

La adaptabilidad de los recursos zoogenéticos Criollos, base para enfrentar los desafíos de la producción animal

Núñez-Domínguez, R.[®]; Ramírez-Valverde, R.; Saavedra-Jiménez, L.A. y García-Muñiz, J.G.

Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México.

RESUMEN

Las principales especies pecuarias en América Latina y El Caribe (ALC) procedentes de la península Ibérica, han evolucionado por 500 años en ambientes diversos y adversos, lo que sugiere que los animales Criollos poseen genes para adaptación en frecuencias distintas a las de razas exóticas. El propósito es mostrar resultados de la presencia de genes relacionados con la adaptación de rumiantes Criollos en condiciones adversas. En situaciones de estrés, los Criollos, comparados con animales de razas exóticas, cuentan con variabilidad genética para una mejor aptitud reproductiva, homeostasis en la temperatura corporal, mejor supervivencia, y menor impacto ambiental en pastoreo. La aplicación de herramientas genómicas en la selección de animales Criollos genéticamente superiores para características relacionadas con la adaptación es limitada debido a la falta de estructura de la industria animal que facilite la integración de poblaciones Criollas dispersas, y de sistemas estandarizados de genealogía y control de producción; además de la falta de capacidades técnicas especializadas para la gestión de grandes bases de datos. Existe una gran oportunidad para la identificación de genes asociados con características de adaptación en poblaciones Criollas que se mantienen en ambientes adversos. Se prevé que la gran superficie ocupada por ecosistemas con ambientes adversos en ALC se incremente como consecuencia del cambio climático, lo cual constituye una oportunidad para desarrollar sistemas de producción de alimentos resilientes, con base en recursos genéticos Criollos.

Adaptability of Criollo's genetic resources, as a base to meet animal production challenges

SUMMARY

Main livestock species in Latin America and the Caribbean (ALC) introduced from the Iberian Peninsula, have evolved for 500 years in diverse and adverse environmental conditions, suggesting that Criollo animals have genes for adaptation in different frequencies than the exotic breeds. The purpose was to show evidences of the presence of genes related to adaptation of Criollo ruminants under adverse environments. Compared to exotic breeds, Criollo animals have genetic variability that favors reproductive fitness, ability for body temperature homeostasis, better survival and less environmental impact of grazing in rangelands. Application of molecular tools for selection of better Criollo breeding animals of traits related to adaptation is scarce. Main limitations include the lack of a breeding structure to allow the involvement of sparse small Criollo populations and the implementation of uniform pedigree and performance recording programs. One additional limitation is the lack of human resources trained to analyze large databases. There is an opportunity to identify genes related to adaptability traits in Criollo populations that are maintained in unfavorable environments. As a consequence of the climatic change, it is expected that the already large adverse area for livestock production in ALC will increase and there will be an opportunity to develop resilient animal production systems based on Criollo animal genetic resources.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Resistencia a parásitos.
Tolerancia al calor.
Escasez de forraje y agua.
Herramientas moleculares.

ADDITIONAL KEYWORDS

Parasite resistance.
Heat tolerance.
Feed and water scarcity.
Molecular tools.

INFORMACIÓN

Cronología del artículo.
Recibido/received: 02.04.15
Aceptado/Accept: 20.03.16
Online: 15.09.16
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
rafael.nunez@correo.chapingo.mx

IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS ZOOGENÉTICOS CRIOLLOS

Las estadísticas demográficas señalan que para el año 2050 la población humana en el mundo alcanzará los 9600 millones, uno de los retos más abrumadores en la actualidad (GAP Report[®] 2013). Lo anterior impone una mayor presión sobre los recursos naturales, pues

habrá que incrementar la producción de alimentos con la misma o menor superficie agrícola, atendiendo los nuevos desafíos que ha impuesto la sociedad como bienestar animal, inocuidad de los productos alimenticios y reducción de contaminantes. Adicionalmente, las variaciones en la intensidad y frecuencia de precipitaciones y temperaturas están teniendo efectos importantes en la producción de alimentos, tanto de origen vegetal como

animal. Entre los efectos esperados del cambio climático están la aparición de plagas y enfermedades, la escasez o abundancia de agua, la cantidad y calidad de los forrajes, el estrés por calor, y la reducción de la biodiversidad (Thornton *et al.*, 2009); todos estos efectos deberán considerarse para la conservación y uso sostenible de los recursos zoogenéticos.

Para abastecer las demandas en productos de origen animal, los sistemas de producción se han ido intensificando y cada vez utilizan un menor número de razas. En muchas especies, los recursos genéticos locales se han cruzado de manera indiscriminada con razas exóticas, provocando la reducción o extinción de razas localmente adaptadas o nativas. De acuerdo con datos del primer informe mundial sobre la situación de los recursos zoogenéticos, más de 90 % de la producción agropecuaria mundial la aportan 15 especies, se reportaron 7616 razas de animales usadas para la alimentación y la agricultura, y una cuarta parte de ellas están en peligro de extinción (FAO, 2010).

Después de cinco siglos que arribaron al continente americano las principales especies pecuarias procedentes de la península Ibérica, muchas razas Criollas han evolucionado en condiciones ambientales muy diversas y adversas, lo que sugiere que esos animales poseen genes para adaptación en frecuencias distintas a las de razas exóticas. Lo anterior, subraya la importancia de caracterizar, conservar y utilizar de manera sostenible la diversidad genética que por tantos años ha sido base para el sostenimiento de las formas de vida en comunidades rurales. El propósito de este documento es mostrar algunas evidencias de la presencia de genes relacionados con la adaptación de rumiantes Criollos ante condiciones adversas como estrés por calor, escasez de recursos forrajeros de calidad, y estrés por la presencia de parásitos. Asimismo, se pretende mostrar un ejemplo de conservación a través de una estrategia de uso sostenible basada en la generación de valor.

