversas bases de datos, no revelaron la presencia de *Lippia graveolens* Kunth s.l., en la parte norte de la planicie costera del Golfo de México, donde esta especie no había sido reportada (26°01'0"N 98°14'0"W - Reynosa, Tamaulipas), ubicado a más 120 km en línea recta del último sitio descrito (25°06'37.8"N 98°36'26.5"W - Méndez, Tamaulipas).

Las muestras de orégano analizadas en este trabajo de investigación, se tipificaron por la presencia de terpenoides, de los cuales, según las cantidades de carvacrol, timol y sesquiterpenos, sirven para designarlos (Castillo *et al.*, 2007; Acosta, 2011; Martínez *et al.*, 2014).

En este caso, se cuantificó sólo timol y carvacrol y, de acuerdo con sus contenidos, corresponden al quimiotipo carvacrol, a diferencia de otras especies como *Lippia berlan-*

dieri (Cáceres *et al.*, 2013), donde el quimiotipo principal es el timol, presentando valores de 3.569 ppm y carvacrol de 2.066 ppm. Esta detección, en el presente estudio, es relevante pues el compuesto principal tiene función como antibiótico, antioxidante y antiparasitario (Pino *et al.*, 2006; Arana *et al.*, 2010; Rocha *et al.*, 2007).

Para la ubicación taxonómica de plantas, la región intergénica, se ha postulado como “código genético de barras” (Hollingsworth *et al.*, 2009; Hebert *et al.*, 2003; Chase *et al.*, 2005) y en este estudio, demostró su capacidad para la identificación de la especie. Esto se constituye en un avance para contribuir a la estrategia de identificación taxonómica de especies de plantas de múltiples intereses. Finalmente, las muestras estudiadas, al ser sometidas al análisis BLASTN del NCBI, demostraron homología con *Lippia* sp., convirtiéndose este caso en la primera evidencia de la presencia de *Lippia graveolens* Kunth s.l. en la frontera de México y Texas.

Conclusión

La presente investigación reporta, por primera vez, poblaciones de orégano mexicano en la parte norte de la planicie costera del Golfo de México, donde la altitud es inferior a los 100 msnm, los suelos calcáreos, y es, además, un área totalmente fuera de los sitios de distribución típicos de la especie. El uso de herramientas moleculares basadas en ITS *´*s contribuyó a la ubicación taxonómica; las secuencias reportadas en el NCBI, así como las poblaciones aquí analizadas, tienen alta homología con varias especies de *Lippia* spp, algunas de ellas consideradas como sinónimo de *L. graveolens* Kunth y de *L. berlandieri* Shauer.

Agradecimientos

Trabajo financiado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Hernández-Mendoza, J.L., es becario COFAA-IPN, EDI-IPN y del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-1). Bazán Cruz, B. y Cruz Cruz, J., alumnos de pregrado en estancia, en el laboratorio de biotecnología experimental.

Literatura citada

- Acosta, A.V. (2011). *Variación en la composición química del aceite esencial de Lippia graveolens, en poblaciones silvestres de Yucatán, y su relación con factores edafoclimáticos*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. México.
- Arana, S. A.; Estarrón, E. M.; Obledo, V. E. N.; Padilla, C. E.; Silva, V. R. and Lugo, C. E. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* H. B. K.) with different composition when microencapsulated in β -cyclodextrin. *Letters in Applied Microbiology* 50: 585–590.
- Atkins, S. (2004). Verbenaceae. In: Kadereit, J. W. (ed.). *The families and genera of flowering plants*. Vol. 7. Springer-Verlag, Berlin. 449-468 Pp.
- Bárceñas, R. T.; Yesson, C. and Hawkins, J. A. (2011). Molecular systematics of the Cactaceae. *Cladistics* 27: 470–489.
- Cáceres, R. I.; Colorado, V. R.; Salas, M. E.; Muñoz, C. L. N. y Hernández, O. L. (2013). Actividad Antifúngica *in vitro* de Extractos Acuosa de Especies contra *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata*,

- Geotrichum candidum*, *Trichoderma* spp., *Penicillium digitatum* y *Aspergillus niger*. *Revista mexicana de fitopatología* 31(2): 105-112.
- Cazares, A. N. P.; Almeyda, L. I. H.; Pecina, Q. V.; Verde, S. J. y Villavicencio, G. E. E. (2010). Caracterización molecular y producción de aceites esenciales de diferentes genotipos de orégano (*Lippia* sp.). *Rev. Mex. Cien. For.* 1(1): 85-94.
- Castillo, Q. D. (1991). Distribución y ecología del orégano en el municipio de General Cepeda Coahuila. En: Meléndez, G. R. S.; Ortega, S. A. y Peña, R. R. (eds). *Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México*. Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Chapingo. Bernalillo, Durango. México.
- Castillo, H. G. A.; García, F. J. A. and Estarrón, E. M. (2007). Extraction method that enriches phenolic content in oregano (*Lippia graveolens* H. B. K) essential oil. *J Food Process Eng.* 30(6): 664 – 669.
- Chase, M. W.; Salamin, N.; Wilkinson, M.; Dunwell, J. M.; Kesanakurthi, R. P.; Haidar, N. and Savolainen, V. (2005). Land plants and DNA barcodes: short-term and longterm goals. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 360: 1889-1895.
- Granados, S. D.; Martínez, S. M.; López, R. G. F.; Borja, D. A. y Rodríguez, Y. G. A. (2013). Ecología, Aprovechamiento y Comercialización del Orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) en Mapimí, Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19 (2): 305-321.
- Griffith, T. M. y Sultan, S.E. (2006). Plastic and constant developmental traits contribute to adaptive differences in co-occurring Polygonum species. *Oikos.* 114:5-14.
- Hebert, P. D. N.; Ratnasingham, S. and de Waard, J. R. (2003). Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit I divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270 (Suppl 1): S96–S99.
- Hollingsworth, M. L.; Andra, C. A.; Forrest, L. L.; Richardson, J.; Pennington, R. T.; Long, D. G.; Cowan, R.; Chase, M. W.; Gaudeul, M. and Hollingsworth, P. M. (2009). Selecting barcoding loci for plants: evaluation of seven candidate loci with species-level sampling in three divergent groups of land plants. *Molecular Ecology Resources* 9: 439–457.
- Huerta, C. (1997). Orégano Mexicano: Oro vegetal. CONABIO. *Biodiversitas* 15: 8-13.
- Katsiotis, A.; Nikoloudakis, N.; Linos, A.; Dorssou, A. and Constantinidis, T. (2009). Phylogenetics relationships in *Origanum* spp. Based on rDNA sequences and intra-genetic variation of Greek *O. vulgare* subsp hitum revealed by RAPD. *Scientia Horticulturae* 121: 103-108.
- Lohmann, L. G. (2006). Untangling the phylogeny of Neotropical lianas (Bignoniaceae, Bignoniaceae). *American Journal of Botany* 93: 304–318.
- Lu, I. P. and Olmstead, R. G. (2013). Investigating the evolution of Lantaneae (Verbenaceae) using multiple loci. *Botanical Journal of the Linnean Society* 171: 103-119.
- Martínez, N. D. A.; Parra, T. V.; Ferrer, O. M. M. and Calvo, I. L. M. (2014). Genetic diversity and genetic structure in wild populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* H.B.K.) and its relationship with the chemical composition of the essential oil. *Plant Syst Evol.* 300: 535–547.
- Marx, H. E.; O’Leary, N.; Yuan, Y. W.; Lu, I. P.; Tank, D. C.; Múlgura, M. E. and Olmstead, R. G. (2010). A molecular phylogeny and classification of Verbenaceae. *American Journal of Botany* 97(10): 1647–1663.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI), U.S. National Library of Medicine 8600 Rockville Pike, Bethesda MD, 20894 USA. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Novak, J.; Lukas, B.; Bolzer, K.; Grausgruber, G. S. and Decenhardt, J. (2008). Identification and characterization of simple sequence repeat markers from glandular *Origanum vulgare* expressed sequence tag. *Molecular Ecology Resources* 8: 599-601.
- O’Leary, N.; Dehan, S. S.; Salimena, F. and Múlgura, M. E. (2012). Species delimitation in *Lippia* section *Goniostachyum* (Verbenaceae) using the phylogenetic species concept. *Botanical Journal of the Linnean Society* 170: 197-219.
- Olhagaray, E.; Serrato, R.; Del Río, F. y Casas, A. (2005). *Cuantificación de orégano (Lippia berlandieri Shawer) en diez localidades del municipio de Nazas, Durango, México*. 2^{da} Reunión Nacional sobre Orégano. Centro de Investigación para los Recursos Naturales.

- Pino, J. A.; Marbot, R.; Payo, A.; Chao, D. and Herrera, P. (2006). Aromatic plants from Western Cuba. VIII. Composition of the leaf oils of *Psidium wrightii* Krug et Urb., *Lantana involucrata* L., *Cinnamomum montanum* (Sw.) Berchtold et J. Persl. and *Caesalpinia violaceae* (Mill.) Standley. *Journal of Essential Oil Research* 18(2): 170-174.
- Quezada, F. H.; Sánchez, R. G.; Lara, V. M.; Medina, M. T.; y Pérez, Q. L. M. (2011). Parámetros ambientales y abundancia del orégano mexicano (*Lippia graveolens*) en el estado de Tamaulipas. *Ciencia UAT*. 6(1): 24-31.
- Quiroz, V. J. D. C.; Reyes, L. M.; García, O. J.; Salazar, B. A.; Bazán, C. B. E. y Hernández, M. J. (2016). Factores climáticos, geográficos y fisiográficos que contribuyen a la distribución potencial del orégano (*Lippia* spp.) en México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 69: 21-25.
- Rocha, G. N. E.; Gallegos, I. J. A.; González, L. R. F.; Ramos, G. M., Rodríguez, M. M. E.; Reynoso, C. R.; Rocha, U. A. and Roque, R. M. R. (2007). Antioxidant effect of oregano (*Lippia berlandieri* vs. Shauer) essential oil and mother liquors. *Food Chemistry* 102: 330–335.
- Treviño, J. y Valiente, A. (2005). La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. En: Barrientos, L.; Correa, A. Horta, J. V. y García, J. (Eds). *Biodiversidad Tamaulipeca*. Vol I. Dirección General de Educación Superior Tecnológica. Instituto Tecnológico de Cd Victoria. México.
- Troncoso, W. (1974). Los géneros de Verbenáceas de Sudamérica extratropical. *Darwiniana*. 12: 256-292.
- Villavicencio, G. E. (2010). *Metodología para determinar las existencias de orégano* (*Lippia graveolens* H.B.K.) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila. INIFAP. 29 pp.
- Yuan, Y. W. and Olmstead, R. G. (2008). A species-level phylogenetic study of the Verbena complex (Verbenaceae) indicates two independent intergeneric chloroplast transfers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48 (1): 23-33.
- Yuan, Y.W.; Liu, C.; Marx, H. E. and Olmstead, R. G. (2009). The pentatricopeptide repeat (PPR) gene family, a tremendous resource for plant phylogenetic studies. *New Phytol.* 182: 272–283.

Recepción: 01 de marzo de 2017

Envío arbitraje: 15 de marzo de 2017

Dictamen: 14 de diciembre de 2017

Aceptación: 15 de enero de 2018



Título: *Lippia Graveolens*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Técnica: Acuarelas
Medidas: 10.7 cm x 10.7 cm

Concentraciones de cobre y zinc en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en dos lagunas costeras del norte de Sinaloa, México

Copper and zinc concentrations in the oyster *Crassostrea gigas* cultivated in two coastal lagoons from northern Sinaloa, Mexico

**Andrés Martín Góngora-Gómez, Manuel García-Ulloa,*
Brenda Paulina Villanueva-Fonseca, Ana Laura Domínguez-
Orozco, Juan Antonio Hernández-Sepúlveda**

Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR)
Unidad Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250,
Col. San Joachin, Guasave, Sinaloa, México, C.P. 81101.
*Correspondencia: turbotuag@hotmail.com

Resumen

Los ostiones, por ser bivalvos sésiles y filtradores, son usados comúnmente como biomonitores de compuestos tóxicos. Los rangos de concentración de cobre y zinc del tejido de *Crassostrea gigas* de dos granjas de cultivo en el norte de Sinaloa (El Colorado, Ahome y La Pitahaya, Guasave). Durante las temporadas de seca y lluvia de 2005 fueron 0.73-204.38 y 102.38-622.62 $\mu\text{g/g}$ (peso seco), respectivamente. La concentración de los metales fue diferente por estación y granja debido a los diversos aportes en cada sitio. En ambas granjas el orden de acumulación de metales fue $\text{Zn} > \text{Cu}$, presentando los valores más altos en lluvias. De acuerdo a las normas sanitarias internacionales, los niveles de Cu en ostiones de ambas granjas sobrepasaron los niveles permisibles, por lo que el consumo de ostiones provenientes de las dos granjas representó un riesgo para la salud humana. El presente trabajo cobra relevancia por la información obtenida comparada con aquella reportada a lo largo del tiempo para dichos metales en los sitios de cultivo estudiados.

Abstract

The oysters are sessile and filter-feeding bivalves, commonly used as biomonitors of toxic compounds. The ranges of concentrations of copper and zinc of the soft tissues of *Crassostrea gigas* from two cultivation farms located in northern Sinaloa (El Colorado, Ahome and La Pitahaya, Guasave). During the rainy and dry season in 2005 were 0.73-204.38 and 102.38-622.62 $\mu\text{g/g}$ (dry weight), respectively. The concentration of metals was different between seasons and farms due to diverse contributions at each site. In both farms the order of accumulation of metals was $\text{Zn} > \text{Cu}$, presenting the highest values in rainy season. According to the international sanitary standards, the levels of Cu in oysters of both farms surpassed the permissible levels, so that the consumption of oysters coming from the two farms represent a risk for human health. The present work becomes relevant for the information obtained compared to that reported over time for such metals in the sites of studied cultivation.

Palabras clave

Contaminación, metales, bivalvos, acuacultura, actividades antropogénicas, depuración.

Keywords

Pollution, metals, bivalves, aquaculture, anthropogenic activities, purification.

Introducción

El ostión del Pacífico o japonés, *Crassostrea gigas*, es la especie de molusco bivalvo más cultivada en el mundo, para el cual, se reportó un volumen de cosecha de 555,994 toneladas en el año 2013 (FAO, 2015). Su cultivo con fines comerciales inició en México en la década de los setenta, específicamente en el Golfo de California, lugar para el cual, se registró un aumento significativo en la producción, desde 407.27 toneladas en 2006, hasta 3,042 toneladas cosechadas en 2014 (SAGARPA, 2015).

En general, las granjas de ostión están ubicadas a lo largo de franjas costeras (esteros y lagunas) donde las altas concentraciones de productividad natural (Brusca *et al.*, 2017), aseguran el desarrollo de los bivalvos desde la siembra hasta su cosecha. Sin embargo, tales cuerpos de agua están también continuamente expuestos a contaminantes provenientes del arrastre de agua por los ríos que desembocan al mar y de desechos derivados de actividades antropogénicas (agricultura, acuacultura y minería, entre otros), los cuales son vertidos en canales, distritos de riego, ríos, para al final, escurrirse a esteros y lagunas costeras (Cadena-Cárdenas *et al.*, 2009).

Las áreas tradicionales para el cultivo de ostión en el norte del estado de Sinaloa, dentro del Golfo de California, están rodeadas por intensa actividad agrícola que consta de alrededor de 350,000 hectáreas de cultivo para maíz, jitomate, frijol y algodón, entre otros (Honorable Ayuntamiento de Guasave, 2016). De hecho, por su alta producción agrícola, esta parte del país es reconocida como el “Granero de México”. Por otro lado, más de 50 granjas para el cultivo de camarón se encuentran localizadas también en la parte norte del estado. Ambas actividades utilizan compuestos químicos en sus procesos productivos (fertilizantes, aditivos, pesticidas, medicamentos, etcétera) que se diluyen y son transportados por los cauces de los ríos, desembocando en el mar (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2015), justo donde operan las granjas de ostión. Por ejemplo, Escobedo-Urías (2010) reportó que el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, ubicado en el municipio de Guasave, Sinaloa, recibió 1,243.1 toneladas de nitrógeno orgánico y 37 toneladas de fósforo inorgánico derivado de la agricultura y la acuacultura en 2007. En ese mismo año, se utilizaron 6,500 toneladas de captan (fungicida con base en pentaclorofenol) en 5,000 hectáreas de cultivo en el norte del estado (Gómez-Arroyo *et al.*, 2013). Como todos los moluscos bivalvos, los ostiones son organismos sedentarios con hábitos alimenticios por filtración de agua, lo que los hace susceptibles a acumular contaminantes en sus tejidos (Páez-Osuna *et al.*, 1995), aun a concentraciones mayores que las que se pueden encontrar en el medio ambiente.