EVIDENCIAS DE ADAPTACIÓN DEL GANADO CRIOLLO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (ALC)

En ALC las poblaciones de las razas Criollas han evolucionado en diferentes zonas agroecológicas en sistemas de producción con manejo tradicional, y debido a la percepción de que son *poco productivas*, están siendo paulatinamente sustituidas por genotipos exóticos. Esta percepción posiblemente es errónea en condiciones sanitarias y de alimentación limitadas, así como en condiciones climáticas extremas. Desafortunadamente, con frecuencia los estudios que comparan a las razas Criollas con exóticas sólo consideran pocas variables productivas, y no las del ciclo productivo completo de los animales como son: supervivencia, tasa reproductiva, longevidad, y más específicamente costos de mantenimiento en condiciones de producción adversas.

La adaptación de los recursos zoogenéticos a determinadas condiciones agroclimáticas, de manejo y de mercado, es la base para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles; particularmente importantes en ambientes adversos con grandes variaciones ambientales a través del año, como lo son la gran mayoría de los sistemas de producción en regiones tropicales o áridas de ALC. Entre los factores que determinan la adaptación de los animales están la tolerancia al calor, la habilidad para aprovechar forrajes de baja calidad, y el potencial de sobrevivir en presencia de plagas y enfermedades (Bishop, 2011).

De acuerdo con datos de la FAO, más de 65 % de la población de bovinos, caprinos y ovinos pastorean en regiones tropicales (FAOSTAT, 2014). Las maneras de medir la resistencia de bovinos a los factores de estrés en condiciones tropicales incluyen la cuenta o clasificación del número de parásitos después de infestaciones naturales o artificiales, el tamaño de las lesiones por mordida o succión de sangre por insectos, la temperatura rectal, el color y tipo de pelaje, el temperamento y los cambios de peso vivo, siendo esto último lo que puede medirse de manera rutinaria (Borrow y Henshall, 2014).

ESTRÉS POR CALOR

De acuerdo con Collier *et al.* (2008), la respuesta al estrés por calor está dada por conjuntos de genes que actúan dentro y a través de células y tejidos, cuando el animal está fuera de su zona termoneutral, enviando señales para coordinar el metabolismo celular y del animal en su conjunto. Si el estrés persiste, estos cambios en la expresión de los genes conducen a un estado fisiológico nuevo referido como *adaptación*, que es un proceso controlado por el sistema endocrino. En esta adaptación, el metabolismo del animal se ajusta para minimizar los efectos negativos del incremento en la carga de calor. Según Da Silva *et al.* (2003), la absorción de la radiación solar está en función del color de la piel y el pelo, y de la longitud y densidad del pelaje (lo cual afecta la aeración sobre la superficie de la piel), que en conjunto determinan la pérdida de calor por evaporación.

Los animales adaptados al estrés por calor mantienen una temperatura corporal normal (medida a través de la temperatura rectal) en ambientes con temperaturas altas (Hammond y Olson, 1994). De acuerdo con Morrison (1983), la disminución del consumo de alimento en bovinos *Bos taurus* generalmente comienza cuando la temperatura ambiental supera los 25 °C, lo que puede causar efectos negativos en su comportamiento productivo y reproductivo (Gaughan *et al.*, 1999).

Para algunas razas, en especial las *Bos taurus*, aunque algunos animales sobrevivan en regiones tropicales, difícilmente se reproducen o su desempeño reproductivo es pobre (Góngora y Hernández, 2010). Estos autores revisaron estudios de estrés por calor en bovinos, mostrando evidencias de los efectos negativos

en características reproductivas (intensidad y duración del estro, desarrollo folicular, retardo o ausencia de ovulación, fertilidad, tasa de gestación, mortalidad embrionaria y retardo o suspensión de partos). Como ejemplo de estos efectos en ganado adaptado a regiones tropicales, Hernández-Cerón *et al.* (2004) estimaron que embriones de Romosinuano (Criollo) y Brahman fueron más resistentes al estrés por calor que los embriones de Holstein y Angus.

Olson *et al.* (2003) mencionaron que la temperatura rectal es un indicador de la habilidad del animal para mantener la homeostasis en la temperatura corporal, y se utiliza para evaluar el estrés por calor de bovinos de regiones tropicales y subtropicales. Estudios realizados en Florida, EE. UU., han mostrado que bovinos Senepol (raza sintética con genes *Bos taurus* adaptados al trópico) tienen similar tolerancia al calor que Brahman y que animales producto del cruzamiento de Senepol con razas *Bos taurus* europeas mostraron tolerancia comparable a la obtenida en Brahman y cruza con Brahman (Hammond y Olson, 1994; Hammond *et al.*, 1996). Las diferencias entre los genotipos para las concentraciones de cortisol circulante y hematocrito se utilizaron para explicar diferencias en temperatura rectal y tasa de respiración, que fueron las variables indicadoras de estrés por calor.

Existen evidencias de que las cruza de Senepol con *Bos taurus* muestran heterosis favorable para superar el estrés por calor, manteniendo constante la temperatura corporal en ambientes calientes, lo que sugiere el uso de Senepol en programas de cruzamiento (Hammond *et al.*, 1996).

Con el propósito de seleccionar animales resistentes al estrés por calor, estudios realizados en Australia demostraron que la heredabilidad para temperatura rectal (alrededor de 0.2) es moderada (Mackinnon *et al.*, 1991; Burrow, 2001). La estimación de valores genéticos para tolerancia al calor en bovinos Criollos permitiría a los productores de climas tropicales seleccionar exitosamente este ganado, sin afectar su comportamiento productivo.