Los metales pesados se enlistan entre los contaminantes más comunes que los ostiones pueden acumular (Osuna-Martínez *et al.*, 2011; Vázquez-Boucard *et al.*, 2014), situación que los convierte en vectores de posibles afecciones para la salud humana ya que

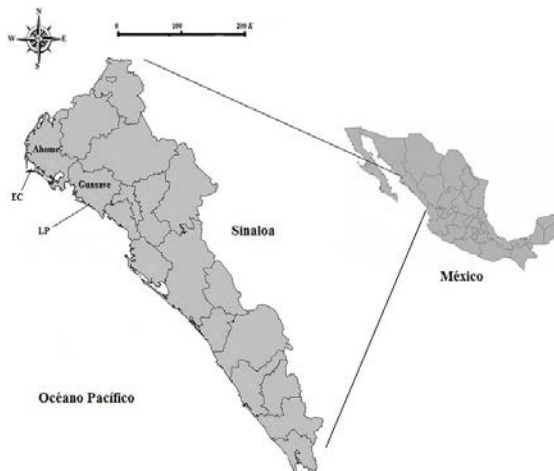
se consumen frescos. Debido a su alto grado de toxicidad, importancia en la salud pública (WHO, 1996) y continuo uso en las actividades agrícolas y acuícolas en el norte del estado de Sinaloa (Páez-Osuna *et al.*, 1993; Gómez-Arroyo *et al.*, 2013), el cobre (Cu) y zinc (Zn) representan metales de alta prioridad para ser evaluados en el cultivo de ostión como potenciales amenazas para la salud pública debido a su consumo.

Este trabajo tiene como objetivo reportar y comparar los contenidos de Cu y Zn en tejido de *C. gigas* cultivado en el estero La Pitahaya (Guasave) y la bahía El Colorado (Ahome), Sinaloa, México, en las temporadas de lluvias (abril) y secas (agosto) del año 2005, a fin de evaluar su riesgo potencial por su consumo en crudo, contrastar los resultados obtenidos con aquellos reportados para esta especie en la misma zona en años subsiguientes, y sugerir medidas de control.

Materiales y métodos

Las muestras fueron obtenidas de granjas ubicadas en el estero La Pitahaya (25°21'-25°24'N y 108°30'-108°45'O), municipio de Guasave, y la bahía El Colorado (26°06'-26°32'N y 109°01'-109°20'), municipio de Ahome, del norte de Sinaloa (figura 1).

Figura 1
Localización de los sitios de cultivo: EC = El Colorado, Municipio de Ahome; LP = La Pitahaya, Municipio de Guasave, en el estado de Sinaloa, México.



La granja de Guasave está localizada dentro del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (22,314 hectáreas de área superficial), el cual está rodeado por mangle y una población de cerca de 91,500 personas (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2015); presenta características marinas por su permanente conexión con el Golfo de California mediante dos bocas. Su clima es templado-subhúmedo con lluvias en verano (INEGI,

2018). La principal actividad en sus alrededores continentales se caracteriza por contar con 105,000 hectáreas de intensa actividad agrícola que es sostenida por la aplicación de altos niveles de fertilizantes y pesticidas (Hernández-Cornejo *et al.*, 2005), 6,620 hectáreas destinadas al cultivo de camarón (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2015), además de recibir por arrastre, desperdicios municipales de la ciudad de Guasave (Ruíz-Luna y de la Lanza, 1999).

La granja de Ahome está localizada dentro de la laguna El Colorado, es parte del sistema lagunar Agiabampo-Bacorehuis-Río Fuerte Antiguo y recibe los aportes del río Fuerte y drenes agrícolas El Colorado y Pascola (Cárdenas, 2007). Presenta un clima seco-desértico con lluvias en verano (INEGI, 2018), y conexión permanente con el Golfo de California mediante una boca situada al suroeste de la laguna. Está rodeado por barras de arena, al igual que actividades agrícolas (cultivo de frijol, garbanzo y algodón) y acuícolas (cultivo de camarón) (Colín-Rangel, 2007).

Las semillas de ostión ($n = 7,000$; 3-4 mm largo de la concha —desde umbo a la parte más distal de la concha— y 0.05 g de peso) fueron adquiridas del laboratorio del Instituto de Acuicultura de Sonora (CREMES), situado en Bahía Kino, Sonora, México; aclimatadas (Gallo-García *et al.*, 2001) y cultivadas en canastas suspendidas a un sistema de “línea-madre” (García-Ulloa *et al.*, 2008). Las semillas fueron sembradas en ambas granjas a mediados de noviembre del 2004.

Se colectaron 60 ostiones de talla comercial (>80 mm de largo de la concha) por granja en cada temporada de muestreo (secas=abril y lluvias=agosto de 2005), se enjuagaron con agua de mar y se colocaron en bolsas de polietileno previamente lavadas con ácido nítrico (NH_3) al 30% para su transporte al laboratorio. Los bivalvos fueron limpiados para, posteriormente, ser sacrificados y desconchados. Se seleccionaron ostiones de similar tamaño en cada muestreo para limitar el efecto de la talla como una fuente de variación en los resultados. El tejido suave se removió de las conchas con un cuchillo para, después, ser enjuagado con agua bidestilada. Las muestras fueron secadas por liofilización, pulverizadas y homogenizadas en cuartos para que las fracciones fueran iguales en su composición. El peso fresco y seco de las muestras fue registrado usando una balanza digital (0.001 g). Se utilizaron químicos de alta calidad (grado GR, Merck Company) para evitar la contaminación de equipo y material por residuos de metal.

Las muestras (1.2-1.3 g, peso seco) fueron colocadas en envases para digestión de 50 ml equipados con válvulas de seguridad, y digeridas con 3 ml NH_3 (70%) y 0.5 ml de H_2O_2 (30%) en un digestor de microondas (Parr Physica Multiwave Six Place), primeramente a 300 W por 5 minutos, y después a 600 W durante 10 minutos. Una vez digeridas, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente durante 20 minutos, fueron diluidas en 10 ml de agua desionizada y guardadas en refrigeración (0-5 °C) en viales de polietileno etiquetados hasta su análisis.

Las concentraciones de Cu y Zn fueron analizadas usando un espectrofotómetro de absorción atómica de flama (Perkin-Elmer, ICP Optima 31000). Los límites de detección para Cu y Zn fueron 0.032 y 0.039 $\mu\text{g/g}$ peso seco, respectivamente. La precisión de la metodología fue evaluada probando estos valores por duplicado y comparándolos

con los obtenidos con el material de referencia (1566b para ostiones, National Bureau of Standards, NBS), los cuales fueron añadidos simultáneamente en cada digestión. Los porcentajes de recuperación del Cu y Zn fueron 96.98 y 95.33%, respectivamente. Las concentraciones de metales pesados se calcularon con base en peso seco ($\mu\text{g/g}$).

Se aplicó estadística descriptiva (promedio, desviación estándar) a los valores de metales y se obtuvo el coeficiente de variación (CV) para evaluar la confiabilidad de los datos con relación al efecto de las granjas y el peso promedio de los ostiones muestreados en cada temporada. Debido a que los datos mostraron ser no homogéneos, los valores promedio de las dos granjas y las dos temporadas fueron comparados usando estadística no paramétrica (pruebas de Kruskal-Wallis y Dunn). Para cada granja y por temporada, se usaron correlaciones entre los dos metales. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa STATISTICA (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA), a un nivel de significancia de $P < 0.05$.

Resultados

Las concentraciones de Cu y Zn mostraron tendencias diferentes para las dos temporadas en las dos granjas. Se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las concentraciones de cada metal, comparando los dos esteros en temporada de seca y lluvia ($P = 0.02$ y $P = 0.03$ para Cu y Zn, respectivamente). El nivel promedio de Cu fue más alto para La Pitahaya en lluvias ($130.42 \pm 39.43 \mu\text{g/g}$, p.s.), mientras que los ostiones de El Colorado registraron la concentración más baja de este metal en la temporada de secas ($41.76 \pm 10.50 \mu\text{g/g}$, p.s.; cuadro 1). En el caso del Zn, el nivel más alto se encontró durante la temporada de lluvias en La Pitahaya ($324.86 \pm 55.47 \mu\text{g/g}$, p.s.), y el más bajo en los ostiones de El Colorado ($184.88 \pm 27.38 \mu\text{g/g}$, p.s.) en época de secas (cuadro 2).

Cuadro 1

Estadística descriptiva de la concentración de Cu en *Crassostrea gigas* cultivado en El Colorado (EC) y La Pitahaya (LP), Sinaloa, México, en temporada de lluvia y seca de 2005.

Cu	EC Lluvia	EC Seca	LP Lluvia	LP Seca
Promedio	66.23 ^b (52.98)*	41.76 ^a (33.40)	130.42 ^c (104.33)	71.11 ^b (56.88)
Desviación estándar	34.92	10.50	39.43	15.81
CV (%)	52.72	25.14	30.23	22.23
Máximo	155.41	64.85	204.38	126.6
Mínimo	0.73	21.94	52.22	44.30

*Número en negrita = promedio de peso en base fresca ($\mu\text{g/g}$). En la línea de los valores promedio, las letras superscriptas denotan diferencias significativas, $P \leq 0.05$ (análisis no paramétrico). CV = coeficiente de variación.

Cuadro 2

Estadística descriptiva de la concentración de Zn en *Crassostrea gigas* cultivado en El Colorado (EC) y La Pitahaya (LP), Sinaloa, México, en temporada de lluvia y seca de 2005.

Zn	EC Lluvia	EC Seca	LP Lluvia	LP Seca
Promedio	269.15 ^c (215.32)*	184.88 ^a (147.90)	324.86 ^d (259.88)	217.32 ^b (173.32)
Desviación estándar	68.07	27.38	55.47	60.04
CV (%)	25.29	14.81	17.07	27.63
Máximo	533.12	231.47	475.52	622.62
Mínimo	102.38	122.98	173.29	167.42

*Número en negrita = promedio de peso en base fresca ($\mu\text{g/g}$). En la línea de los valores promedio, las letras superscriptas denotan diferencias significativas, $P \leq 0.05$ (análisis no paramétrico). CV = coeficiente de variación.

El CV para el Cu, fluctuó entre 22.23% obtenido para los bivalvos de La Pitahaya en la seca, hasta 52.72% mostrado por los ostiones de El Colorado en lluvia (cuadro 1). Por otro lado, el menor CV para el Zn fue obtenido en El Colorado durante la seca (14.18%), mientras que el valor más alto se observó en La Pitahaya, también en la seca (27.63%; cuadro 2). En ambas granjas el orden de acumulación de metales fue $\text{Zn} > \text{Cu}$, presentando los valores más altos en lluvia. Las correlaciones entre Cu-Zn variaron desde $r=0.38$ en La Pitahaya durante la seca, hasta $r=0.88$ obtenido en lluvias para El Colorado.

Discusión

Los valles del norte y centro del estado de Sinaloa son considerados, desde hace décadas, como áreas de producción de alimentos en los que se despliega una intensa actividad agrícola, cuya tecnología requiere del aporte de grandes cantidades de agroquímicos y fertilizantes basados en la presencia de Cu y Zn (Frías-Espiricueta *et al.*, 2009); y por lo mismo, existen varios reportes a lo largo de los años en o cerca de las granjas estudiadas acerca de la acumulación de estos metales en organismos “centinela” o indicadores—como son los ostiones—, ya sea de poblaciones naturales o de granjas de cultivo.

Por ejemplo, Páez-Osuna *et al.* (1991) recolectaron ejemplares de *Sacosstrea palmyra* y *C. corteziensis* de la bahía Navachiste—donde se localiza el estero La Pitahaya— para analizar la acumulación de Cu y Zn en el tejido suave de estas especies, y reportaron niveles promedio de 67.4 y 509 $\mu\text{g/g}$ p.s., respectivamente. Las concentraciones promedio de Cu, obtenidas en el presente estudio para esta granja en secas (71.11 $\mu\text{g/g}$ p.s.) y lluvias (130.42 $\mu\text{g/g}$ p.s.), fueron mayores que las reportadas por dichos autores, pero no para las de Zn, que fueron menores de 325 $\mu\text{g/g}$ p.s., en ambas temporadas. En otro estudio realizado por Páez-Osuna *et al.* (2002) en varias lagunas costeras del Pacífico mexicano, obtuvieron niveles de Cu y Zn de 153 $\mu\text{g/g}$ p.s. y 517 $\mu\text{g/g}$ p.s., respectivamente, en el ostión de piedra (*C. corteziensis*) de la laguna Navachiste,

concentraciones que son altas comparadas a las encontradas en este trabajo para las dos temporadas. También con la misma especie de ostión y en la misma laguna, Frías-Espiricueta *et al.* (2009) reportaron niveles promedio de $60.46 \pm 21.11 \mu\text{g/g}$ p.s. para el Cu y $389.58 \pm 114.66 \mu\text{g/g}$ p.s. para el Zn en el tejido suave del ostión, los cuales son mayores para los dos metales comparados con los promedios obtenidos para la granja en el estero La Pitahaya en las dos temporadas de 2005.

En otro trabajo, Osuna-Martínez *et al.* (2011) determinaron la concentración de Cu y Zn en el tejido suave de *C. gigas* habiendo sido cultivado en la Bahía El Colorado, Ahome, y reportaron rangos de 9.1-58.0 y 113.0-478.0 $\mu\text{g/g}$ p.s. para Cu y Zn, respectivamente. Los niveles de Cu obtenidos en el presente trabajo para la misma localidad, se ubicaron por encima (lluvia, $66.23 \pm 34.92 \mu\text{g/g}$ p.s.) y por debajo (seca, $41.76 \pm 10.50 \mu\text{g/g}$ p.s.) del límite máximo registrado por dichos autores. Por otro lado, los valores de Zn estudiados para las dos temporadas se encuentran por debajo del límite mayor reportado por los autores. Vázquez-Boucard *et al.* (2014) reportaron niveles de Zn en un rango entre 405.5 a 987.8 $\mu\text{g/g}$ p.s. en ostiones recolectados de granjas al norte de Sinaloa, siendo mayores a los obtenidos en el presente estudio. Páez-Osuna y Osuna-Martínez (2015) analizaron el contenido de Cu y Zn en *C. corteziensis* de las dos lagunas donde se ubican las granjas de este estudio y registraron 63.3 ± 25.3 y $920 \pm 842 \mu\text{g/g}$ p.s. en El Colorado, y 112.6 ± 109.1 y $685 \pm 604 \mu\text{g/g}$ p.s. en Navachiste, respectivamente. En promedio de las dos temporadas, tanto la concentración del Cu (53.99 en El Colorado; 100.76 en La Pitahaya) como la del Zn (227.01 en El Colorado; 271.09 en La Pitahaya) fueron menores en este trabajo.

Cuando se compararon los valores promedio de Cu y Zn reportados en los diferentes años con los obtenidos en el presente estudio, no se distingue una tendencia geográfica definida, y lo anterior sugiere que la distribución de los metales no depende exclusivamente de las corrientes y mareas en cada lugar, sino también, de otros aspectos como el nivel de exposición al metal, la especie y tamaño de los organismos (Páez-Osuna *et al.*, 1998), y de los aportes de metales propios de cada sitio de cultivo (Frías-Espiricueta *et al.*, 2009), mismos que varían dependiendo del crecimiento y desarrollo de las diferentes actividades antropogénicas. De hecho, los valores de CV en las dos localidades indican una alta variación en los niveles sin mostrar una clara tendencia en la acumulación de los metales estudiados. De manera general, la concentración de metales pesados se incrementa durante la temporada de secas (Páez-Osuna *et al.*, 1995; Chen y Chen, 2003), sin embargo, no sucedió así en este estudio, ya que para ambas granjas, los mayores niveles de Cu y Zn se obtuvieron en ostiones muestreados durante la época de lluvias. Lo anterior puede explicarse por varios factores, incluyendo diferencias estacionales en el suplemento de alimento (productividad), cambios en el arrastre de partículas metálicas en periodos de baja o alta precipitación y variaciones relacionadas al ciclo reproductivo de los ostiones (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2015). Por otro lado, las variaciones en el inicio e intensidad de cada temporada con relación al tiempo de muestreo afectarían de igual manera en las concentraciones de Cu y Zn encontrados. También, las intensas actividades agrícolas y acuícolas que se desarrollan en las zonas estudiadas basadas en la

aplicación de agroquímicos en el suelo y en el uso de aditivos alimenticios, fertilizantes y antibióticos que se vierten en los estanques (Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2015), son factores de variación en los niveles de metales contenido en organismos filtradores. Otras actividades que ayudan a explicar las diferencias en los resultados con relación al tiempo, son la mayor intensidad de la pesca y el turismo que se desarrolla en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, donde se encuentra la granja en el estero La Pitahaya (Ruíz-Luna y de la Lanza-Espino, 1999) —comparado con El Colorado—, y las descargas urbanas de la ciudad de Guasave (Escobedo-Urías, 2010) que contribuyen ocasionalmente con aportes en exceso nutrientes en forma de N y P. El uso de agroquímicos, particularmente fertilizantes con Cu y Zn (UNEP, 2000), son eventualmente lavados del suelo y transportados a las zonas costeras donde las granjas ostrícolas se ubican.