RESISTENCIA Y TOLERANCIA A PARÁSITOS Y ENFERMEDADES

A nivel mundial, los desafíos de muchos de los sistemas de producción animal actuales ya no descansan sólo en lograr incrementos en la producción de los animales, sino también en el uso de animales con más balance entre sus características, considerando otras importantes, como fertilidad, longevidad, y resistencia a plagas y enfermedades. En los sistemas de producción animal la salud de los animales es fundamental para lograr mayor eficiencia, mejorar la seguridad alimentaria, y reducir los riesgos en la salud humana por la presencia de residuos de productos químicos usados para controlar los parásitos y enfermedades. Las enfermedades en el sector pecuario de países en desarrollo, impactan

entre 35 y 50 % del volumen de ventas (Bishop, 2011). Entre las enfermedades parasitarias, las infecciones por nematodos gastrointestinales son la mayor amenaza para la productividad de ovinos y caprinos, ocasionando impactos económicos considerables (Manndonet *et al.*, 2014).

Los métodos que usan productos químicos tradicionalmente han sido utilizados para controlar parásitos y enfermedades. Sin embargo, según Biegelmeier *et al.* (2011), su uso intenso y prolongado aumenta la resistencia del hospedero a los productos comerciales, convirtiéndolos en una alternativa no sostenible. Una mejor alternativa es la utilización de recursos genéticos pecuarios resistentes o tolerantes a la infestación por parásitos y presencia de enfermedades, como muchos de los recursos Criollos de ALC. Los parásitos y enfermedades principales en rumiantes de ALC incluyen la infestación con garrapatas (bovinos) y nematodos gastrointestinales (ovinos y caprinos), y sus enfermedades transmitidas.

En el caso de bovinos, sería más complicado seleccionar directamente para resistencia a enfermedades causadas por garrapata, como anaplasmosis y piroplasmosis, que seleccionar animales indirectamente mediante el conteo de garrapatas. Una estrategia para el control de garrapatas en bovinos tropicales es la selección de animales resistentes o tolerantes. Biegelmeier *et al.* (2011) concentraron información de varios autores que muestra la variabilidad genética en diversas razas o cruza para resistencia a garrapatas (heredabilidades entre 0,09 y 0,41).

La diferencia entre razas de animales para la tolerancia a garrapatas ha sido documentada ampliamente; en general, las razas *Bos indicus* presentan mayor resistencia que las razas *Bos taurus* Criollas, las que a su vez son más tolerantes que las *Bos taurus* europeas, a pesar que las Criollas tienen su origen en las europeas (Utech *et al.*, 1978).

Entre las características fenotípicas que se han usado para identificar pequeños rumiantes resistentes a infestaciones de parásitos (recuento de huevecillos en heces, carga parasitaria, anticuerpos del suero, eosinófilos periféricos, y concentración de albúmina en plasma); sin embargo, la más usada y con medidas más precisas para evaluar la resistencia a parásitos en pequeños rumiantes es el recuento de huevecillos en heces. Aunque existe un gran número de nematodos gastrointestinales que causan disminución en el desempeño de los ovinos, el *Haemonchus contortus* es el parásito más importante en países en desarrollo (Perry *et al.*, 2002) y prevalece en regiones tropicales, subtropicales y templadas, particularmente cuando se tienen precipitaciones y temperaturas altas. Es un parásito muy fecundo que vive en el abomaso de ovinos y caprinos succionando sangre y causando pérdidas económicas, particularmente en animales en crecimiento, debido a

hemorragias, anorexia, anemia, pérdida de condición corporal y eventualmente la muerte (Notter *et al.*, 2003).

En el caso de *Haemonchus* y otros parásitos que se alimentan de la sangre, el hematocrito puede ser un marcador de utilidad (Taylor *et al.*, 1990). Tanto el recuento de huevecillos en heces como el hematocrito son características valiosas, ya que el primero es una medida indirecta de resistencia y el segundo es un indicador de tolerancia (la habilidad del animal para resistir los efectos de la infestación). En condiciones ideales sería deseable seleccionar reproductores para disminuir el recuento de huevecillos en heces y aumentar el hematocrito.

Una alternativa de efectos a largo plazo es la identificación de razas y animales resistentes o tolerantes a parásitos gastrointestinales, para incluirlos en programas de mejoramiento genético. Para poder sobrevivir en condiciones de alta presencia de parásitos, las razas resistentes destinan parte de la energía consumida para este propósito y muestran baja productividad en comparación con razas seleccionadas para otras características (mayor ganancia de peso y mejor calidad de la carne). Para superar lo anterior, se pueden utilizar sistemas de cruzamiento ordenados entre razas resistentes y susceptibles a parásitos, ya que los animales cruzados generalmente muestran heterosis favorable (Amarante *et al.*, 2009).

El término resistencia a la parasitosis incluye la pasiva y la activa. Saddiqi *et al.* (2011) indican que la resistencia pasiva incluye barreras químicas y físicas (por ejemplo, pH) que le impiden al parásito entrar en el cuerpo del huésped o le proveen de un ambiente fisiológicamente inapropiado para su desarrollo; mientras que la activa se refiere a las respuestas inmunes innatas o adaptativas producidas como respuesta a la infestación (Coustau *et al.*, 2000). La elasticidad (o tolerancia) se define como la habilidad del huésped para sobrevivir y producir ante el desafío de parásitos (Bishop, 2011).

La resistencia a parásitos está influida por varios factores como edad, estado reproductivo, sexo, nutrición y raza de los animales. Con respecto a este último factor, se ha observado que la habilidad de inmunidad adquirida y la resistencia en ovinos varían genéticamente entre y dentro de razas. Entre las razas de ovinos que se han identificado como resistentes a parásitos gastrointestinales están Florida Native, St. Croix, Red Maasai y Gulf Coast Native (Baker y Gray, 2004). La mayoría de los estudios sobre resistencia a parásitos se han realizado en ovinos, aunque también hay evidencias de variabilidad genética entre y dentro de razas en caprinos; por ejemplo, la raza Small East Africa fue más resistente que Borana (Baker y Gray, 2004).