Las normas sanitarias internacionales que fijan los límites máximos de contenido (peso húmedo, p.h.) para Cu y Zn en productos acuáticos, establecen unas concentraciones de 32.5 $\mu\text{g/g}$ p.h. (FAO, 1983) y 718 $\mu\text{g/g}$ p.h. (FDA, 1993), por lo que los niveles de Cu en ostiones de ambas granjas sobrepasaron los niveles permisibles. El consumo de ostiones con altos niveles de Cu puede provocar irritación, vómitos, úlceras y daño hepático (ATSDR, 2004), por lo que las concentraciones registradas en *C. gigas*, cultivado en las dos granjas estudiadas durante 2005, representaron un riesgo para la salud humana. Sin embargo, el efecto de las concentraciones obtenidas de este metal pudiera ser inconsistente por la forma química en que se ingiera (Gómez-Arroyo *et al.*, 2013; Leyva-Morales *et al.*, 2014), lo cual pudiera acelerar o detener su efecto dañino, además de que este molusco es consumido ocasionalmente.

Debido a la constante e intensa actividad agrícola que se ha desarrollado en la región por décadas, a la importancia económica del ostión y al hecho de ser consumido crudo, el presente trabajo cobra relevancia por la información obtenida y vertida comparada con aquella reportada a lo largo del tiempo. Es recomendable el monitoreo periódico de la acumulación de metales en ostiones silvestres y cultivados en el norte de Sinaloa. La persistente presencia desde hace décadas de Cu y Zn en estos bivalvos, a concentraciones que en ocasiones rebasan los límites permisibles sanitarios, obliga a los científicos a implementar un programa de monitoreo permanente en las granjas, y a las autoridades a establecer medidas de control como la depuración de los moluscos antes de su consumo, mover los cultivos a zonas con menos influencia antropogénica y/o el uso de agua esterilizada para disminuir el contenido de dichos metales en los ostiones (Wang y Wang, 2014).

Conclusiones

Al comparar los niveles de metales en ostión con otros reportes en los mismos lugares desde hace más de dos décadas, no se detecta una clara tendencia de acumulación. Las concentraciones de Cu y Zn registradas en tejido de *C. gigas* durante las épocas de seca y lluvia de 2005 fueron influidas por varios factores, entre los cuales destacan las actividades antropogénicas de la región. El consumo de ostiones provenientes de las dos granjas representó un riesgo para la salud humana por rebasar los límites permisibles internacionales del Cu.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo financiero y logístico otorgado al presente trabajo (Proyecto SIP-16345: Concentración de metales pesados en un cultivo de organismos triploides de ostión japonés *Crassostrea gigas* en Isla Los Redos, Ensenada Pabellones, Navolato, Sinaloa), a través de Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado (SIP-IPN) y de la Comisión de Operaciones y Fomento de Actividades Académicas (COFAA-IPN).

Literatura citada

- ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). (2004). *Toxicological profile for cooper*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y de Servicios Humanos de EUA. Servicio de Salud Pública. [Actualizado en el 2007]. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph132.html (Consultada el 20 de marzo de 2017).
- Brusca R. C.; Álvarez-Borrego, S.; Hastings, Ph. A. and Findley, L. T. (2017). Colorado river flow and biological productivity in the Northern Gulf of California, Mexico. *Earth-Science Rivers*. 164: 1-30.
- Cadena-Cárdenas, L.; Méndez-Rodríguez, L.; Zenteno-Savín, T.; García-Hernández, J. and Acosta-Vargas, B. (2009). Heavy metal levels in marine mollusks from areas with, or without, mining activities along the Gulf of California, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 57: 96-102.
- Cárdenas, G. S. (2007). *Modelación hidrodinámica de la laguna costera El Colorado, Ahome, Sinaloa*. Tesis de Maestría, CIIDIR-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa, México.
- Chen Ch.-Y. and Chen M.-H. (2003). Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg concentrations in the oyster of Chi-ku, Tai-shi and Tapeng Bay, Southwestern Taiwan. *J. Food Drug Anal.* 11: 32-38.
- Colín-Rangel, G. (2007). *Drenes Carrizo, Fuerte-Mayo. Ficha Informativa de los Humedales de RAMSAR (FIR)*. <http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR-RAMS/Sonora-Sinaloa.htm> (Consultada el 25 de febrero 2017).
- Escobedo-Urías, D. C. (2010). *Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa*. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México.
- FAO. (1983). *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products*. FAO Fishery Circular No. 464, Roma, Italia. 100 pp.
- FAO. (2015). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Department. Cultured Aquatic Species Information Programme. Crassostrea gigas (Thunberg, 1793)*. <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostreaigigas/en> (Consultada el 24 de julio de 2017).
- FDA (Federal Drug Administration). (1993). *Guidance Document for Lead in Shellfish*. Center for Food Safety and Applied Nutrition United States Food and Drug Administration 200 st., S. W. Washington, D. C., U. S. A. 502 pp.
- Frías-Espicueta, M. G.; Osuna-Páez, I.; Bañuelos-Vargas, I.; López-López, G.; Muy-Rangel, M. D.; Izaguirre-Fierro, G.; Rubio-Carrasco, W.; Meza-Guerrero, P. C. and Voltolina, D. (2009). Cadmium, copper, lead and zinc contents of the mangrove oyster, *Crassostrea corteziensis*, of seven coastal lagoons of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 83: 595-599.
- Gallo-García, M. C., García-Ulloa, M.; Godínez-Siordia, D. y Rivera-Gómez, K. (2001). Estudio preliminar sobre el crecimiento y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México. *Universidad y Ciencia*. 17: 83-91.
- García-Ulloa, M.; Gallo-García, M. C.; Ponce-Palafox, J. T. y Arredondo-Figueroa, J. L. (2008). Efecto de la cal en el control de gusanos barrenadores (Polychaete: Spionidae) en un cultivo experimental de ostión variando el tiempo de inmersión y la frecuencia de aplicación. *Universidad y Ciencia*. 24: 125-134.

- Gómez-Arroyo, S.; Martínez-Valenzuela, C.; Calvo-González, S.; Villalobos-Pietrini, R.; Waliszewski, S. M.; Calderón-Segura, M. E.; Martínez-Arroyo, A.; Félix-Gastélum, R. and Lagarda-Escarrega, A. (2013). Assessing the genotoxic risk for mexican children who are in residential proximity to agricultural areas with intense aerial pesticide application. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29: 217-225.
- Hernández-Cornejo, R.; Koedam, N.; Ruiz-Luna, A.; Troell, M. and Dahdouh-Guebas, F. (2005). Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule lagoon complex, Sinaloa, México. *Ecología y Sociedad* 10: 1-16.
- Honorable Ayuntamiento de Guasave. (2016). *Guasave, Avanzando Juntos*. 2014-2016. http://guasave.gob.mx/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=1573:informacion-de-guasave&catid=121:servicios&Itemid=20 (Consultada el 4 de diciembre de 2016).
- INEGI. (2018). *Instituto Nacional de Geografía e Informática*. <http://guasave.gob.mx/s/informacion-de-guasave-2/> (Consultada el 19 febrero 2018).
- Leyva-Morales, J. B.; García de la Parra, L. M.; Bastidas-Bastidas, P. J.; Astorga-Rodríguez, J. E.; Bejarano-Trujillo, J.; Cruz-Hernández, A.; Martínez-Rodríguez, I. E. y Betancout-Lozano, M. (2014). Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30: 247-261.
- Osuna-Martínez, C. C.; Páez-Osuna, F. and Alonso-Rodríguez, R. (2011). Cadmium, copper, lead and zinc in cultured oysters under two contrasting climatic conditions in coastal lagoons from the SE Gulf of California. *Bulletin on Environmental Contamination and Toxicology* 87: 272-275.
- Páez-Osuna, F. and Osuna-Martínez, C. C. (2015). Bioavailability of cadmium, copper, mercury, lead, and zinc in subtropical coastal lagoons from the Southeast Gulf of California using mangrove oysters (*Crassostrea corteziensis* and *Crassostrea palmula*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 68: 305-316.
- Páez-Osuna, F.; Zazueta-Padilla, H. M. and Izaguirre-Fierro, G. (1991). Trace metals in bivalves from Navachiste lagoon, México. *Marine Pollution Bulletin*. 22: 305-307.
- Páez-Osuna, F.; Gracia, A.; Flores-Verdugo, F.; Lyle-Fritch, L. P.; Alonso-Rodríguez, R.; Roque, A. and Ruiz-Fernández, A. C. (1993). Biochemical composition of the oysters *Crassostrea iridescens* Hanley and *Crassostrea corteziensis* Hertlein in the Northwest coast of Mexico: seasonal changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 170: 1-9.
- Páez-Osuna, F.; Friás-Espericueta, M. G. and Osuna-López, J. L. (1995). Trace metal concentration in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Marine Environmental Research* 40: 19-31.
- Páez-Osuna, F.; Osuna-López, J. I. and Vázquez-Botello, A. V. (1998). *Biomonitorio de la contaminación en las aguas costeras del Pacífico subtropical Mexicano: metales pesados, plaguicidas a hidrocarburos del petróleo*. Informe Técnico Académico Final, Proyecto Conacyt 0185PT, México.
- Páez-Osuna, F.; Ruiz-Fernández, A. C.; Botello, A. V.; Ponce-Vélez, G.; Osuna-López, J. I.; Friás-Espericueta, M. G.; López-López, G. and Zazueta-Padilla, H. M. (2002). Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific Coast of Mexico: an overview. *Baseline/Marine Pollution Bulletin*. 44: 1296-1313.
- Ruiz-Luna, A. y de la Lanza-Espino, G. (1999). *Sistemas rurales de producción camarónicola en Guasave, Sinaloa y norte de Nayarit (descripción física, entorno y ubicación)*. Centro de Investigación, Alimentación y Desarrollo (Unidad Mazatlán) y Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 45 pp.
- SAGARPA. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2015). *Informe de producción y captura*. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion (Consultada el 25 de marzo 2017).
- UNEP. United Nations Environment Programme. (2000). *Overview on land based pollutant sources and activities affecting the marine, coastal and freshwater environment in the Pacific islands region. Nairobi, Kenya*. Technical Report. Nairobi, Kenya.
- Vázquez-Boucard, C.; Anguiano-Vega, G.; Mercier, L. and Rojas del Castillo, E. (2014). Pesticide residues, heavy metals, and DNA damage in sentinel oysters *Crassostrea gigas* from Sinaloa and Sonora, Mexico. *Journal of Toxicology and Environmental Health A*. 77: 169-176.

- Wang, L. and Wang, W. X. (2014). Depuration of metals by the green-colored oyster *Crassostrea siqamea*. *Toxicology & Chemistry*. 33: 2379-2385.
- WHO. (World Health Organization) (1996). *Trace elements in human nutrition and health*. Geneva, Italy. 178 pp.

Recepción: 24 de agosto de 2017
Envío arbitraje: 30 de septiembre de 2017
Dictamen: 15 de febrero de 2018
Aceptación: 01 marzo de 2018



Título: *Equiflora*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Técnica: Acuarelas
Medidas: 21.5 cm x 17.8 cm

Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona centro-este de Cuba

Evaluation of materials collected from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray in the central-eastern part of Cuba

Tomás E. Ruiz,* Jatnel Alonso, Verena Torres, Nurys Valenciaga, Juana Galindo, Gustavo Febles, Humberto Díaz, Raúl Tuero y Ciro Mora

Instituto de Ciencia Animal
Apartado Postal 24
San José de las Lajas
La Habana, Cuba

*Correspondencia: teruizv@ica.co.cu

Resumen

Para estudiar el crecimiento de nueve materiales de *Tithonia diversifolia*, recolectados del centro-este de Cuba, se utilizaron diez repeticiones en un diseño completamente aleatorizado en condiciones de secano. Se determinaron los indicadores altura de planta (cm), número de hojas y ramas, diámetro del tallo (mm) y monitoreo de plagas y enfermedades. Se evaluó cada 15 días, por espacio de 12 semanas. El análisis multivariado mostró que en la estación lluviosa se explica 89.41 % de la variabilidad, y en la seca 95.58 %. Las variables de mayor preponderancia en la lluvia fueron altura, número de hojas y ramas, y diámetro del tallo; en la seca se destacó la altura de planta, número de ramas y diámetro del tallo en la primera componente, y en el otro número de hojas, todas en relación positiva. Durante la lluvia, los materiales 1, 5, 6 y 7 presentaron lenta recuperación después del corte y comenzaron con valores positivos a partir del cuarto muestreo. Mientras 3, 8 y 9 lo hacen desde el tercer muestreo, el resto más pausada. En seca, el indicador estructura al-

Abstract

In order to study the growth of nine *Tithonia diversifolia* materials, collected in central-eastern Cuba, an experiment was conducted using a completely randomized design, with ten replicates and under rainfed conditions. The indicators height of the plant (cm), number of leaves and branches, diameter of the stem (mm) and monitoring of pests and diseases were determined. All were taken every fortnight, for 12 weeks. The multivariate analysis showed that in the rainy season 89.41% of the variability was explained, and in the dry 95.58%. The variables of greatest preponderance in the rain were height, number of leaves and branches, and diameter of the stem, in the dry the height of the plant was emphasized, number of branches and diameter of the stem in the first component and in the other number of leaves all in positive relation. During the rain, materials 1, 5, 6 and 7 presented slow recovery after the cut and started with positive values from the fourth sampling. While 3, 8 and 9 do so markedly from the third sampling, the rest more paused.

canzó los mayores valores con los materiales 8 y 9, seguidos de 3, 4 y 5, y los menores 1 y 6. Para el indicador hoja se presentó igual comportamiento. Todos los materiales alcanzaron valores negativos a partir del quinto muestreo. Los materiales que exhiben de forma estable mayor crecimiento en ambas épocas son 3, 8 y 9, y menor 1 y 6.

Palabras clave

Estudio, botón de oro, arbustiva.

In dry, the structure indicator reached the highest values with materials 8 and 9 followed by 3, 4 and 5, and the minor ones 1 and 6. For the leaf indicator, the same behavior was observed. All materials reached negative values after the fifth sampling. It is concluded that the materials that exhibit more stable growth both in the rainy season and in dry season are 3, 8 and 9, and lower 1 and 6. It is recommended to develop other works with them in order to evaluate their growth curve.

Keywords

Studio, golden button, shrub.

Introducción

Aunque *Tithonia diversifolia* se originó en México, ahora se encuentra ampliamente distribuido en todas las zonas tropicales húmedas y sub húmedas en Centroamérica, América del Sur, Asia y África (Ojeniyi, 2012). Tiene una alta producción de biomasa, debido a su capacidad para aprovechar los nutrientes del suelo (Mustonen *et al.*, 2012).

Los primeros criterios de selección de las especies forrajeras se basan en la capacidad adaptativa a condiciones agroecológicas específicas (Velasco *et al.*, 2014), la cual se expresa en indicadores productivos y morfoagronómicos como producción de biomasa, hoja, tallo y tasa de crecimiento, entre otros. En este sentido Garzón y Mora-Delgado (2014) plantearon que para evaluar materiales de diferente procedencia, una herramienta importante es la toma de indicadores de fácil construcción e interpretación por parte del productor.

En este sentido, Ruíz *et al.* (2014) informaron sobre el comportamiento de diferentes materiales vegetales de *Tithonia diversifolia*, colectados en la región occidental de Cuba en el periodo 2006-2010, y de la confección de una metodología para la colecta de materiales, así como de la elaboración de una tecnología para la producción de biomasa, comportamiento bajo corte, pastoreo, y también para su utilización en el comportamiento biológico y fisiológico de animales que se utilizan para el desarrollo ganadero. Esta investigación recomendó continuar las colectas de esta planta en otras zonas de Cuba.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el crecimiento de nueve materiales de *Tithonia diversifolia*, recolectados en el centro de Cuba.

Materiales y métodos

Tratamientos y diseño

Los tratamientos consistieron en la evaluación de nueve materiales de *Tithonia diversifolia* durante un año, recolectados en el centro-este de Cuba mediante un diseño completamente aleatorizado, con diez repeticiones.

Procedimiento experimental

El trabajo se realizó en un suelo ferrálico rojo, de rápida desecación, arcilloso y profundo sobre calizas (Hernández *et al.*, 2015), con preparación de aradura y dos pases de grada. La precipitación anual es de 1,361 mm, y en los meses de mayo a octubre cae el 77.13 % de las mismas, mientras que de noviembre a abril ocurre el 22.92%. La humedad relativa promedio anual es de 80.88%, y la temperatura media anual de la región es de 24.86 °C. Se plantó en la estación lluviosa, en surcos separados a 3.0 m y estacas a 50 cm de narigón, en el área experimental Zaldívar, perteneciente al Departamento de Pastos y Forrajes del Instituto de Ciencia Animal de Cuba, ubicado en el occidente del país. Para la plantación se utilizaron estacas, tomadas de la parte media del tallo, con edad de 80 días y de 50 cm de largo, en surcos de 15 cm de profundidad. El área se mantuvo limpia de malezas mediante azadón y en condiciones de secano.

El corte de la plantación para iniciar el experimento se efectuó a 15 cm de altura. Los indicadores altura de la planta (cm), número de hojas, número de ramas, diámetro del tallo (mm) y monitoreo de plagas, se determinaron cada quince días, por espacio de 12 semanas, sin afectar el crecimiento de las plantas. Estas medidas se tomaron en la estación seca y lluviosa en el año estudiado, siempre en las mismas cinco plantas en cada uno de los materiales en evaluación.

Análisis estadístico

La determinación de los indicadores que mejor explican el comportamiento de cada material vegetal recolectado, se realizó mediante la metodología descrita por Torres *et al.* (2015). Ésta se basa en la aplicación del análisis de componentes principales (Visauta, 1998) para seleccionar los indicadores que mejor explican su variabilidad. Cada componente principal generado por este análisis se identificó con un nombre, en correspondencia con los indicadores de mayor valor de preponderancia en ella. Éstos definieron el proceso que, de manera independiente, describe dichos componentes y los que aportan, en cada caso, un valor específico de explicación a la variabilidad. Se tomó como valor propio el que fuera mayor de la unidad. Como resultado de este análisis se realizó una clasificación de los materiales en evaluación por grupos (conglomerados).

Resultados

Se comprobó la premisa (Torres *et al.*, 2008) relacionada con la interrelación entre variables. Ésta indica que para la estación lluviosa, los coeficientes de correlación, todos, son mayores que 0.809, mientras en la estación seca alcanzó 87.5% para valores superiores a 0.491. Los cuadros 1 y 2 informan acerca del comportamiento de los componentes principales (C. P.). En el cuadro 1 se explica 89.41 % de la variabilidad durante la estación lluviosa, y 95.58% en el cuadro 2 para la seca, con valores propios superiores a la unidad. Además, se seleccionaron las variables cuyos valores de preponderancia fueron mayores que 0.85. Cuando se analizó cada estación climática, se observó un conjunto importante de resultados.

En la lluvia (cuadro 1) al componente se le llamó “planta”, y explicó 89.41% de la variable. Aquí las variables de mayor preponderancia fueron altura, número hojas y ramas, y diámetro del tallo, todas con relación positiva.

Cuadro 1

Matriz de componentes extraídos correspondientes a la estación lluviosa.

Indicadores	Componente Planta	Varianza explicada y acumulada,%
Altura, cm	0.96	89.41
Número hojas	0.96	
Número ramas	0.94	
Diámetro del tallo, mm	0.92	
Valor propio	3.57	

Método de extracción: análisis de componentes principales.

1 componentes extraídos.

En el cuadro 2, al primer componente se le llamó “estructura” y explicó 70.62% de la variable, y el segundo se identificó “hojas” y explicó 24.97%; estos componentes biológicos son esenciales para la comparación selectiva de los materiales en estudio. En esta estación, las variables de mayor preponderancia en el primer componente son altura de la planta, número de ramas y diámetro del tallo, y en el otro número de hojas, todas en relación positiva.

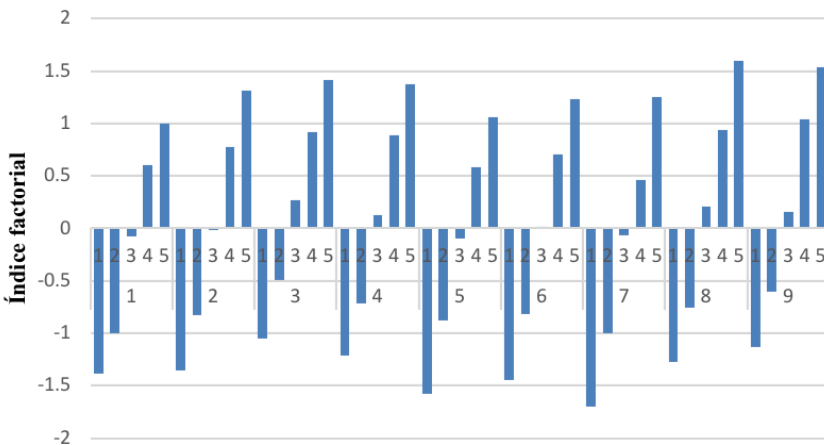
Cuadro 2
Matriz de componentes rotados, correspondiente a la estación seca.

Indicadores	Componente	
	Estructura	Hojas
Altura, cm	0.87	0.40
Número hojas	0.12	0.99
Número ramas	0.86	0.45
Diámetro del tallo, mm	0.98	-0.13
Valor propio	2.82	1.00
Varianza explicada, %	70.62	24.97
Varianza acumulada, %	70.62	95.58

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser (Torres, 2015).

Los materiales 1, 2, 5, 6 y 7 (figura 1) presentaron lenta recuperación después del corte y comenzaron con valores positivos a partir del cuarto muestreo (60 días). Mientras 3, 4, 8 y 9 lo hacen de forma marcada desde el tercer muestreo (45 días).

Figura 1
Índice factorial planta durante la estación lluviosa.

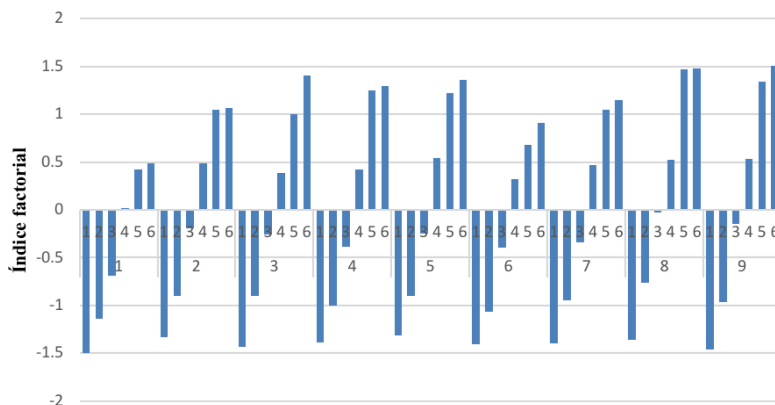


Muestreo 1, 2, 3, 4, 5.
Materiales vegetales 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

En este indicador estructura (figura 2), los materiales 8 y 9 alcanzaron los mayores valores seguidos de 2, 3, 4, 5 y 7. Mientras 1 y 6 presentaron los menores. Todos los ma-

teriales en evaluación expresaron valores positivos a partir del cuarto muestreo (60 días) durante esta estación climática.

Figura 2
Índice factorial estructura durante la estación seca.

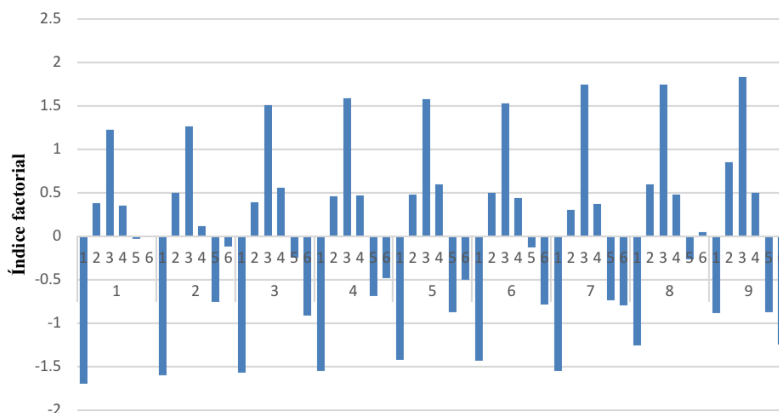


Muestreo 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Materiales vegetales 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

En relación al componente hojas (figura 3), los materiales de mejor comportamiento son 8 y 9 en esta estación climática, seguidos de 2, 3, 4, 5 y 7. El comportamiento menor fue en 1 y 6. Todos los materiales presentaron valores negativos a partir del quinto muestreo (75 días) y fueron positivos a partir de los 30 días (muestreo dos).

Figura 3
Índice factorial hojas durante la estación seca.



Muestreo: 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Materiales vegetales: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Cuadro 3
Tipificación del crecimiento de materiales de *Tithonia* en época de lluvia.

Crecimiento	Materiales vegetales	Altura, cm		Número de hojas		Número de ramas		Diámetro, mm	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Mayor	3, 4, 8, 9	142.50	60.30	17.20	5.60	11.40	3.30	22.00	7.00
Menor	1, 2, 5, 6, 7	122.78	53.55	15.97	4.78	11.52	4.03	17.00	7.80

DE: desviación estándar.

Al tener presente la tipificación del crecimiento de los materiales en la lluvia (cuadro 3), los mismos se agrupan de mayor crecimiento (3, 4, 8 y 9) y menor crecimiento (1, 2, 5, 6 y 7). Mientras en la estación seca (cuadro 4), este mismo análisis para crecimiento, indicó la formación de tres grupo, dentro de los materiales en evaluación, que son: mayor crecimiento (8 y 9), crecimiento intermedio (2, 3, 4, 5 y 7) y menor crecimiento (1 y 6).

Cuadro 4
Tipificación del crecimiento de materiales de *Tithonia* en época de seca.

Crecimiento	Materiales vegetales	Altura, cm		Número de hojas		Número de ramas		Diámetro, mm	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Mayor	8, 9	89.20	25.34	10.60	3.01	11.20	3.58	6.00	3.30
Intermedio	2, 3, 4, 5, 7	80.00	22.00	10.20	3.00	11.00	3.30	6.00	3.00
Menor	1, 6	76.60	22.00	10.40	2.92	9.70	3.01	5.00	2.40

DE: desviación estándar.

También, durante el desarrollo del trabajo, se monitoreó la presencia de plagas y enfermedades en los materiales objeto de estudio, pero no se encontró presencia de las mismas.

Discusión

Según Roche y Vejo (2005), el investigador debe establecer la importancia relativa de cada uno de los indicadores y de sus objetivos, para luego definir una estructura de preferencias que pueden expresarse mediante ponderaciones.

La diferencia entre los materiales recolectados, en cuanto al comportamiento del desarrollo de las medidas tomadas, tanto en la estación lluviosa como en la seca, indica la existencia de una variabilidad entre los mismos. La información ofrecida en la figura 1, en relación con la recuperación de los materiales en el tiempo, se debe tener presente en trabajos futuros.

La tipificación del crecimiento de los materiales en la lluvia (cuadro 3) y en la seca (cuadro 4), permite saber el comportamiento de cada material individual al tener presente de forma integral los valores alcanzados para cada medida tomada.

Además, se debe señalar que en esta región del país se presenta una intensa sequía desde hace algunos años, y bajo estas condiciones se evaluaron los materiales. Éstos se mostraron verdes, a diferencia de otras especies de pastos presentes en la zona. Ello da más significación al comportamiento individual de los materiales en estudio.

Holguín *et al.* (2015) indicaron de la importancia de estos trabajos para seleccionar materiales con diferentes criterios de adaptabilidad, productividad y calidad de los mismos, y concluyen en un estudio realizado para evaluar la respuesta productiva forrajera de 44 introducciones de *T. diversifolia*, provenientes de varias localidades del centro occidente de Colombia.

Los resultados encontrados en este trabajo, que dan continuidad a los realizados por Ruíz (2010), donde evaluó materiales colectados en el occidente del país, confirman la importancia de los mismos, y además de que servirán para aumentar el banco de germoplasma de esta especie en Cuba. La variabilidad encontrada se pudiera utilizar estratégicamente en programas futuros de mejoramiento varietal.

Conclusiones

Los materiales presentan de forma estable e integral mayor crecimiento tanto en la estación de lluvia como en seca son 3, 8 y 9, así como menor 1 y 6.

Recomendaciones

Se recomienda desarrollar otros trabajos con los mismos materiales vegetativos para evaluar su curva de crecimiento.

Agradecimientos

Se agradece a las técnicas Lucía Sarduy García y Yolaine Medina Mesa, del Departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal, por el análisis de la información.

Literatura citada

- Garzón, E. F. y Mora-Delgado, J. (2014). Análisis multicriterio del estado de las pasturas de la hacienda ganadera García Abajo en Corinto (Cauca, Colombia). *Rev Med Vet Zoot.* 61(1): 64-81. Doi: 10.15446/rfmvz.v61n1.44182.
- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA. Mayabeque, Cuba, 64 p. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Holguín, V.A.; Ortiz, S.; Velasco, A. y Mora, J. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Red. Med. Vet. Zoot.* 62 (2): 57-72
- Mustonen, P.J.; Oelbermann, M., & Kass, D.C.L. (2012). Using *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray in a Short Fallow System to Increase Soil Phosphorus Availability on a Costa Rican Andosol. *Journal Of Agricultural Science* 4(2): 91-100. doi:10.5539/jas.v4n2p91.
- Ojeniyi, S. O.; Odedina, S. A. & Agbede, T. M. (2012). Soil productivity improving attributes of Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*) and siam weed (*Chromolaena odorata*). *Emirates Journal Of Food & Agriculture* (EJFA) 24(3): 243-247.
- Roche, H. y Vejo, C. (2005). *Análisis multicriterio en la toma de decisiones*. Disponible en: <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdAScoring-AHP.pdf>. Consultado en febrero de 2016.

- Ruíz, T. E.; Febles, G.; Torres, V.; González, J.; Achang, G.; Sarduy, L. & Díaz, H. (2010). Assessment of collected materials of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray in the center-western región of Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 44(3): 285-289.
- Ruíz, T. E.; Febles, G. J.; Galindo, Juana; Savón, Lourdes; Chongo, Bertha B.; Torres, Verena; Cino, Delia M.; Alonso, J.; Martínez, Y.; Gutiérrez, D.; Crespo, G. J.; Mora, L.; Scull, Idania; La O, O.; González, J.; Lok, Sandra; González, Niurka y Zamora, A. (2014). *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48:79. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/search/search>.
- Torres, V. Aspectos estadísticos a considerar en el diseño, muestreo, procesamiento e interpretación de datos en la investigación de sistemas productivos agropecuarios. En Vargas, J. C. y Torres, A. *Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonia ecuatoriana*. Puyo, Ecuador. Universidad Estatal Amazónica. (2015). Pp. 83-108.
- Torres, V.; Ramos, N.; Lizazo, D.; F. Monteagudo, F. y Aida, N. (2008). Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42: 133-139.
- Velasco, A.; Holguín, V. A. y Ortiz, S. (2014). Productividad de diferentes ecotipos de *Tithonia diversifolia* provenientes de la región cafetera y Valle de Rio Cauca. *Agroforestería Neotropical* 4: 35-38
- Visauta, B. (1998). *Análisis estadístico con SPSS para Windows. Estadística multivariada*. Vol. II Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.V. 358 p.

Recepción: 20 de julio de 2017

Envío arbitraje: 28 de julio de 2017

Dictamen: 15 de noviembre de 2017

Aceptación: 01 de diciembre de 2017



Título: *Tithonia Diversifolia*
Autora: Marisol Herrera Sosa
Técnica: Acuarelas
Medidas: 10.7 cmx 11.2 cm

Megathyrus maximus. Resultados científicos y potencialidades ante el cambio climático en el trópico[■]

Megathyrus maximus. Scientific results and potentialities in the face of climate change in the tropic

Milagros de la C. Milera Rodríguez*, Osmel Alonso Amaro, Hilda C. Machado Martínez y Rey L. Machado Castro

Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”
Central España Republicana, Matanzas, Cuba
C. P. 44280

*Correspondencia: mmilera@ihatuey.cu

■Artículo de revisión

Resumen

Megathyrus maximus (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (*Panicum maximum* Jacq.) se introdujo en Cuba en 1967, procedente de la isla Guadalupe, y en 1977 se inicia en la EEPF Indio Hatuey el trabajo de mejoramiento genético. En ese sentido, el objetivo del presente artículo es analizar los resultados alcanzados en Cuba en sistemas que utilizan *M. maximus* por sus características de adaptación al cambio climático y sus potencialidades en el área tropical. Entre los propósitos prioritarios del programa de mejora se encontró la selección de variedades de alta productividad, con buenas respuestas en la estación seca y alto valor nutricional. Se seleccionaron cultivares introducidos, clones de la población cubana, híbridos apomícticos, plantas sexuales y somaclones. Los somaclones e híbridos hicieron un aporte significativo en el índice de calidad nutritiva en relación con las poblaciones naturales. Se comprobó que *M. maximus* se adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas, de acuerdo a la evaluación de su fitomasa subterránea resiste la sequía, posee altos rendimientos, alta producción de

Abstract

Megathyrus maximus (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (= *Panicum maximum* Jacq.) was introduced in Cuba in 1967, from Guadeloupe Island, and in 1977 the genetic improvement work started at the EEPF Indio Hatuey. In this sense, the objective of this article is to analyze the results reached in Cuba in systems that utilize *M. maximus* for its characteristics of adaptation to climate change and its potentialities in the tropical area. Among the priority purposes of the improvement program the selection of high productivity varieties was found, with good responses in the dry season and high nutritional value. Introduced cultivars, clones from the Cuban population, apomictic hybrids, sexual plants and somaclones were selected. The somaclones and hybrids made a significant contribution in the nutritional quality index in relation to natural populations. It was proven that *M. maximus* adapts to different edaphoclimatic conditions; according to the evaluation of its underground phytomass it withstands drought, has high yields, high production of botanical seed, adequate nutritional value, good associative capac-

semilla botánica, adecuado valor nutricional, buen poder asociativo con diferentes leguminosas herbáceas, soporta la sombra en sistemas con árboles, tiende a ser bastante resistente a plagas, se alcanza buena calidad en ensilajes con y sin aditivos, además de un alto potencial de producción de leche y carne. Se considera que las variedades evaluadas y recomendadas de *M. maximus* reúnen los requisitos para ser incluidas en ecosistemas ganaderos resilientes al cambio climático.