Una forma de incrementar la eficiencia productiva de los ovinos es aumentando la proporción de genes

Criollos resistentes a parásitos gastrointestinales. Por ejemplo, Notter *et al.* (2003) encontró que corderos St. Croix × Barbados Black Belly de cuatro meses de edad tuvieron menor recuento de huevecillos en heces y mayor hematocrito que los corderos 50 % Dorset, 25 % Rambouillet y 25 % Finnsheep en respuesta a una infección artificial. Los corderos Barbados Black Belly fueron mucho más resistentes a infestaciones de *H. contortus* que corderos INRA 401, pero las cruzas mostraron una respuesta similar a la de corderos Barbados Black Belly después de la infestación; esta resistencia se extendió a *Trichostrongylus colubriformis* y en menor grado a *Teladorsagia circumcincta* (Gruner *et al.*, 2003). Los animales F1, producto del cruzamiento entre las razas susceptibles Suffolk o Ile de France con la raza resistente Santa Inés, resultaron en un cruce con un potencial de resistencia superior a las infestaciones de parásitos gastrointestinales, similares a las de la raza parental resistente (Amarante *et al.*, 2009).

Una desventaja de las razas resistentes a parásitos gastrointestinales, particularmente en el trópico, es su menor productividad en comparación con las razas que han sido seleccionadas para otras características como ganancia de peso o calidad de la carne. Una posible causa de la supuesta baja productividad de las razas resistentes es la ausencia de programas estructurados de mejoramiento genético para incrementar su desempeño. Esta menor productividad ha ocasionado que se implementen cruzamientos indiscriminados con razas exóticas, con el consecuente incremento en mortalidad y el riesgo de extinción del recurso genético Criollo (Baker y Gray, 2004). Adicionalmente, la baja productividad se puede resolver mediante cruzamientos sistemáticos de razas resistentes con susceptibles, ya que comúnmente se observa heterosis en el desempeño de los animales (Amarante *et al.*, 2009).

La otra posibilidad de obtener animales resistentes es mediante programas de selección de futuros reproductores, ya que se ha observado que la variabilidad genética es similar entre y dentro de razas (Gray *et al.*, 1987). El mejoramiento o evaluación de animales genéticamente resistentes entre y dentro de razas, a través del recuento de huevecillos en heces, es una estrategia sostenible que ha sido exitosa en rebaños de ovinos con alto nivel de resistencia en algunos países como Australia y Nueva Zelanda (Baker y Gray, 2004).

La selección genética para resistencia a infestaciones de nematodos es una oportunidad en áreas de agricultura de subsistencia donde no se cuenta con vermífugos o son muy costosos, además de reducir la carga parasitaria en animales resistentes, se regula el ciclo de vida de los nematodos y se reduce la infestación de pasturas (Saddiqi *et al.*, 2011). Rashidi *et al.* (2014) midieron la tolerancia a infestaciones de nematodos y la correlación genética entre resistencia y tolerancia a estas infestaciones en ovinos Scottish Blackface. Estos auto-

res estimaron una correlación negativa entre peso corporal y recuento de huevecillos en heces cuando este último fue bajo o alto; esto indica dos posibles explicaciones: 1) dos conjuntos de genes se encargan de controlar el peso vivo en el nivel cero o alto de recuento de huevecillos en heces, o 2) el mismo conjunto de genes tiene efectos opuestos en estos dos niveles de recuento de huevecillos en heces. Asimismo, observaron que los corderos genéticamente más resistentes a infestaciones de nematodos tienen menor tolerancia genética a estas infestaciones, lo que debe considerarse al implementar programas de selección para una u otra característica.

ADAPTACIÓN A ESCASEZ DE AGUA Y FORRAJE

Los animales Criollos que han sobrevivido en áreas naturales sin mucha presión de selección artificial, mantienen mejores hábitos de pastoreo o ramoneo y ocasionan menores daños al ambiente que los animales de razas exóticas. Lo anterior fue evaluado por Peinetti *et al.* (2011), comparando hábitos de pastoreo de bovinos Angus y Criollo en áreas desérticas de la región Suroeste de los EE. UU. Los animales fueron provistos de collares con GPS para caracterizar la distribución espacial del pastoreo y se evaluó la relación entre los patrones de pastoreo y los factores ambientales causantes de esos patrones en cada raza. La evaluación se realizó durante cuatro semanas en primavera y otoño, para comparar la disponibilidad forrajera alta (primavera) y baja (otoño), manteniendo una carga animal de 100 ha/animal. Estos autores encontraron que los patrones de pastoreo fueron similares en primavera, pero diferentes en otoño. Cuando hubo menor disponibilidad de forraje, la actividad de pastoreo de animales Angus se restringió a distancias >2000 m del abrevadero; por el contrario, la probabilidad de desarrollar actividades de pastoreo de los Criollos fue >0,9 en sitios de >4000 m de distancia del abrevadero. Los factores más importantes que determinaron los patrones de pastoreo fueron distancia al abrevadero, tipo de cobertura forrajera, y pendiente del terreno; además de las diferencias en tamaño corporal de las razas.

Considerando que 35 % de la superficie terrestre son agostaderos, sabanas y monte bajo, que son el ecosistema de 50 % del ganado y que una causa de la desertificación es el sobrepastoreo (UNCCD, 2014), el estudio de Peinetti *et al.* (2011) sugiere que los animales Criollos que han evolucionado en condiciones de escasez de forraje y baja disponibilidad de agua, causan menor impacto ambiental que los de razas exóticas.

INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE (IGA)

Existen múltiples evidencias de estudios que muestran IGA, en razas transfronterizas para producción de leche en diferentes países de ALC (Cienfuegos-Rivas *et al.*, 1999), sistemas de producción (Ramírez-Valverde *et al.*, 2010) o climas (regiones) dentro de países (Valencia

et al., 2008); así como para producción de carne en diferentes climas (Saavedra-Jiménez *et al.*, 2013) o diferentes países (De Mattos *et al.*, 2000). Ramírez-Valverde *et al.* (2014) concluyeron que el riesgo de IGA se incrementa al transferir recursos genéticos evaluados en países desarrollados a países importadores, a medida que las condiciones ambientales entre países son más contrastantes. En el caso de muchos países de ALC, una mejor alternativa a la importación de recursos genéticos es evaluar los animales en las condiciones de producción locales. En el caso de recursos Criollos, pocos trabajos han sido realizados para determinar la existencia y magnitud de posibles IGA (Navez y Menéndez, 2005; Arboleda *et al.*, 2010; Verde, 2010), tanto para características convencionales de producción como para otras importantes, como fertilidad, longevidad, y resistencias a estrés por calor, y a parásitos y enfermedades.

A pesar de que se han demostrado las ventajas de las razas Criollas en condiciones estresantes, el efecto y presencia de la IGA no ha sido estudiado a profundidad para estas razas. Naves y Menéndez (2005) estudiaron bovinos Criollos de la Isla de Guadalupe en condiciones tropicales, comparando el peso a los 15 meses de edad en tres sistemas de alimentación: pastoreo, confinamiento y semiestabulado. Estos autores encontraron IGA, indicando que la característica evaluada en un sistema de confinamiento no es la misma que en pastoreo o semiestabulado. Las razas Criollas Romosinuano y Blanco Orejinegro han sido objeto de varias investigaciones para identificar y determinar la magnitud de la IGA en varias características de crecimiento. Por ejemplo, Arboleda *et al.* (2010) analizaron registros de peso a los 12, 18 y 24 meses de edad de una población multirracial que incluyó Blanco Orejinegro y Romosinuano, agrupando los registros dentro de regiones agroecológicas: bosque sub-tropical húmedo, bosque tropical húmedo y bosque tropical seco. Los resultados obtenidos mostraron que la IGA fue significativa para las tres características y se observó que algunos grupos genéticos mostraron un mejor comportamiento en regiones específicas. Verde (2010) determinó la magnitud de la IGA para peso a los 548 días donde la definición de ambiente fue finca, y encontró que la jerarquización de los valores genéticos de los toros variaron a través de fincas. Santana Jr. *et al.* (2014) analizaron información de una población multirracial (que incluyó Nelore, Tuli, Romosinuano, Guzerat, Africander, Boran, Caracú, Senepol, Angus, Limousin, entre otras) para evaluar la presencia de la IGA para ganancia de peso posdestete, circunferencia escrotal al año y carne magra al año, donde la definición de ambiente fue de acuerdo con variables climatológicas (temperatura promedio mínima y máxima, y precipitación media anual) y geográficas (latitud, longitud y altitud); los resultados indican la necesidad de un análisis genético a nivel regional o la inclusión del efecto de la IGA en el modelo estadístico que permita una apropiada evaluación para los animales.

Es necesario que el fenómeno de la IGA sea estudiado con mayor amplitud en razas Criollas de ALC, especialmente con la combinación Criollo-ambiente tropical o árido, debido a las repercusiones económicas del uso de recursos genéticos exóticos no adaptados y a la necesidad de valorar los recursos genéticos Criollos en el ambiente en que han evolucionado.

OPORTUNIDADES DE LA GENÓMICA PARA MEJORAR CARACTERÍSTICAS DE ADAPTACIÓN

Existe una gran oportunidad para la identificación de genes asociados con características de adaptación en poblaciones Criollas que han evolucionado en regiones con ambientes adversos. Se prevé que la gran superficie ocupada por ecosistemas con ambientes adversos en ALC, se incrementa como consecuencia del cambio climático, lo cual constituye una oportunidad para desarrollar sistemas de producción de alimentos con base en recursos genéticos Criollos. A continuación se muestran algunos ejemplos de posible aplicación de herramientas genómicas para la identificación y uso de animales adaptados a ambientes estresantes.

Olson *et al.* (2003) documentaron la existencia de un gen mayor para forma y tamaño del pelo, asociado con la tolerancia al calor en bovinos Senepol y otras razas *Bos taurus* adaptadas a los trópicos. La evidencia encontrada apoya la hipótesis de la existencia de un gen mayor (*slick hair*) con acción génica de dominancia, que es el responsable de producir pelaje corto y lacio, que favorece el mantenimiento de baja temperatura rectal. El gen se ha encontrado en razas Criollo y Senepol de países ACL y en la raza Carora, que es una raza sintética formada con Pardo Suizo y Criollo de Venezuela. En ovinos, Romero *et al.* (2013) compararon las razas Pelibuey y Suffolk, concluyendo que los ovinos Pelibuey fueron más efectivos para regular su temperatura corporal en condiciones de alta temperatura; además, la viabilidad celular después de aplicar estrés por calor fue mayor en Pelibuey que en Suffolk, que es un efecto que podría estar mediado por mecanismos relacionados con proteínas de golpe de calor, de las cuáles la más abundante es HSP-70. Asimismo, Basiricó *et al.* (2011) encontraron polimorfismos para el gen HSP-70 en vacas Holstein, lo que sugiere que la selección de ganado tolerante al estrés por calor, con base en marcadores genéticos para esta proteína puede ser una alternativa de uso en el corto plazo.

La selección genómica para resistencia a garrapata posibilitaría en forma anticipada la identificación de genotipos superiores, sin la necesidad de la exposición del huésped al parásito. Entre los genes más estudiados del sistema inmunológico asociados con la resistencia del huésped a la infestación de garrapata, están los del complejo mayor de histocompatibilidad (BoLA), los cuales han sido ya identificados en varias razas bovinas con alto grado de polimorfismo (Acosta-Rodríguez *et al.*,

2005) y en bovinos Criollos colombianos (Martínez *et al.*, 2004).