Palabras claves

Productividad, valor nutricional, adaptación.

ity with different herbaceous legumes, tolerate the shade in systems with trees, tends to be quite resistant to pests; good quality is achieved in silages with and without additives, also a high potential for milk and meat production. It is considered that the evaluated and recommended varieties of *M. maximus* have the requisites to be included in animal husbandry ecosystems resilient to climate change.

Keywords

Productivity, nutritional value, adaptation.

Introducción

Megathyrus es una especie originaria de África del Este (fundamentalmente de Tanzania, Costa de Marfil, Uganda y Kenia). En 1977 se inicia en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EPPFIH) el Programa Nacional de Introducción, Evaluación y Utilización de Especies Pratinenses y Forrajeras, que tuvo entre las principales bases para su elaboración la escasez de gramíneas endémicas o naturalizadas adecuadas para estos fines. No obstante, el programa de mejoramiento genético se centró en *M. máximus*, por su adaptabilidad, producción de MS y aceptación por los animales, entre otros.

La fuente más económica para alimentar a los rumiantes la constituyen las praderas o pastizales, ya sean simples o asociados, lo cual hace que los animales cosechen su propio alimento, fertiliza el campo así como evita los costos de corte, conservación y acarreo del forraje, limpieza constante de las instalaciones y manejo de grandes cantidades de estiércol (Vergara, 2016).

Fernández (2016), informa sobre la importancia de los pastos en la conservación de la biodiversidad, la riqueza paisajística, y la aplicación de prácticas sostenibles con el medio ambiente que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero; y sobre el aprovechamiento de los bancos de germoplasma como una herramienta clave en la adaptación al cambio climático, como fuente de variedades autóctonas que, por su naturaleza, pueden adaptarse mejor a las condiciones climáticas actuales, y ser más resistentes a plagas y enfermedades.

La producción ganadera en el área tropical se sustenta sobre gramíneas que en muchos casos son especies foráneas mejoradas genéticamente con una alta exigencia (suelo, riego y fertilización) que no sobreviven en las condiciones de las fincas.

El sector agrario, en el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2015), es responsable del 14 % de las emisiones totales de gases con efecto invernadero (GEI). No obstante, su contribución es mayor de lo

que indican las cifras oficiales, ya que éstas no incluyen las emisiones indirectas asociadas a las actividades agrícolas.

En las últimas cinco décadas, la productividad de los sistemas intensivos es alta, sin embargo la ceba vacuna, la elaboración de pienso y la fermentación entérica han sido las mayores responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero en la ganadería (FAO, 2013).

Debido a la variabilidad del clima con intensas sequías, inundaciones severas, incremento de la variación entre años y estaciones, así como efectos en la disponibilidad y calidad del forraje, los sistemas basados en el monocultivo de pastos están muy expuestos a los impactos del cambio climático, sobre todo los que emplean especies importadas con exigencias a la fertilización y el riego. A esto se suma el incremento de la temperatura, lo cual trae consecuencias nefastas en la producción de los rumiantes en pastoreo; por eso es una necesidad salvaguardar los recursos fitogenéticos para la seguridad y estabilidad del sistema agroalimentario mundial, y por su capacidad para adaptarse a los nuevos escenarios climáticos.

Asociado a la pérdida de recursos fitogenéticos se produce una alarmante pérdida de conocimientos campesinos (erosión biocultural) de vital importancia para el uso y gestión de sistemas agrarios sustentables; así como un componente esencial de la identidad territorial de las zonas donde se han desarrollado y adaptado las variedades locales (Egea *et al.*, 2015). Es una práctica en América Latina, incluido Cuba, introducir híbridos y variedades de especies mejoradas no adaptadas, con requerimientos nutricionales que no superan a *M. maximus*.

Las especies de gramíneas que se seleccionen para pastoreo, además de adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas, deben poseer altos rendimientos, valor nutricional y soportar la sombra, entre otros.

La alta densidad de animales causa sobrepastoreo de las praderas y problemas con el manejo del estiércol en sistemas agropecuarios industriales, que van en contra del esfuerzo consensuado actual para reducir las emisiones (GEI) y preservar la biodiversidad, el agua y la fertilidad del suelo (Dumonth *et al.*, 2014).

El comportamiento reproductivo y el plano nutricional desempeñan un papel muy importante en el éxito del sistema de producción, pues la fertilidad es la clave de la continuidad del mismo. El manejo de la carga, la suplementación con concentrados y la inseminación no son los únicos factores que inciden en la fertilidad, por lo que deben considerarse todos los elementos que intervienen en la cadena. Dentro de las variables climáticas, las condiciones térmicas e hídricas, la intensidad lumínica y la duración del día, poseen un efecto determinante, los cuales pueden manejarse cuando en la selección de las especies herbáceas y arbóreas se considera su adaptación edafoclimática, el rendimiento y la calidad.

Los sistemas que integran agricultura-ganadería, basados en principios agroecológicos, tienen en cuenta todos los elementos del sistema y su relación (suelo-planta-animal-energía-clima), así como factores socioeconómicos y productivos. Los pequeños productores multipropósito que cultivan plantas y crían animales, producen la mayoría de los

alimentos y promueven el desarrollo económico en África, América Latina y Asia (Altieri y Nicolls, 2013).

Los sistemas silvopastoriles que comprenden árboles forrajeros y gramíneas mejoradas con manejo agroecológico, deben considerar las características de la gramínea de manera que se adapten a las condiciones edafoclimáticas. Existen experiencias exitosas en Colombia (Murgueitio *et al.*, 2016), Costa Rica (Russo, 2015) y Cuba. En esta última, la gramínea más utilizada y de mejor comportamiento es *M. maximus* (Blanco *et al.*, 2017).

El objetivo del presente artículo es analizar los resultados alcanzados en Cuba en sistemas que utilizan *M. maximus* por sus características de adaptación al cambio climático, y sus potencialidades para ser empleada en el área tropical.

El programa de introducción, evaluación y utilización de los pastos en Cuba y la tarea del mejoramiento genético en M. maximus

El programa de mejoramiento de *M. maximus* se insertó en el Programa Nacional de Introducción, Evaluación y Utilización de Especies Pratinenses y Forrajeras que tuvo como marco conceptual y bases para su elaboración: la escasez de gramíneas endémicas o naturalizadas adecuadas para estos fines por su bajo valor bromatológico; la mejora genética de la masa ganadera con el concurso de sangre Holstein; la alta variabilidad del espectro edáfico y climático que caracteriza al país; y la profunda diversificación que se avizoraba en el sector agropecuario; así como en la necesidad de incorporar tipos promisorios con adaptación a los diferentes ecosistemas, incluyendo material de gramíneas, leguminosas y especies de otras familias.

Dentro del trabajo de introducción y colección, se hizo énfasis en la especie *M. maximus*, por ser esta una planta ampliamente distribuida y naturalizada en Cuba y poseer un potencial productivo superior al de los pastos nativos y otras especies naturalizadas (Machado y Seguí, 1997).

En 1977 se inicia en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, el trabajo de mejoramiento genético, el cual se centró en la hierba de guinea (*M. maximus*).

Entre los objetivos prioritarios del programa de mejora estaba la selección de variedades de alta productividad general, con buena productividad en la seca y alta calidad de la proteína.

Para iniciar se utilizaron 192 accesiones introducidas del extranjero (30%) y otras colectadas en Cuba (70%). Se seleccionaron las primeras 37 accesiones promisorias, entre las que se encontraba el cultivar Likoni, introducido desde la Isla Guadalupe, que no había sido superado por ninguna otra variedad, ni especie de gramínea en cuanto a su rendimiento y calidad.

Se observó una alta variabilidad entre las características evaluadas; los rendimientos variaron entre 3 844 y 7 765 g por macolla, entre 9 y 16% de proteína y entre 22 y 30 % de fibra bruta. También se observaron diferencias en cuanto a las respuestas en lluvia y seca, lo cual confirmó la posibilidad de mejorar la distribución estacional en el rendimiento.

En 1980, se introducen plantas sexuales y se inicia un programa de cruzamiento utilizando como progenitores masculinos las mejores variedades seleccionadas. A mediados

de la década del 80 se iniciaron los estudios relacionados con la micropropagación de *M. maximus* cv. Likoni y la regeneración de plantas a partir del cultivo de tejidos. En el año 1990 se complementaron las investigaciones realizadas hasta esta fecha, con la caracterización isoenzimática de los somaclones de *M. maximus* Jacq. cv. Likoni, los cuales fueron evaluados agrónomicamente en campo y se identificaron los más promisorios por su rendimiento y calidad.

Se logró una colección compuesta por más de 1 200 accesiones de diferentes procedencias, de las cuales el 70% fueron colectadas en las 14 provincias del país, además de las obtenidas por cruzamiento, y el 30% foráneas (de 9 países).

Las accesiones colectadas en Cuba mostraron variabilidad morfológica y agronómica y se agruparon de acuerdo con ésta y con su potencial productivo. Este estudio permitió conocer los biosistemas de mayor influencia en la formación de los cambios genéticos y fenotípicos en las poblaciones naturalizadas en Cuba, así como dirigir las colectas hacia las zonas de diferentes comportamientos morfológico y agronómico.

Las introducciones mostraron un amplio rango de variación y una alta potencialidad productiva en términos de materia seca, sobre todo en los cultivares mejorados, y una mayor variabilidad en las que procedían del centro de origen.

Los híbridos obtenidos (Machado *et al.*, 1988), que formaron parte de la colección nacional (44 híbridos), fueron preseleccionados en la fase inicial de evaluación por superar a los progenitores masculinos y/o su testigo (Likoni).

También formaron parte de la colección 12 somaclones (CTIH) obtenidos en la EEPFIH por cultivo de tejidos, los que mostraron ser superiores a su donante (Likoni) en términos de rendimiento de MS y porcentaje de PB. La plantación permitió la realización de 56 ensayos en 24 localidades representativas de los ecosistemas ganaderos cubanos, en 12 de las 14 provincias con uno o más ensayos (figura 1).

Respecto a los factores del clima en estudio, con 248 accesiones se encontró que los factores climáticos más influyentes en el desarrollo de esta especie fueron la temperatura media, la precipitación y la humedad relativa, el potencial genético y el origen de cada cultivar; también se encontró que las accesiones SN-25, T-112, K-213 y A-30 de la colección africana fueron significativamente superiores ($P < 0.05$) a los dos testigos (Likoni y SIH-127) cuando se evaluaron sin regadío ni fertilizante durante dos años (Seguí *et al.*, 1994), lo que avala a la especie como alternativa de mitigación del cambio climático en la ganadería tropical ante la sequía.

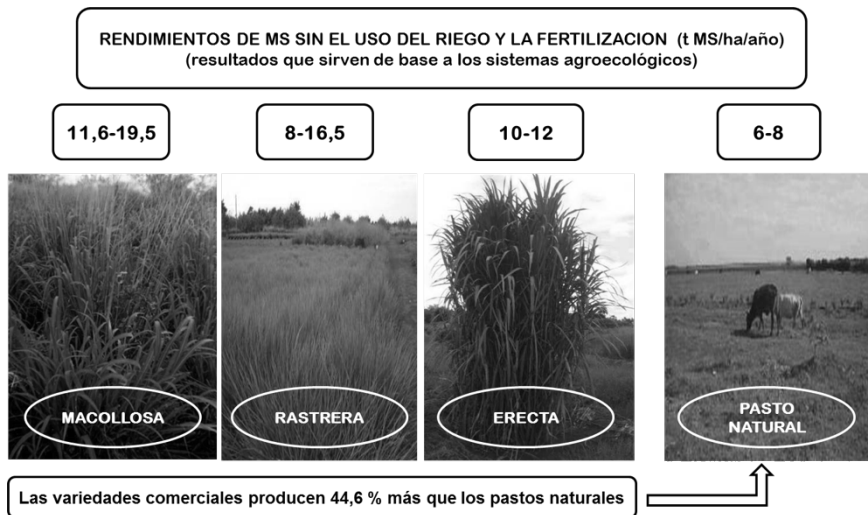
Las selecciones (en la segunda fase) fueron probadas en experimentos de pastoreo en muchos casos, utilizando para ello el criterio de presión de pastoreo, o en sistemas de corte, de acuerdo con el hábito de crecimiento de las plantas; con el uso o no del riego y los fertilizantes, y algunos de los ensayos se establecieron en asociación. Entre la primera y la segunda selección se descartó más del 80% de las introducciones, lo que sugiere una fuerte discriminación de material, incluso potencialmente valioso, pero a la vez, con una alta eficiencia en la selección de plantas útiles.

Otros aspectos que también se consideraron fueron: los estudios agronómicos con aplicación de fertilizantes, altura y frecuencia de corte, productividad, valor nutritivo, re-

sistencia y/o tolerancia de los pastos a los factores estresantes de suelo y a las plagas y las enfermedades, la persistencia de las especies y las variedades, sus características para conservar como heno y ensilajes, y aquellos relacionados con los indicadores productivos en su evaluación con animales.

Figura 1

Resultados de la evaluación de gramíneas en diferentes condiciones ambientales en 24 localidades de Cuba.



Fuente: Modificado de Machado *et al.*, 2006.

Las investigaciones que se realizaron en estudios agronómicos y producción animal en *M. maximus* generaron más de 150 publicaciones; muchos de estos resultados aparecen en el presente artículo.

Las características que debe reunir una planta para las condiciones actuales en que se encuentra el medioambiente son: adaptación a diferentes suelos, soportar la sequía, poseer altos rendimientos con un alto porcentaje en hojas, alta producción de semilla botánica, adecuado valor nutricional, poder asociativo, soportar la sombra en sistemas con árboles, resistencia a plagas, ensilar bien, alto potencial de producción de leche y carne. Las variedades evaluadas y recomendadas de *M. maximus* reúnen estos requisitos.

Resultados alcanzados en las investigaciones y extensión de *M. maximus* con manejo agroecológico

En esta especie existen tantas publicaciones que es difícil sintetizar los resultados alcanzados en todos estos años. En el caso de los resultados de Cuba, se realizó una síntesis de los principios generados, es decir se mencionan los mejores tratamientos o experiencias exitosas, y no fue posible en todos los casos respaldarlos con citas, para no hacer tan extenso el artículo; también se citan resultados de otros países con resultados destacados.

Programa de mejoramiento

En lo relacionado con la interacción genotipo-ambiente, las investigaciones permitieron delimitar el número de localidades contrastantes, independientemente de la similitud o diferencia de suelo y clima, así como predecir el comportamiento de los cultivares en otras zonas no evaluadas (siempre que se conozca su índice ambiental); con ello se redujo el número de ensayos regionales y los costos de la investigación en casi un 50%.

Se determinó, además, cuáles eran los factores ambientales más contrastantes en el comportamiento del pasto (época, localidad, año, fertilización y riego), así como la adaptabilidad general y específica de los cultivares en ambientes favorables y desfavorables.

Se utilizó una planta sexual tetraploide para la obtención de híbridos de polinización abierta con 7 variedades apomícticas como polinizadores, se seleccionaron y evaluaron 24 híbridos en diseños apropiados para determinar el tipo de acción genética en los principales caracteres. Un grupo de híbridos se destacó por su rendimiento y otro por su calidad (Machado *et al.*, 1987 y Machado *et al.*, 1988).

Como resultado del trabajo en el mejoramiento de *M. maximus*, se seleccionaron 15 cultivares introducidos, 11 clones a partir de la población cubana, 9 híbridos apomícticos, 3 progenitores sexuales mejorados y 3 somaclones. En la cuadro 1 se muestran los rangos del potencial productivo de estas selecciones. Los somaclones e híbridos hicieron un aporte significativo en el índice de calidad en relación con las poblaciones naturales.

Cuadro 1
Potencial productivo del material seleccionado.

Procedencia	Rendimiento de MS (g/macolla)		Índice de calidad		Hojas (%)	
	PPLI	PLI	PPLI	PLI	PPLI	PLI
Introducidos	102.1-333.1	543.0-781.6	17.0-21.1	17.1-20.6	89.5-91.4	80.1-90.3
Colectados en Cuba	125.0-373.0	378.0-580.0	18.2-21.4	17.6-21.3	95.6-100.0	90.5-96.4
Somaclones e híbridos	176.0-251.9	499.0-750.9	21.0-26.6	18.8-19.5	95.4-100.0	90.1-95.4

PPLI: Periodo poco lluvioso; PLI: Periodo lluvioso

Fuente: Machado y Seguí, 1997.

Adaptación a diferentes suelos y resistencia a la sequía

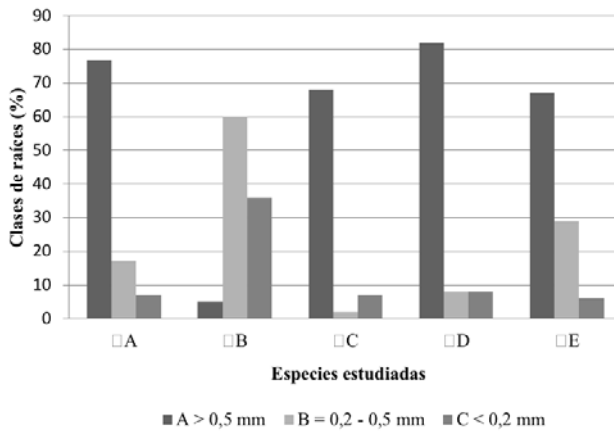
M. maximus se adapta a un amplio espectro de suelos, aunque prefiere los neutros de mediana a alta fertilidad y bien drenados, con pH de cinco a ocho. Progresa en ambientes con precipitaciones entre 600 y 2 500 mm. Resiste la humedad, pero no el encharcamiento prolongado, y soporta la sequía.

El comportamiento de la variedad Likoni también fue evaluado en suelos sabanosos, típicos de la región central de Cuba, en Cascajal, los cuales son moderadamente ácidos. En esas condiciones se determinó que este pasto alcanzó mayor rendimiento y altura al compararlo con el resto de las especies evaluadas.

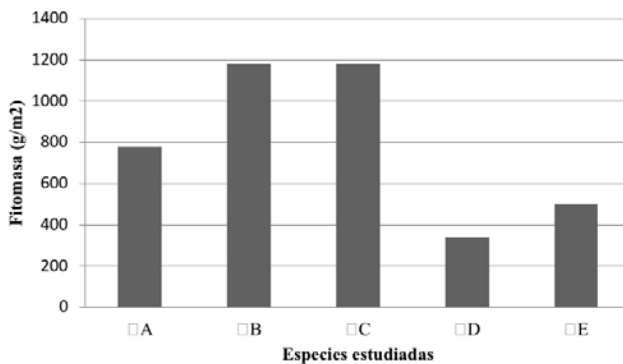
Se estudió la fitomasa subterránea en cinco gramíneas [*Andropogon gayanus* Kunth cv. CIAT-621; *M. maximus*; *Cenchrus ciliares* L., *Cyndon nlemfuensis* Vanderyst y *Urochloa mutica* (Forssk.) R.D. Webster ex Zon (= *Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henrard)], que fueron sometidas a pastoreo intensivo sin riego, ni fertilización. El porcentaje de raíces medianas y finas en los géneros estudiados (figura 2), es superior en *M. maximus*, lo que indica que esta especie presenta una alta proporción de raíces finas que le permiten una mayor capacidad para tomar el agua y los nutrientes del suelo, y puede adaptarse mejor a las condiciones de sequía (Hernández *et al.*, 2011).

Figura 2

Fitomasa subterránea (a) y clases de raíces en cinco especies de pastos (b).



a)



b)

Leyenda de las especies utilizadas: A-A. *gayanus*; B-M. *maximus*; C-C. *ciliares*; D-C. *nlemfuensis* y E-U. *mutica*.

Producción de semilla

Los estudios realizados concluyeron que cuando el objetivo sea producir semilla, la siembra se hará preferentemente en hileras, en surcos espaciados a una distancia entre 1.0 y 1.5 m y una densidad entre 0.4 y 0.5 kg de SPG¹/ha o entre 4 y 6 kg de semilla total/ha, que posea buena calidad.

La profundidad no debe ser superior a los 3 cm, y es posible efectuar la siembra de forma manual o mecanizada. Se necesita mantener el campo limpio de plantas arvenses. La cosecha se efectuará aproximadamente a los 20 días de la aparición de la antesis, y cuando el campo tenga alrededor del 70 % de sus panículas abiertas, y las semillas pasen del color verde al pardo amarillo o color canela; y una de sus ventajas es que con *M. maximus* cv. Likoni es posible efectuar seis cosechas al año, pero si no se aplica riego se obtienen de tres a cuatro.

La inflorescencia es del tipo panícula (panoja) y su cosecha debe hacerse por medio de observaciones fenológicas entre los 13 y 23 días después de la aparición masiva de la hoja bandera, cuando ha ocurrido entre un 50 y 60 % del desgrane. La cosecha puede hacerse con una cosechadora mecánica acoplada a un tractor o con una combinada; así como de forma manual, cortando las panojas y organizándolas en bultos o pilas de hasta 1.5 m de altura (sudado de la semilla), en un secadero a la intemperie o bajo techo, para sacudirlas al tercer día.

La mayor producción de semillas se obtiene en los meses de marzo-abril; junio-julio y septiembre-octubre. Cuando se siembra en surcos a 70 cm más rodillo con una densidad de 8 kg de ST²/ha produce 750 kg de ST/ha y 445 kg de ST/ha (voleo más grada) y la fertilización debe ser de acuerdo al suelo. En los estudios realizados en la EEPFIH se emplearon 360 kg de N/ha/año. Los campos con cuatro años de explotación, rehabilitados con arado más grada más cultivador, pueden producir 140.0 kg de SP³/ha. Con el “sudado”, después de la cosecha (pilas con una altura de 1.0 a 1.5 m), logra 40.0 % de germinación a los diez meses de almacenamiento al ambiente, con 80 % de viabilidad (Pérez *et al.*, 2006).

Rendimientos

Los numerosos estudios realizados evidenciaron que para utilizarla en pastoreo o como forrajera, se debe sembrar preferiblemente entre mayo y julio, y alcanza su establecimiento en 120 o 150 días. La siembra se debe realizar en línea más rodillo, con 4 kg de ST/ha y 9 % de germinación (0.36 kg SPG¹/ha), o a voleo más grada con una densidad de 8 a 12 kg de ST/ha. Se establece bien en pastos naturales con 3 kg de ST/ha y dos pases de grada.

¹ Semilla pura germinable.

² Semilla total.

³ Semilla pura.

En una revisión, Milera *et al.*, 2017, reportaron rendimientos desde 12.0 t de MS/ha/año (sin riego ni fertilización) hasta 26.0 t de MS/ha/año (cuando se fertiliza con 350 kg de N/ha/año) en suelos ferralíticos rojos de mediana fertilidad. En la época de escasas precipitaciones produce entre el 28 y el 36 % del volumen anual de la biomasa. Produce un alto número de hijos (entre 150 y 300) y una elevada producción de hojas (de 35 a 50 cm de largo y de 1.9 a 2.5 cm de ancho). En secano y sin fertilización alcanza una altura entre 25 y 60 cm y en lluvia entre 54 y 95 cm. Con riego y fertilización la altura puede ser de 120 cm.

En el suelo ferralítico rojo, se debe aplicar una fertilización de mantenimiento cada 5-6 años en cantidades no mayores de 200 kg P_2O_5 /ha, y en el caso del potasio, una sola vez/año con dosis no mayores de 100 kg K_2O /ha, con lo cual se reducen los gastos, además de evitar el daño mecánico al suelo y la planta (Hernández y Cárdenas, 1990).

Álvarez *et al.* (2016a), cuando utilizaron abonos líquidos, observaron incrementos en el rendimiento con la dosis más alta de 5 000 L/ha.

Se realizaron estudios en un suelo ferralítico rojo hidratado de mediana fertilidad para evaluar en pastoreo 19 accesiones de tipo pequeño y gigante, [CIH-13, SIH-697, CIH-3, CIH-15, CIH-6, CIH-22, CIH-104, SIH-759, SIH-421, SIH-810, SIH-10, SIH-127 (testigo), CF-305, CC-1146, Montícola, Serpentinícola, Tardío pequeño, Gramalote de Puerto Rico y Likoni (testigo)], y se manejaron en igualdad de condiciones, por lo que la diferenciación e identificación de los tipos sobresalientes y de peor comportamiento no estuvo comprometida por este factor, sino por la respuesta inherente al fenotipo.

Aunque existió superioridad en los genotipos gigantes en términos de disponibilidad de biomasa, en comparación con los tipos medianos, estos últimos fueron más eficientemente utilizados, a la vez que mostraron los menores índices de afectación por estrés y un mayor vigor durante el periodo experimental.

A partir de los resultados se recomiendan los tipos medianos CIH-6, SIH-810 y CIH-22 como variedades precomerciales para condiciones similares a las utilizadas en el presente estudio, e incluir el tipo gigante SIH-759 en ensayos en los que se emplee el corte o el pastoreo con mayor intensidad (Machado, 2012; 2013).

Valor nutricional

Con relación a los factores que influyen en el valor nutritivo y los rendimientos de nutrientes, se realizaron evaluaciones con carneros en jaulas de metabolismo en diferentes épocas y edades de rebrote y niveles de fertilización. Hernández y Cáceres (1983), refirieron que los valores de EM variaron de 1.8-2.2 Mcal/kg de MS; la PB de 46.9-110.0 g/kg MS; la PBD de 17.8-82.3 g/kg MS y el consumo de 47.8-67.1 g MS/kg $PV^{0.75}$ sin afectaciones considerables sobre la energía por la época y nivel de fertilización, pero sí sobre los valores proteicos y el consumo, y encontraron que en sentido general, la edad fue la que más afectó los parámetros del valor nutritivo, aunque existió una tendencia a presentarse los mejores valores en la época de seca, particularmente en el contenido de proteína. Teniendo en cuenta los consumos y rendimientos de proteína bruta digestible y

energía metabolizable, la variedad Likoni fue superior en el valor nutritivo a *king grass*, sorgo forrajero, buffel biloela y pasto estrella jamaicano.

En los rendimientos de nutrimentos existió un marcado efecto de la época lluviosa, en la cual prácticamente se duplicaron las producciones de proteína bruta digerible y de energía metabolizable.

Conservación

Se henificaron los cultivares de guinea (*M. maximus*): Común de Australia, Selección SIH-127 y Makueni entre 6 y 7 semanas de edad con fertilización de 60 kg de N/ha, y se efectuó el corte en horas de la mañana con una segadora de cuchillas en peine, y la exposición al sol por no más de tres días. Se determinó el consumo y la digestibilidad utilizando 18 carneros criollos similares en edad y peso vivo, distribuidos en diseño de cambio con periodos experimentales de 21 días, de los cuales los siete últimos fueron dedicados a la toma de datos. No se observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS y MO entre tratamientos, mientras que la digestibilidad de la PB (55.4) y FB (68.1 %) fueron significativamente mayores ($P < 0.01$) en la SIH-127 que en los demás cultivares (Cáceres *et al.*, 1984).

Existen un conjunto de factores a considerar en la conservación para ensilar que no deben violarse, independientemente de la especie que se ensile (fertilización, edad, troceado, tiempo de fabricación, apisonamiento y tapado). Al conservar en forma de ensilaje la guinea Likoni con una edad de 4 a 8 semanas, fertilizada con 60 kg de N/ha/corte, ensilada con o sin miel y troceada a una longitud de partícula de 2 cm, los rangos en que variaron los parámetros fermentativos fueron: pH de 4.0 a 4.7 cuando se utilizó miel como aditivo y de 4.4 a 5.4 cuando no se usaron aditivos, mientras que el contenido de NH₃ % NT varió de 15 a 39 y de 23.5 a 35.3%. Las pérdidas de MS variaron de 9.6 a 9.9 % y las de proteína bruta de 19 a 21 %.

La conservación de tres gramíneas: guinea likoni, *C. nlenfuensis* cv. Tocumen y *Penisetum purpureum* (king grass); con una edad de 60 (Likoni y Tocumen) y 80 días (king grass) sin el uso de aditivos, se evaluó obteniendo en la producción de leche 5.6, 4.6 y 4.0 Kg/vaca día; en el consumo 10.3, 9.2 y 9.0 Kg MS/animal/día (vacas) y 55.6, 50.9 y 42.0 g MS/Kg^{0.75} (carnero); y por último en la digestibilidad de la materia orgánica: 59.2, 59.2 y 63.2 (Likoni, Tocumen y *king grass*; respectivamente). Los resultados indicaron que Likoni fue la especie con mejor comportamiento.

La inclusión del dolichos [*Lablab purpureus* (L.) Sweet cv. Rongai] en la elaboración de ensilaje con *M. maximus*, para determinar su efecto sobre la calidad fermentativa, concluyó que la combinación de la leguminosa con la gramínea benefició la calidad fermentativa de los ensilajes y los mejores resultados se alcanzaron cuando la leguminosa fue incluida en el 40 % del alimento conservado (Ojeda *et al.*, 1992).

En un estudio para conocer la ensilabilidad de la combinación *Morus alba* L. y *M. maximus*, los resultados indicaron que la inclusión de morera entre el 10 y 30 % permitió obtener los mejores valores de materia seca para la conservación (32-37 %). La proteína bruta presentó incrementos en la medida que la morera aumentó y alcanzó 8.6 %

con el 30 % de inclusión. La combinación de los forrajes indujo disminuciones en la relación proteína soluble/proteína bruta (%), con los resultados menos eficientes cuando ambos forrajes se conservaron por separado. La introducción de la morera ocasionó una tendencia a la disminución del pH (5.3) de los ensilajes, sobre todo en el tratamiento con 30 %. La evaluación integral de los indicadores demostró que la proporción de 70:30 fue la más efectiva (Ojeda *et al.*, 2006).

Resistencia a plagas

A pesar que *M. maximus* pueda cumplir con el principio de ser una planta resistente a plagas para enfrentar el cambio climático, dado fundamentalmente por la existencia de diversas variedades, clones, cruzamientos y selecciones que se adaptan a diferentes ecosistemas, lo esencial quizá sean sus características botánicas, su gran potencial para producir semilla y el manejo adecuado de la gramínea en sí, pues las plagas siempre constituirán un componente de los agroecosistemas.

En ese sentido, en el contexto fitosanitario de los pastos y forrajes en Cuba, se han realizado investigaciones al respecto, de las cuales se relacionan a continuación algunos resultados.

Entre los primeros, se citan los obtenidos por Miret y Rodríguez (1983), cuando evaluaron los cultivares Likoni, Makueni, Común de Australia, Común local y la SIH-127, que se le aplicaron tres dosis de fertilizante nitrogenado (0, 240 y 360 kg de N/ha/año). El insecto que más afectó a medida que se incrementó la dosis del fertilizante fue *Remigia* (= *Mocis*) sp. El cultivar más atacado en el periodo poco lluvioso fue Likoni, mientras que en el poco lluvioso fue el común local. En tanto, el patógeno que más causó afectación en todos los cultivares cuando se aplicó la mayor dosis del fertilizante, fue el hongo *Pyrenophora graminea* S. Ito & Kurib. (= *Helminthosporium gramineum* Rabenh. ex Schltdl.). En el caso del control de *Remigia* spp., se destaca la estimación de la población de este insecto mediante la utilización de trampas de melaza, las cuales se utilizan como método de muestreo, pero a su vez contribuyen al control directo del insecto y a estimar su presencia con vista a emplear otras alternativas dentro de su estrategia de manejo (Barrientos, 1990).

De la Paz *et al.* (1990) por su parte, determinaron que *Chirothrips crassus* Hind. (Thysanoptera: Thripidae) afecta el mayor porcentaje de flósculos a medida que se desarrolla la panícula, pues las larvas se incrementaron desde que la panícula recién emergió hasta después de los 5 cm sobre la vaina. Este insecto afectó el 95.7 % de los flósculos cuando aún no habían alcanzado su estado de floración plena, y causó pérdidas considerables en la producción de semilla (40%). Por otro lado, comprobaron su indiscutible capacidad de selección por las espículas hermafroditas, pues en abril y mayo afectó el 100%. Respecto a la correlación entre los elementos del clima y la densidad poblacional de *C. crassus*, Delgado *et al.* (1992) encontraron que los que más influyeron en la mayor o menor incidencia de este insecto fueron los relacionados con la temperatura del aire. En cuanto a la preferencia del insecto, no existió una relación exacta entre el color de las espículas y el nivel de afectación ocasionado (aunque prefirieron las de envolturas

verde-moradas). En el control de *C. crassus*, García y García (1990), alcanzaron una efectividad similar al Bi-58 con Bb (5 L/ha) (82.6 vs. 75.0%).