Por otra parte, Riggio *et al.* (2014) estudiaron la identificación de QTL asociados con recuento de huevecillos en heces en una raza de ovinos (Scottish Blackface, SBF) y a través de poblaciones en un análisis conjunto (usando datos de SBF, retrocruza Sarda x Lacaune y retrocruza Martinik Black-Belly x Romane), mediante un chip de 50k SNP. Estos autores fueron efectivos en identificar QTL para resistencia a nematodos dentro y a través de poblaciones; sin embargo, las predicciones genómicas fueron valiosas sólo en animales emparentados, ya que no funcionaron a través de poblaciones.

A pesar de que hay evidencias sobre posibles aplicaciones de herramientas genómicas en apoyo a la selección de animales genéticamente superiores para características relacionadas con la adaptación a ambientes adversos, una limitante importante es la falta de estructura de la industria animal que facilite la integración de poblaciones Criollas dispersas, y la implementación de sistemas estandarizados de genealogía y control de producción; además de la falta de bases de datos centralizadas y de capacidades técnicas especializadas para la gestión de grandes bases de datos. Lo anterior, tiene que estar soportado por políticas públicas encaminadas a la generación de valor en sistemas de producción animal en ambientes adversos.

EJEMPLO DEL USO SOSTENIBLE DEL CERDO PELÓN MEXICANO

Con el propósito de ilustrar una alternativa para el uso sostenible de los recursos genéticos Criollos a través de una propuesta de generación de valor, se describe el caso del Cerdo Pelón Mexicano en la Península de Yucatán. El cerdo Criollo de México incluye a tres genotipos: 1) el Cósate o Pata de Mula, con resistencia natural contra la Fiebre Aftosa, pero reportado ya extinto por algunos autores; 2) el Cuino, que se encuentra en estado crítico de extinción; y 3) el Cerdo Pelón Mexicano, reportado en peligro de extinción (Anderson *et al.*, 1999; Sierra, 2000).

En el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán se inició el programa de *Rescate, Conservación y Uso Sostenible del Cerdo Pelón Mexicano* en el año 2000 (Peña, 2010; Sierra, 2010). A continuación se describen las etapas para el desarrollo del proyecto:

I. Estudio de la población. Consistió en la caracterización del sistema tradicional de producción del Cerdo Pelón Mexicano en Yucatán, mediante el acopio de datos como localización geográfica, evolución censal, situación actual, causas de regresión racial, razones de conservación, y características raciales (productivas, reproductivas, genéticas, sanitarias, nutricionales, comerciales y de manejo en general).

II. *Caracterización de la población.* Consistió en el registro de tres tipos de datos: zoométricos, zootécnicos y genéticos. Los zoométricos incluyeron variables fanerópticas, morfométricas y el cálculo de índices zoométricos, los cuales fueron de interés para proponer el estándar de la raza. Los datos zoométricos involucraron el crecimiento y calidad de la canal, además de indicadores reproductivos y de calidad del semen. Los genéticos incluyeron la caracterización genética mediante marcadores moleculares tipo microsatélites y electroforesis en geles desnaturizantes por gradiente, lo que permitió conocer los niveles de variabilidad existentes, valores promedio de consanguinidad e identificación de individuos heterocigóticos.

III. *Conservación de la población.* La conservación *in vivo* se desarrolló mediante la creación de un Centro de Rescate Genético, el cual estuvo integrado por un núcleo fundacional de 50 hembras y 5 machos en edad de reproducción, que funcionó durante cinco años de forma ininterrumpida, cuya objetivo fue mantener la máxima variabilidad genética con el mínimo incremento de consanguinidad por generación. La conservación *in situ* consistió en crear núcleos de animales que cumplieron el estándar racial y que nacieron en el Centro de Rescate Genético; dichos núcleos se otorgaron a diferentes productores rurales que actualmente se encuentran distribuidos en diferentes puntos del estado de Yucatán.

IV. *Uso sostenible.* Consiste en un sistema de producción en condiciones extensivas, que aprovecha los recursos disponibles del medio y la rusticidad de los animales, y es un modelo económicamente rentable.

V. *Valor agregado.* Al inicio del programa de rescate, el Cerdo Pelón Mexicano no tenía valor alguno en el mercado, sólo servía como fuente de alimento de las jefas de familia (productoras mayas campesinas) que lo criaban, y su tendencia poblacional disminuía año tras año. Para revertir esta tendencia, se implementó una estrategia de generación de valor a través de la industrialización de productos cárnicos especializados, como el platillo gastronómico tradicional en la Península de Yucatán: la *Cochinita Pibil*. Debido a las condiciones en que este cerdo se cría (rusticidad, resistencia innata a las enfermedades, facilidad para el pastoreo y consumo de amplia variedad de plantas locales, y capacidad para resistir los rigores del clima tropical), su carne tiene características organolépticas peculiares.

VI. *Comercialización.* Un paso importante fue la formación de la Asociación Mexicana Especializada en Cerdos Criollos, A. C., lo que facilita la implementación de programas de control genealógico y de producción, así como de programas de mejoramiento genético. Adicionalmente, en esta etapa se identificaron nichos de mercado para los productos cárnicos, como: la cadena de restaurantes de la Riviera Maya alcanzando precios mayores que los de carne de cerdo comercial; repoblación de piaras en comunidades rurales Mayas a través