Otro resultado relevante fue el de Alonso *et al.* (2011), quienes al evaluar durante tres años dos agroecosistemas ganaderos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit cv. Perú y *M. maximus* cv. Likoni, encontraron 103 insectos asociados a la gramínea, 59 fitófagos (57%) y 44 benéficos (43%), entre los que se incluyen: 23 depredadores (22%), 13 parasitoides (13%), un polinizador, cuatro descomponedores de la materia orgánica, un coprófago y dos micófagos; teniendo en cuenta que 78 especies coincidieron en ambos estratos. Esto permitió constatar que la guinea, debido a su condición macollosa, genera un mayor número de hábitats donde se refugian los insectos. Destacándose, en ese sentido, especies de los géneros: *Conura*, *Pimpla* y *Rogas*, los cuales se informan entre los diez más representativos de las principales familias de entomófagos de este orden en Cuba (Vázquez, 2006).

Con relación a los microorganismos patógenos, según los estudios de campo realizados por Delgado *et al.* (1990) acerca la resistencia aparente a hongos de las espículas en una colección de *M. maximus*, el clon K 63 fue el menos afectado por *Tilletia ayresii* Berk. (16 % de infestación), y el T-96 (9 %) por *Cerebella andropogonis* Ces.

Mientras Alonso y Delgado (1998), al evaluar un lote de semillas almacenadas al ambiente de *M. maximus* cv. Likoni, obtuvieron que los agentes fungosos que se presentaron durante todo el periodo experimental fueron: *Curvularia* sp., *Fusarium* sp. y *Helminthosporium* sp.; el primero de ellos fue el que provocó la mayor infestación durante los 12 meses (23.96 % como promedio). Para su manejo fitosanitario Lezcano *et al.* (2000) citan la acción fungicida de los extractos acuosos de albahaca morada (Am) (*Ocimum sanctus* L.) y de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) (Es) aplicados sobre semillas de *M. maximus* cv. Likoni de 10 meses de almacenadas al ambiente; los cuales ejercieron un control positivo sobre los hongos de almacén, con respecto al testigo (T). Se redujo tanto el número de agentes fungosos como el porcentaje de infección por ellos.

Sistemas asociados con leguminosas herbáceas y arbóreas

En la evaluación de una asociación de *M. maximus* con leguminosas nativas de los géneros *Centrosema* y *Desmodium* en pastoreo diferido con reposo prolongado en una vaquería con una alta intensidad de pastoreo, los resultados indicaron que la población de leguminosas se incrementó hasta alcanzar 29 % con el pastoreo diferido, sin afectar su calidad, por lo que se recomienda que se utilice esta variante de manejo para la recuperación de pastizales en condiciones similares (Guevara *et al.*, 2003).

Cuando se estudió el intercalamiento de leguminosas temporales (un cultivar de *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek y tres cultivares de *Vigna unguiculata* Walpeers) con *M. maximus* se constató que las mismas presentaron ventajosos índices equivalentes del uso de la tierra, con valores superiores a uno. Se concluyó que el uso de las leguminosas temporales en policultivo con las gramíneas no afectó su establecimiento, y que la cosecha de la semilla y de los granos mejoró la eficiencia biológica durante el proceso.

En otra evaluación sobre un suelo vertisol se estableció el *M. maximus* cv. Likoni solo y asociado a dos leguminosas herbáceas: *Neonotonia wightii* Lackey cv. *Tinaroo* y *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. cv. Siratro. El porcentaje de las especies en ambos tratamientos se incrementó en el tiempo y se observó una alta presencia de leguminosas al finalizar el periodo de evaluación. Se concluye que es posible lograr un buen establecimiento del pasto *M. maximus* solo y asociado a estas leguminosas en las condiciones edafoclimáticas de la región oriental de Cuba.

La asociación de *M. maximus* con dos leguminosa herbáceas: *Centrosema pubescens* Benth. y Kudzú [*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.], evidenció que los mayores valores de los indicadores morfológicos, la productividad, la calidad, y la ganancia se mostraron al emplear *Pueraria*. Se concluyó que en las condiciones de la Amazonia ecuatoriana, la inclusión de mezclas de las dos plantas rastreras mejora la relación de nutrientes y el comportamiento de los componentes del rendimiento de materia seca de *M. maximus* (Álvarez *et al.*, 2016b).

Tolerancia a la sombra

Cuando se determinó el efecto de la sombra sobre el pasto guinea en condiciones controladas, se pudo apreciar una reducción significativa en el diámetro de la macolla bajo la sombra con relación a la luz (4.23 cm vs 4.64 cm); mientras que la altura de la planta mostró una considerable mejoría con la atenuación de la luz (0.37 m a la sombra vs 0.27 m a la luz) y la temperatura del suelo disminuyó notablemente con la sombra (de 28.84 a 26.75 °C). Los indicadores: número de vástagos, porcentaje de hojas, porcentaje de MS, peso de la biomasa radical y aérea, y la relación raíz-vástago no difirieron entre los tratamientos. Se concluye que es posible la introducción del *M. maximum* en el campo bajo niveles de sombra moderados, condición bajo la cual esta planta se manifiesta como especie tolerante (Pentón, 2000).

Contribución al suelo

En un sistema silvopastoril compuesto por *M. maximus* y *L. leucocephala* sin la aplicación de fertilizantes, se analizó la relación en la descomposición de la hojarasca con algunos factores del clima, así como la densidad y la diversidad de la macrofauna asociada. De forma general, los resultados demostraron que el comportamiento de la descomposición de la hojarasca, tanto en la guinea como en la leucaena, estuvo relacionado con los factores climáticos, humedad, temperatura, precipitación y la calidad de la hojarasca. Estos posibilitaron la presencia de una diversa y estable fauna asociada, la cual influyó en el proceso de descomposición que prevaleció durante el periodo experimental (Sánchez *et al.*, 2010).

Repuestas en producción animal en monocultivo

En las investigaciones realizadas para determinar el potencial de producción de leche, se utilizaron vacas del cruce Holstein x Cebú, que sólo tenían acceso al pastoreo, agua y sales minerales, sin suplementos concentrados. Las variedades más destacadas fueron Likoni con y sin riego, Uganda, Común de Australia, SIH-127 y SIH-421 (cuadro 2).

Cuadro 2
Potencial de producción de leche de variedades de *M. maximus*.

Pasto <i>M. maximus</i>	Carga	P. de leche Kg/vaca/día	Fertilización Kg N/ha/año	Riego
cv. Likoni	3	9.0	80	NO
cv. Likoni	3	10.4	350	SI
Uganda	3	9.6	350	SI
Común de Australia	3	9.6	350	SI
SIH-127	3	10.0	350	SI
SIH-421	3	11.2	80	NO

Fuente: Lamela, 1991.

En las investigaciones desarrolladas con diferentes presiones de pastoreo en producción de leche, con tres ofertas de MS: A-15, B-35 y C-55 kg de MS/vaca/día, se estudiaron la disponibilidad de MS y su disposición vertical, las fracciones estructurales por estratos, el consumo, valor nutritivo y la producción de leche. El 46 y 48 % de la disponibilidad se situó en los estratos superiores a 20 cm de altura, donde también se encontraron el 70, 76 y 80 % de la hoja disponible en A, B y C respectivamente, a pesar de que hubo una tendencia ($P < 0.001$) al incremento de la densidad total en el estrato inferior del pastizal en todos los tratamientos. La hoja fue la fracción estructural que mantuvo el mejor valor nutritivo, que varió en los estratos de acuerdo con la condición estructural y se mantuvo más favorable por encima de 20 cm de altura.

La guinea Likoni presentó un notable potencial productivo y una alta capacidad para ser manejada intensivamente, por lo que se recomienda utilizar un método de explotación que permita que los animales con mayor potencial dispongan de ofertas de 35 a 55 kg de MS/vaca/día. Ofertas por debajo de 35 kg de MS/animal/día deben ser ofrecidas a animales de menores requerimientos (Hernández *et al.*, 1992).

Cuando se manejó con pastoreo racional en un suelo de mediana fertilidad con una precipitación media anual de 1,300 mm, sin el empleo de fertilización y riego y reposos de 37 y 60 días promedio en lluvia y seca respectivamente, *M. maximus* fue una de las especies con mejor comportamiento en disponibilidad y persistencia, ya que soportó una carga instantánea promedio anual de 200 UGM/ha durante cuatro años de evaluación (Milera, 2016).

El manejo con terneros de tres especies de gramíneas (*Digitaria decumbens* Stent., *Cynodon dactylon* (L.) Pers. y *M. maximus*) arrojó que en pangola se alcanzaron las mayores ganancias en la época de lluvia, seguidos por guinea likoni, sin diferencias significativas en la época de seca entre tratamientos (Simón y Herrera, 1987). Los estudios en ceba final, para determinar la capacidad del *M. maximus*, arrojaron que con cargas menores que 2 animales/ha se puede prescindir de la fertilización, pero cuando se incrementa la carga debe aplicarse carga-nivel de nitrógeno; 3-80 kg, 4-160 kg. La aplica-

ción de 160 kg de N/ha permitió estabilizar la composición botánica del pastizal cuando se emplearon cargas en la ceba de toros de 4 animal/ha.

Sistemas silvopastoriles (SSP)

En los SSP (leucaena+guinea), sin el empleo del riego y la fertilización, la macrofauna edáfica presenta mayor riqueza de organismos (en los que predominan las lombrices de tierra), en relación con los que solo poseen gramíneas mejoradas; además, los índices de diversidad y uniformidad también son superiores, lo que indica que la presencia de los árboles potencia la actividad biológica del suelo y garantiza la estabilidad del sistema a través del tiempo (Sánchez *et al.*, 2011).

Las especies de árboles más utilizadas en estos sistemas son *L. leucocephala*, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth, *Albizia lebbek* (L.) Benth. (Milera *et al.*, 2014), conjuntamente con *Bauhinia purpurea* L.; mientras que los pastos más abundantes por su capacidad para asociarse con estos son *M. maximus* y *C. nlemfuensis* (López *et al.*, 2015).

Otro aspecto importante lo constituye el hecho de que en las multisociaciones (SSP intensivos) con gramíneas, que incluyen un alto porcentaje de *M. maximus*, leguminosas herbáceas y arbóreas con alta densidad (15,000 plantas/ha), sin riego ni fertilización, donde existe gran diversidad de la dieta ofrecida y consumida, y mayor componente de leguminosas que de gramíneas, se produce una mejora de tal magnitud en la calidad nutritiva de la dieta que, con 25 kg de MS/vaca/día, se alcanzan resultados similares a aquellos sistemas con riego y fertilización sin suplementos concentrados, en los que se realizaron ofertas entre 30 y 50 kg de MS/vaca/día (Hernández *et al.*, 2011). Además, se pueden utilizar cargas de hasta 2.5 UGM/ha por lo que se logra mantener la producción de leche individual en valores alrededor de 10 kg/vaca/día, permitiendo así incrementar una producción de leche por hectárea de 3,000 a 6,000 kg/año.

En SSP (*M. maximus*-*L. leucocephala*), con vacas de mediano potencial, donde el pasto representa el 90 y el 85 % de la dieta, y el follaje de la arbórea el 10 y el 15 % en el periodo lluvioso y poco lluvioso, respectivamente, la ración de los animales presenta un contenido de proteína cruda de 11-13 % y de 12-14 % para cada periodo, respectivamente; mientras que, la degradabilidad *in vitro* de la MS es superior a 60 % en ambos periodos. Ello se debe al incremento en la calidad del pasto en asociación con la arbórea (leguminosa, fundamentalmente) y al aporte de follaje que hace esta última a la dieta de los animales (López *et al.*, 2014).

La suplementación con concentrados en SSP (Megathyrus-Leucaena), no tuvo efectos significativos en la producción de leche cuando la disponibilidad de pasto fue 6.4 t de MS/ha/rotación, lo que, unido al ramoneo de la leucaena, permitió ofertas superiores a 100 kg de MS/animal/día, con contenidos de PB de 11.4 y 25.2 % para Megathyrus y Leucaena respectivamente. La producción de leche fue de 9.7 y 9.8 kg/animal/día, para los tratamientos con y sin suplementos, y la condición corporal (CC) de las vacas (2.70 para ambos tratamientos). Los datos sugieren que la suplementación con concentrado en vacas lecheras Holstein x Cebú, manejadas en una asociación de guinea y leu-

caena con elevada oferta de forraje, no incrementa la producción de leche ni mejora su calidad nutricional (López *et al.*, 2015).

En las vacas manejadas en sistemas con asociación de *M. maximus* y *C. nlemfuensis* con *L. leucocephala*, cuando paren con CC entre 3 y 3.5 (en la escala de 0-5), la producción de leche es superior entre 20 y 25 % con respecto a las que paren con CC inferior a 2.5 o superior a 3.5, mientras que, la eficiencia reproductiva, medida a través del intervalo parto-gestación y el número de servicios por gestación, es superior en las vacas con CC entre 3,0 y 4,0 al compararse con una CC inferior a ésta (López, citado por Blanco *et al.*, 2017).

En la evaluación con animales Cebú que iniciaron el pastoreo con PV de 220-230 kg en cuatro sistemas en los que se asoció *M. maximus* con las leñosas: leucaena, bauhinia y albizia (600-900 árboles/ha), para compararlas con un control con gramíneas mejoradas, se obtuvo que los sistemas con árboles aventajaron significativamente (más de 600 g/animal/día) al control (Hernández, 2000).

Consideraciones finales

Como resultado del trabajo realizado en el mejoramiento de *M. maximus*, se seleccionaron 15 cultivares introducidos, 11 clones a partir de la población cubana, 9 híbridos apomícticos, 3 progenitores sexuales mejorados y 3 somaclones.

Los estudios realizados con el material introducido y colectado en Cuba y en los somaclones e híbridos, indican un buen comportamiento con diferentes portes, en indicadores del rendimiento, índice de calidad y el porcentaje de hojas, superiores o igual a la variedad comercial testigo que fue Likoni.

Las variedades comerciales y los tipos estudiados sin fertilización, presentaron altos rendimientos de MS al compararlos con la testigo Likoni y con otras gramíneas promisorias.

M. maximus se adapta a un amplio espectro de suelos, produce un alto número de hijos y una elevada producción de hojas, soporta la sequía y prospera bien bajo la sombra de leguminosas arbóreas.

Con relación a la siembra asociada con diferentes leguminosas herbáceas para el manejo en pastoreo, también se logra un buen establecimiento.

Con el cv. Likoni es posible producir seis, y de tres a cuatro cosechas de semilla al año, con riego y sin éste.

En cuanto a su fitosanidad, lo más importante es que, si esta planta se maneja adecuadamente, podrá contribuir mejor con su rol ecológico dentro de los diferentes agroecosistemas, referente a la conservación de enemigos naturales, para así mantener el equilibrio entre fitófagos y organismos benéficos.

Los resultados en producción de ensilajes indicaron que cultivar Likoni fue el que presentó el mejor comportamiento, y confirmaron la posibilidad de no emplear aditivos en el proceso de ensilado. Cuando se ensiló con leguminosas y plantas proteínicas, mantuvo las características de ensilabilidad con un mayor valor nutricional, y en el caso de *M. alba* se observó una tendencia a la disminución del pH y la mejor proporción gramínea-morera fue 70:30.

Mantiene su persistencia en pastoreo cuando se maneja con altas cargas instantáneas, posee un potencial productivo para obtener 10 litros de leche/vaca/día cuando se emplea riego y fertilización o en sistemas asociados con leguminosas arbóreas; no obstante, para alcanzar resultados satisfactorios deben cumplirse ofertas de 35 kg y 25 kg de MS/animal/día, en monocultivo y en asociación con alta densidad de leguminosas arbóreas respectivamente.

En la ceba vacuna se alcanzan ganancias de 600g/animal/día en sistemas asociados con leguminosas arbóreas.

Las características que presenta *M. maximus*, permiten afirmar, que puede formar parte de ecosistemas ganaderos resilientes al cambio climático, por lo cual es imprescindible la conservación tanto de los materiales introducidos como de aquellos obtenidos durante el programa de mejoramiento por constituir la garantía para el establecimiento de ecosistemas ganaderos resilientes, y para el mejoramiento de los depauperados pastizales de la ganadería.