de programas sociales de gobierno; productores rurales que se encuentran distribuidos en diferentes puntos del interior del estado; y venta de destetes para producir un lechón horneado para el turismo europeo. En la actualidad, la producción de cerdos no es suficiente para satisfacer la demanda local que se ha generado.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Rodríguez, R.; Alonso-Morales, R.; Balladares, S.; Flores-Aguilar, H.; García-Vázquez Z. and Gorodesky, C. 2005. Analysis of BoLA class II microsatellites in cattle infested with *Boophilus microplus* ticks: class II is probably associated with susceptibility. *Vet Parasit*, 127: 313-321.
- Amarante, A.F.T.D.; Susin, I.; Rocha, R.A.; Silva, M.B.; Mendes, C.Q. and Pires, A.V. 2009. Resistance of Santa Ines and crossbred ewes to naturally acquired gastrointestinal nematode infections. *Vet Parasit*, 165: 273-280.
- Anderson, S.; Ferrás, N. y Rivera, T. 1999. La población de cerdo criollo en Yucatán, México: estado del impacto genético. Memorias Seminario Internacional Agrodiversidad Campesina. Universidad Autónoma del Estado de México. pp. 257-266.
- Arboleda Z., E.M.; Cerón M., M.F.; Cotes T., J.M. and Vergara G., O.D. 2010. Genotype-environment interaction in multibreed bovine populations in the Colombian low tropic. *Rev Colomb Cien Pec*, 23: 145-157.
- Baker, R.L. and Gray, G.D. 2004. Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. In: Sani, R.A., Gray, G.D. and Baker, R.L. (Eds.). *Worm control for small ruminants in tropical Asia*. Australian Centre for International Agricultural Research. Australia. pp: 63-95.
- Basiricó, L.; Morera, P.; Primi, V.; Lacetera, N.; Nardone, A. and Bernabucci, U. 2011. Cellular thermotolerance is associated with heat shock protein 70.1 genetic polymorphisms in Holstein lactating cows. *Cell Stress Chaper*, 16: 441-448.
- Biegelmeier, P.; Nizoli, L.Q.; Cardoso, F.F. e Dionello, N.J.L. 2011. Aspectos da resistência de bovinos ao carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Arch Zootec*, 61(R): 1-11.
- Bishop, S.C. 2011. Possibilities to breed for resistance to nematode parasite infections in small ruminants in tropical production systems. *Animal*, 6: 741-747.
- Burrow, H.M. 2001. Variances and covariances between productive and adaptive traits and temperament in a composite breed of tropical beef cattle. *Livest Prod Sci*, 70: 213-233.
- Cienfuegos-Rivas, E.G.; Oltenacu, P.A.; Blake, R.W.; Schwager, S.J.; Castillo-Juarez, H. and Ruiz, F.J. 1999. Interaction between yield of Holstein cows in Mexico and the United States. *J Dairy Sci*, 82: 2218-2223.
- Collier, R.J.; Collier, J.L.; Rhoads, R.P. and Baumgard, L.H. 2008. Invited review: Genes involved in the bovine heat stress response. *J Dairy Sci*, 91: 445-454.
- Coustau, C.; Chevillon, C.; French-Constant, R. 2000. Resistance to xenobiotics and parasites: can we count a cost? *Trends Ecol Evol*, 15: 378-383.
- Da Silva, R.G.; La Scala, N.Jr. and Tonhati, H. 2003. Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. *Trans Asae*, 46: 913-918.
- De Mattos, D.; Bertrand, J.K. and Misztal, I. 2000. Investigation of genotype x environment interaction for weaning weight for Herefords in three countries. *J Anim Sci*, 78: 2121-2126.
- FAO. 2010. La situación de los recursos zoológicos mundiales para la alimentación y la agricultura. Ed. Barbara Rischkowsky y Dafydd