Literatura citada

- Alonso, O. y Delgado, A. (1998). Microflora fungosa detectada en semillas de *Panicum maximum* cv. Likoni. *Pastos y Forrajes* 21(1): 75-80.
- Alonso, O.; Lezcano, J.C. y Moraima, S. (2011). Composición trófica de la comunidad insectil en dos agroecosistemas ganaderos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Panicum maximum* Jacq. *Pastos y Forrajes* 34(4): 433-444.
- Altieri, M.A. & Nicolls, C.I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8(1): 7-20.
- Álvarez, G.R.; Vargas, J.C.; Franco, F.J.; Álvarez, P.E.; Samaniego, M.C.; Moreno, P.A.; Chacón, E.; García, A.; Arana, R. y Ramírez de la Rivera, J. (2016a). Rendimiento y calidad del pasto *Megathyrus maximus* fertilizado con residuos líquidos de cerdo. *REDVET* (Rev. Electrón. Vet.) 17(6).
- Álvarez, G.R.; Vivas, R.L.; Suárez, G.R.; Cabezas, R.R.; Jacho, T.E.; Llerena, T.J.; Valverde, H.E.; Moreira, Y.E.; García, A.R.; Chacón, E. y Verdecia, D.M. (2016b). Componentes del rendimiento y composición química de *Megathyrus maximus* en asociación con leguminosas. *REDVET* (Rev. Electrón. Vet.) 17(12).
- Barrientos, A. (1990). *Estimación de la población potencial de Mocis sp. en pastos, mediante la utilización de la trampa-miel como método de muestreo*. Propuesta de generalización. ICA, La Habana, Cuba. 7pp. (mimeo).
- Blanco, F.; Milera, C. M. y Machado, R. (2017). *Génesis y Evolución. 55 Años de Ciencia e Innovación*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Cinco decenios dedicados a la ciencia. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Cuba. 362 p.
- Cáceres, O., Esperance, M. & Oramas, J. (1984). Valor nutritivo del heno de hierba guinea. *Pastos y Forrajes* 7(2): 251-260.
- De la Paz, G.; Miret, R. y Delgado, A. (1990). Flósculo más atacado y momento en que un Thrips afecta la inflorescencia del *Panicum maximum* Jacq. *Pastos y Forrajes* 13(3): 279-283.
- Delgado, A.; de la Paz, G. y Miret, R. (1992). Niveles de incidencia en *Panicum maximum* Jacq. e interacción de los factores del clima sobre la densidad poblacional del *Chirotrips crassus* Hind. *Pastos y Forrajes*. 15(2): 144-152.
- Delgado, A.; Machado, H. & de la Paz, G. (1990). Evaluación de la resistencia de hongos de las espículas en una colección introducida de *P. maximum* Jacq. *Pastos y Forrajes*. 13(1):59-65.

- Dumonth, B.; González-García, E.; Thomas, M.; Fortun-Lamothe, L.; Ducrot, C.; Dourmad, J. y Tichit, M. (2014). Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. *Anim. 8*(8): 1382-1393.
- Egea-Fernández, J.M.; Egea-Sánchez, J.M.; Egea-Sánchez, I. y Rivera-Núñez, D. (2015). Recursos Fito-genéticos. En: *Cultivos promisorios para enfriar el clima y alimentar al mundo una propuesta agroecológica para tierra de iberos*. Ed. Integral. Asociación para el Desarrollo Rural. Pp. 13-24.
- FAO. (2013). *Enfrentamiento al cambio climático través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISBN 978-92-5-307921-6. 112p.
- Fernández, A. M. (2016). Innovación sostenible en pastos: hacia una agricultura de respuesta al cambio climático Lugo-a Coruña. *Pastos 45*(2): 50-52.
- García, M. y García, J.L. (1990). *Estudio de la efectividad de B. bassiana en el control de Chirothrips crassus Hind*. Proyecto de Grado para optar por el título de Técnico Medio en Agronomía. Instituto Politécnico Agropecuario Juan Dioscórides. Prieto-Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Cuba.
- Guevara, R.; Ruiz, R.; Curbelo, L.; Guevara, G.; Gálvez, M.; Martínez, S.J.; Estévez, J. y Pedraza, R.M. (2003). Asociación de guinea (*Panicum maximum*) con leguminosas nativas explotadas en pastoreo racional en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes 26*(13): 215-220.
- Hernández, D.; Carballo, M.; García-Trujillo, R.; Mendoza, C. y Robles, F. (1992). Estudio del manejo de *Panicum maximum* cv. Likoni para la producción de leche. IV. Respuesta animal y comportamiento del pastizal. *Pastos y Forrajes 15*(3): 249-259.
- Hernández, D.; Carballo, M. y Reyes, F. Manejo racional de una multisociación árboles-pastos. En Voisin, A. *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. Milera, M.). La Habana, Cuba. (2011). Pp. 513-535.
- Hernández, L. Milera, M.C. & Blanco, F. Influencia del sistema de explotación y la especie sobre los componentes de la fitomasa subterránea. En André Voisin. *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. Milera, M.). La Habana, Cuba. (2011). Pp. 426-442.
- Hernández, M. y Cáceres, O. (1983). Guinea Likoni. *Pastos y Forrajes 6*(1):1-16.
- Hernández, M. y Cárdenas, M. (1990). Estudio del efecto residual del fertilizante fosfórico aplicado a la guinea likoni. *Pastos y Forrajes 13*(2):165-170.
- Hernández, I. (2000). *Utilización de las leguminosas arbóreas L. leucocephala, A. lebeck y B. purpurea en sistemas silvopastoriles*. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team: Pachauri R.K. and Meyer L.A. (eds.)]. IPCC. Geneva, Switzerland.
- IPCC. (2015). Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlo mer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. 176 p.
- Lamela, L. *Evaluación de pastos para la producción de leche*. (1991). Tesis presentada en opción al grado de candidato al Doctor en Ciencias. ICA-ISCAH. La Habana, Cuba.
- Lezcano, J. C.; Alonso, O. y Martínez, M. (2000). *Acción fungicida de dos extractos vegetales aplicados a semillas de guinea likoni. Resultado preliminar*. Memorias. II Taller Internacional "La Semilla en la ganadería tropical". EEPF Indio Hatuey. Matanzas, Cuba.
- López, O.; Olivera, Y., Lamela, L.; Sánchez, T.; Montejo, I. L. y Ronquillo, R. R. (2014). Efecto de la suplementación con concentrado en la fermentación *in vitro* de dietas para vacas lecheras en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes 37*(4): 426-434.
- López, O.; Lamela, L.; Montejo I. L. y Sánchez, T. (2015). Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes 38*(1): 46-54.

- López, O.; Ruíz, T.E.; Sánchez, T. y Castillo, E.; Iglesias, J. M.; Lamela, L.; Soca, Mildrey; Alonso, O.; Sánchez, Saray, González, E.; Ojeda, O.; Martín, G. J.; Arece, J.; Milera, M.; Febles, G.; Galindo, Juana, Alonso, J.; Jordán, H.; Valenciaga, Nurys, Lok, Sandra, Cino, Delia M.; Mejías, R.; Torres, Verena, Crespo, G. J.; La O, O.; Herrera R. S. y Díaz, María F. (2015). Potencialidades del silvopastoreo para la producción animal en Cuba. En: *La ganadería en América Latina y el Caribe: alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal*. (Editores: Núñez, R.; Ramírez, R.; Fernández, S.; Araujo, O. García, M. y Díaz, T. E.). Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados-Fundación COLPOS-Universidad de Chapingo-ALPA-FAO-IICA. ISBN: 978-607-715-305-4. Pp. 293-306.
- Machado, H.; Roche, R. & Seguí, E. (1987). Obtención de híbridos en *Panicum maximum*. *Pastos y Forrajes* 10(2): 128-135.
- Machado, H.; Roche, R.; Tamayo, A. & Seguí, E. (1988). Selección de plantas sexuales y posibilidad de la mejora por cruzamiento de *Panicum maximum* en Cuba. *Pastos y Forrajes* 11(3): 31-36.
- Machado, R. (2012). Cambios en la estructura, la población y la composición de 19 accesiones de *Panicum maximum* sometidas a pastoreo. *Pastos y Forrajes* 35(2): 165-174.
- Machado, R. (2013). Comportamiento de 19 accesiones de *Panicum maximum* Jacq. bajo condiciones de pastoreo en un suelo de mediana fertilidad. *Pastos y Forrajes* 36(2): 202-208.
- Machado, R. & Seguí, E. (1997). Introducción, mejoramiento y selección de variedades comerciales de pastos y forrajes. *Pastos y Forrajes* 20 (1): 1-19.
- Machado, R.; Seguí, E.; Olivera, Y.; Toral, O. & Wencomo, H. (2006). Fundamentación teórica y resultados del programa de introducción. En: *Recursos Forrajeros Herbáceos y Arbóreos*. (Ed. Milera, M.). Pp. 9-35.
- Machín, B. (2016). Movimiento agroecológico de campesino a campesino. En: *Avances de la Agroecología en Cuba*. (Eds. Funes, F. y Luis Vázquez, L.). Estación Experimental Indio Hatuey. p. 423-444.
- Milera, M.C. (2016). Pastoreo racional de vacas lecheras en gramíneas mejoradas, con bajas o nulas aplicaciones de fertilizantes. En: *Manejo de vacas lecheras en pastoreo. Del monocultivo a la biodiversidad de especies*. (Eds. Alicia Ojeda, A.; Hernández, M. y Alonso, O.). Pp. 144-160.
- Milera, M. C.; Machado, R.; Simón, L.; García-Trujillo, R.; Mesa, A. R.; González Yolanda, Pérez A.; Remy, V. A.; Ojeda, F.; Esperance, M.; Lamela, L.; Hernández D.; Cáceres, O.; Hernández, M.; Paretas, J. J.; López, Mirta, Machado, Hilda, C.; Seguí, Esperanza, Martín, G. J.; Iglesias, J. M.; Valdés, L. R.; Gerardo, J. G.; Hernández, R.; Arece, J.; Reyes, F.; Hernández, I.; Hernández, C.; Blanco F.; Alonso, O.; Lezcano, J. C.; Sánchez, Saray, Olivera, Yuseika, Toral, Odalys, C.; Hernández L. A.; Blanco, D.; Soca, Mildrey, González, E.; Wencomo, Hilda B.; Montejo, I. L.; Pentón, Gertrudys, Fiallo, R. C.; Prieto, Marlene, Corbea, L. A.; Matías, C.; Menéndez, J.; Martínez H. L.; Hernández, Neice, Pereira, E.; Francisco, Ana G.; Roche, R.; Martínez, J.; Delgado, A. y Miret, R. (2017). Especies comerciales. Resultados y tecnologías para la producción de semillas. En: *Tecnologías, metodologías y resultados generados por la EEIH*. (Eds. Milera, M. y Sánchez, T.). Pp. 5-30.
- Milera, M.C.; López, O. & Alonso, O. (2014). Principios generados a partir de la evolución del manejo en pastoreo para la producción de leche bovina en Cuba. *Pastos y Forrajes* 37(4): 382-391.
- Miret, R. y Rodríguez, M. (1983). Incidencia de plagas y enfermedades en cvs. de *Panicum maximum* con 3 niveles de N. *Pastos y Forrajes* 6(3): 331-338.
- Murgueitio, E.; Barahona R.; Flores, X.M.; Charrá-Orozco, J.D. & Rivera, J.E. (2016). Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos? *Ceiba* 54(1): 23-30.
- Ojeda, F.; Dias, D. & Jácome, I. (1992). Efecto de la edad y la fertilización sobre la calidad fermentativa de los ensilajes tropicales. I. Hierba de guinea cv. Likoni. *Pastos y Forrajes* 15(2): 164-174.
- Ojeda, F., Montejo, I. L. & López, O. (2006). Estudio de la calidad fermentativa de la morera y la hierba de guinea ensiladas en diferentes proporciones. *Pastos y Forrajes* 29(2): 195-202.
- Penton, G. (2000). Tolerancia del *Panicum maximum* cv. Likoni a la sombra en condiciones controladas. *Pastos y Forrajes* 23(1): 79-84.

- Pérez, A.; Matías, C.; González, Ylanda y Alonso, O. (2006). Producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales. En Recursos Forrajeros Herbáceos y Arbóreos de Cuba. Ed: Milera, M.C. Estación Experimental Indio Hatuey. Matanzas, Cuba. Pp.135-171.
- Sánchez, S.; Milera, M.C.; Hernández, M; Crespo, G. & Simón, L. (2011). La macrofauna y su importancia en los sistemas de producción ganaderos. En: Voisin, A. Experiencia y aplicación de su obra en Cuba. (Ed. Milera, M.). Pp. 316-348.
- Sánchez, S., Crespo, G. & Hernández, M. (2010). Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham: III. Influencia de la densidad y diversidad de la macrofauna asociada. *Pastos y Forrajes* 33(1): 39-49.
- Seguí, E.; Blanco, F. y Machado, H. (1994). Nuevos cultivares de *Panicum máximum* adaptados a condiciones de bajos insumos. *Pastos y Forrajes* 17(1): 21-26.
- Simón, L. & Herrera, R. (1987). Evaluación de tres gramíneas de pastoreo en la crianza de terneros. *Pastos y Forrajes* 10(2): 183-188.
- Vázquez, L.L. (2006). *Insectos fitófagos, sus plantas hospedantes y enemigos naturales en los sistemas agrícolas de Cuba*. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Ciudad de La Habana, Cuba. 407 Pp.
- Vázquez, L.L.; Matienzo, Y.; Veitía, M. y Alfonso, J. (2008). *Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitofagos en los sistemas agrícolas de Cuba*. CIDISAV. Ciudad de La Habana, Cuba. 202 Pp.
- Vergara, J.J.S. (2016). Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2(1): 1-11.

Recepción: 01 de agosto de 2017
Envío arbitraje: 20 de agosto de 2017
Dictamen: 01 de diciembre de 2017
Aceptación: 13 de febrero de 2018



Título: *Pez vela*

Autora: Marisol Herrera Sosa

Técnica: Acuarelas. 12.5 cm x 17.7 cm

Medidas: 12.5 cm x 17.7 cm

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, Leonor Miranda Jiménez
y José Francisco Villanueva-Ávalos***

Colegio de Postgraduados
Campus Montecillo-Ganadería
Km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México
C.P. 56230

*Correspondencia: villanueva.francisco@inifap.gob.mx

□ Artículo invitado

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

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 advance of de-

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.

sertification 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 sub-continente 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; las 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.

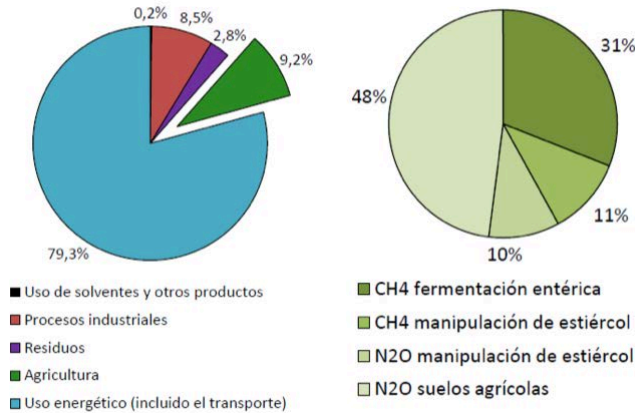
Lo anterior, afecta de forma directa e indirecta a la ganadería. De forma indirecta debido a que plagas y enfermedades del ganado comenzarán a desplazarse; similarmente, se desplazarán especies vegetales exóticas que afectarán la productividad primaria, la calidad del forraje producido y su disponibilidad 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 secuestrado 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 CH₄ de estiércoles provenientes de sistemas inten-

sivos requiere tecnología y manejos adecuados. La ganadería de sistemas vaca-becerro, hace uso de CO₂ que ya se encuentra en la atmósfera y libera mucho menores cantidades de CO₂ 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 nítrico (21 y 310 veces más dañinas a la atmósfera, respecto al CO₂). La ganadería contribuye con 14.2% de los GEI equivalentes a CO₂.

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, auto-incompatibilidad. 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 ente 50,000 y 60,000 macollos maduros de pastos deseables por hectárea (Quero-Carrillo *et al.*, 2014); en caso de contener menor densidad, la primer 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, redituará 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 in-

vernal 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 (Scarscia-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 lehmanniana*, *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.
6. 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”.

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 poliploidización-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 sue-

lo, pH, estructura, altitud, precipitación, exposición al ambiente, salinidad, temperaturas extremas, etcétera) para prácticamente todo el sub-continente 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. dimorfica*, *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 silente 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 *Hymenoxis 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 noveles 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*, en

tre otras, poseen una extrema baja representatividad genética en México y, en algunas apomíticas (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 salvazo (*Desmois* 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 sú-

bita, 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 sonorese. 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, autógeno, 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 cruza 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 intra-específica *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 primara 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 long-term 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-Méendez 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).
- 400PPM. (2016) *Global CO₂ concentrations just passed 400 parts per million.* 2016. <http://400.350.org/>. (Octubre 26, 2016).

Recepción: 20 de julio de 2017

Envío arbitraje: 28 de julio de 2017

Dictamen: 15 de noviembre de 2017

Aceptación: 01 de diciembre de 2017



Título: *Salinas*

Autora: Marisol Herrera Sosa

Técnica: Acuarelas. 12.5 cm x 17.7 cm

Medidas: 12.5 cm x 17.7 cm