- Pilling. Traducción de la versión original en inglés, 2007. Roma. 555 pp.
- FAOSTAT. 2014. FAO Statistical Yearbook. <http://faostat.fao.org/default.aspx> (17/02/2014).
- GAP Report® 2013. Global Agriculture Productivity Report. Sustainable pathways to sufficient nutritious and affordable food. Global Harvest Initiative. Washington, D.C. USA. 51 pp.
- Gaughan, J.B.; Mader, T.L.; Holt, S.M.; Josey, M.J. and Rowan, K.J. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *J Anim Sci*, 77: 2398-2405.
- Góngora, A. y Hernández, A. 2010. La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Rev. U.D.C. Act & Div Cient*, 13: 141-151.
- Gray, G.D.; Presson, B.L.; Albers, G.A.A.; Le Jambre, L.F.; Piper, L.R. and Barker, J.S.F. 1987. Comparison of within-and between-breed variation in resistance to haemonchosis in sheep. In: McGuirk, B.J. (Ed.). Merino improvement programs in Australia. Australian Wool Corporation. Melbourne. pp. 365-369.
- Gruner, L.; Aumont, G.; Getachew, T.; Brunel, J.C.; Pery, C.; Cognié, Y. and Guérin, Y. 2003. Experimental infection of Black Belly and INRA 401 straight and crossbred sheep with trichostrongyle nematode parasites. *Vet Parasit*, 116: 239-249.
- Hammond, A.C. and Olson, T.A. 1994. Rectal temperature and grazing time in selected beef cattle breeds under tropical summer conditions in subtropical Florida. *Trop Agric*, 71: 128-128.
- Hammond, A.C.; Olson, T.A.; Chase, C.C.Jr.; Bowers, E.J.; Randel, R.D.; Murphy, C.N.; Vogt, D.W. and Tewolde, A. 1996. Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *J Anim Sci*, 74: 295-303.
- Hernández-Cerón, J.; Chase, C.C.Jr. and Hansen, P.J. 2004. Differences in heat tolerance between pre-implantation embryos from Brahman, Romosinuano and Angus breeds. *J Dairy Sci*, 87: 53-58.
- Mackinnon, M.J.; Meyer, K. and Hetzel, D.J.S. 1991. Genetic variation and covariation for growth, parasite resistance and heat tolerance in tropical cattle. *Livest Prod Sci*, 27: 105-122
- Manndonet, N.; Mahieu, M.; Alexandre, G.; Gunia, M. and Bambou, J.C. 2014. Genetic resistance to parasites in small ruminants: from knowledge to implementation in the tropics. Proc. World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. pp. 1-6.
- Martinez, M.L.; da Silva, M.V.G.V.; Machado, M.A.; do Nascimento, C.S.; Campos, A.L.; Guimarães, M.F.M.; Furlong, J.; Pires, M.F.A. e Teodoro, R.L. 2004. Associação do gene candidato BoLA-DRB 3.2 com resistência a ectoparasitas em bovinos. 41º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Anais. Campo Grande. MS.
- Morrison, S.R. 1983. Ruminant heat stress: effect on production and means of alleviation. *J Anim Sci*, 57: 1594-1600.
- Naves, M. y Menéndez, A. 2005. Interacción genotipo ambiente sobre el crecimiento posdestete en vacuno Criollo de Guadalupe. *Arch Zootec*, 54: 377-384.
- Notter, D.R.; Andrew, S.A. and Zajac, A.M. 2003. Responses of hair and wool sheep to a single fixed dose of infective larvae of *Haemonchus contortus*. *Small Rumin Res*, 47: 221-225.
- Olson, T.A.; Lucena, C.; Chase, C.C.Jr. and Hammond, A.C. 2003. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *J Anim Sci*, 81: 80-90.
- Peinetti, H.R.; Fredrickson, L.; Peters, D.P.C.; Cibils, A.F.; Roacho-Estrada, J.O. and Laliberte, A.S. 2011. Foraging behavior of heritage versus recently introduced herbivores on desert landscapes of the American Southwest. *Ecosphere*, 2: 1-14.
- Peña, A.R. 2010. Rescate, conservación y utilización sustentable del cerdo pelón mexicano *Sus scrofa* en Yucatán. In: Programa elaboración de éxito de innovación en el sector alimentario. COFUPRO. Lugar de edición. 28 pp.
- Perry, B.D. 2002. Investing in animal health research to alleviate poverty. ILRI (aka ILCA and ILRAD). Nairobi. Kenia. 140 pp.
- Ramírez-Valverde, R.; Peralta-Aban, J.A.; Núñez-Domínguez, R.; Ruíz-Flores, A.; García-Muñiz, J.G. and García-Peniche, T.B. 2010. Genotype by feeding system interaction in the genetic evaluation of Jersey cattle for milk yield. *Animal*, 4: 1971-1975.
- Ramírez-Valverde, R.; Núñez-Domínguez, R.; Palacios-Jiménez, A.L. and Jiménez-Carrasco, J.S. 2014. Characterization of dairy cattle germplasm used in Mexico with national genetic evaluations in importing and exporting countries. *Livest Sci*, 167: 51-57.
- Rashidi, H.; Mulder, H.A.; van Arendonk, J.A.M.; de Jong, M.C.M. and Stear, M.J. 2014. Genetics of tolerance and resistance to nematode infection in sheep. Proc 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. pp. 1-3.
- Riggio, V.; Matika, O.; Pong-Wong, R.; Moreno, C.R.; Carta, A. and Bishop, S.C. 2014. A Comprehensive genetic study of resistance to nematodes in sheep using the ovine SNP chip. Proc 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. pp. 1-3.
- Romero, R.D.; Montero P., A.; Montaldo, H.H.; Rodríguez, A.D. and Hernández C., J. 2013. Differences in body temperature, cell viability, and HSP-70 concentrations between Pelibuey and Suffolk sheep under heat stress. *Trop Anim Health Prod*, 45: 1691-1696.
- Saavedra-Jiménez, L.A.; Ramírez-Valverde, R.; Núñez-Domínguez, R.; García-Muñiz, J.G.; López-Villalobos, N. and Ruíz-Flores, A. 2013. Genotype by climate interaction in the genetic evaluation for growing traits of Braunvieh cattle in Mexico. *Trop Anim Health Prod*, 45: 1489-1494.
- Saddiqi, H.A.; Jabbar, A.; Sarwar, M.; Iqbal, Z.; Muhammad, G.; Nisa, M. and Shahzad, A. 2011. Small ruminant resistance against gastrointestinal nematodes: a case of *Haemonchus contortus*. *Parasit Res*, 109: 1483-1500.
- Santana, M.L.Jr.; Eler, J.P.; Cardoso, F.F.; Albuquerque, L.G.; Balieiro, J.C.C.; Pereira, R.J. and Ferraz, J.B.S. 2014. Genotype by environment interaction for post-weaning weight gain, scrotal circumference, and muscling score of composite beef cattle in different regions of Brazil. *Genet Mol Res*, 13: 3048-3059.
- Sierra V., A. 2000. Conservación genética del cerdo pelón en Yucatán y su integración a un sistema de producción sostenible: primera aproximación. *Arch Zoot*, 49: 415-421.
- Sierra V.; A. 2010. Rescate y conservación del cerdo pelón en Yucatán. In: R. Durán García y M. E. Méndez García (Eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY. Mérida. Yucatán. pp. 393-396.
- Taylor, M.A.; Hunt, K.R.; Wilson, C.A. and Quick, J.M. 1990. Clinical observations, diagnosis and control of *Haemonchus contortus* infections in periparturient ewes. *Vet Rec*, 126: 555-556.
- Thornton, P.K.; Van de Steeg, J.; Notenbaert, A. and Herrero, M. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agric Syst*, 101: 113-127.
- UNCCD. 2014. Planning guide. World Day to Combat Desertification 2014. <http://www.unccd.int/Documents/Planning%20Guide%20-%20WDCD.pdf> (10/02/2014).
- Utech, K.B.W.; Wharton, R.H. and Kerr, D.J. 1978. Resistance to *B. microplus* (Canestrini) in different breeds of cattle. *Aust J Agric Res*, 29: 885-895.
- Valencia, M.; Montaldo, H.H. and Ruíz, F. 2008. Interaction between genotype and geographic region for milk production in Mexican Holstein cattle. *Arch Zootec*, 57: 457-463.
- Verde, O. 2010. Interacción genotipo x ambiente para peso a 548 días en bovinos de carne. *Zootec Trop*, 28: 507-512.