



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**“CARACTERIZACIÓN DEL BOVINO CRIOLLO DE
NUNKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO: ESTRATEGIA PARA SU
CONSERVACIÓN”**

TESIS

Que presenta:

Guadalupe de Jesús Cruz Clemente

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Ángel Carmelo Sierra Vásquez

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2025



TecNM



Conkal, Yucatán, México, a 09 de junio de 2025

El comité de tesis del candidato a grado: Guadalupe de Jesús Cruz Clemente, constituido por los CC. Dr. Ángel Carmelo Sierra Vásquez, Dr. Víctor Hugo Severino Lendecky, Dr. Ángel Piñeiro Vázquez, Dr. Raciél Javier Estrada León, Dr. Arturo Reyes Ramírez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: CARACTERIZACIÓN DEL BOVINO CRIOLLO DE NUNKINÍ: ESTRATEGIA PARA SU CONSERVACIÓN, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Ángel Carmelo Sierra Vásquez
Director de Tesis

Dr. Víctor Hugo Severino Lendecky
Co-director de Tesis

Dr. Ángel Piñeiro Vázquez
Asesor de Tesis

Dr. Raciél Javier Estrada León
Asesor de Tesis

Dr. Arturo Reyes Ramírez
Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 09 de junio de 2025.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Guadalupe de Jesús Cruz Clemente

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

Contenido

RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.2.1 Antecedentes históricos de la Ganadería en México.....	2
1.2.2 Enfoque en agroecosistemas bovinos	4
1.2.3 Los bovinos criollos en los agroecosistemas de América Latina y México.	5
1.2.4 Importancia de la ganadería bovina en los agroecosistemas tropicales	7
1.2.5 Características del bovino criollo	8
1.2.6 Estatus de los bovinos criollos.	9
1.2.7 La ganadería y el cambio climático	12
1.2.8 Mecanismos de conservación genética.	14
1.2.9 Marcadores moleculares en la conservación	15
1.2.10 Método de genotipado y su aplicación en bovinos.	18
1.2.11 Caracterización genética del bovino criollo	21
1.2.11.1 Investigaciones en genética molecular en el bovino criollo en América	22
1.3 Hipótesis.....	26
1.4 Objetivos	26
1.4.1 General.....	26
1.4.2 Específicos.....	26
1.5 Procedimiento experimental	27
1.6 Literatura citada.....	28
CAPITULO II. El bovino criollo de Nunkiní, Campeche, México: un recurso zoogenético en riesgo.	34
Resumen	35
CAPITULO III. Variabilidad genómica y estructura poblacional del ganado criollo Nunkiní utilizando un arreglo SNP de gran densidad.....	37
Resumen	38

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPITULO 1.		Página
Figura No. 1.1	Lugares de llegada de los primeros bovinos a México	3
Tabla No. 1.1	Distribución de los bovinos criollos en México	4
Figura No. 1.2	Países de América con presencia de bovinos criollos	7
Figura No. 1.3	Trópico mexicano donde se práctica la ganadería	9
Figura No. 1.4	Bovinos criollos de México	10
Tabla No. 1.2	Categorías de riesgo para el recurso zoogenético bovino	10
Tabla No. 1.3.	Estatus de riesgo de las razas bovinas criollas de América	11
Tabla No. 1.4	Características de dos modelos de ganadería como alternativa ante el cambio climático	14
Tabla No. 1.5	Marcadores genéticos utilizados en la caracterización de bovinos	18
Figura No. 1.6	Esquema general del diseño metodológico	28
 CAPITULO 2.		
Tabla 1	Características del sistema de producción pecuario del bovino criollo en Nunkiní	41
Tabla 2	Media $\pm$ E.E. de la edad, escolaridad y años de experiencia de los productores de bovinos criollos en Nunkiní con relación al tamaño de la unidad de producción	43
Tabla 3	Media $\pm$ E.E. de la distribución de superficie de trabajo en has. para el manejo del bovino criollo de Nunkiní de acuerdo con el tamaño de la Unidad de Producción Pecuaria	44
Figura 1	Uso de equipos en las unidades de producción de bovinos criollos en Nunkiní	46

Figura2	Apoyos recibidos en las unidades de producción pecuaria de los bovinos criollos en la localidad de Nunkiní, municipio de Calkiní, Campeche.....	46
Figura 3	Uso de instalaciones en las unidades de producción pecuaria de los bovinos criollos en la localidad de Nunkiní, municipio de Calkiní, Campeche.....	47
Figura 4	Razas presentes en los hatos de bovinos criollos de la localidad de Nunkiní, municipio de Calkiní, Campeche.....	48
Tabla 4	Medias $\pm$ E.E. del número de hembras con parto efectivo de acuerdo con el tamaño de la Unidad de Producción Pecuaria en el año 2021 en la localidad de Nunkiní, municipio de Calkiní, Campeche.....	49
Tabla 5	Costos de producción por animal bovino criollo de la localidad de Nunkiní, municipio de Calkiní, Campeche.....	50

CAPITULO 3.

Tabla 1	Parámetros de diversidad genética del ganado criollo Nunkiní estudiado en Campeche, México.	67
Figura1	Mapa de la localización de Nunkiní en el estado de Campeche de México.	68
Figura 1.	Correlación de distancias genéticas F_{st} según Weir y Cockerham y Nei en nueve Unidades de Producción Pecuaria estudiadas	68
Figura 2	Ejemplares hembras y machos de ganado criollo de Nunkiní, Campeche, México.	68
Figura 3	Disminución del tamaño efectivo poblacional (N_e) del ganado Nunkiní del Criollo de Campeche de las últimas 150 generaciones.....	69
Figura 4	Relaciones de distancias genéticas (D) de Wright 1943 F_{st} y Nei pareadas entre Nunkiní de ganado Criollo de Campeche y una	

	muestra de Cebú exogámico	69
Figura 5.	(ZBU).....	
	Árbol filogenético vecino que une las distancias genéticas de Nei de Nunkiní de ganado Criollo de Campeche y una muestra exogámica Cebú	70
Figura 6.	(ZBU).....	
	Coefficientes de ascendencia estimados de K= 2 a K= 4 de la estructura poblacional del ganado criollo Nunkiní de Campeche, México.....	70

RESUMEN

La conservación de los recursos zoogenéticos es de gran importancia en el mundo y en México no es la excepción, en el estado de Campeche se conserva aún una población reducida de bovinos criollos. El objetivo del trabajo fue caracterizar el sistema ganadero de producción y estudiar la variabilidad genética de los bovinos criollos de Nunkiní, Campeche. Para lo cual, inicialmente se empleó una cedula de entrevista estructurada que considero aspectos sociales, culturales y productivos, la cual se aplicó a nueve productores de bovinos criollos que fueron seleccionados de forma dirigida, los resultados se analizaron con el uso de estadística descriptiva y análisis de varianza utilizando el programa InfoStat Ver 2020e. Posteriormente, se realizó la caracterización genética, para lo cual, se obtuvieron 40 muestras sanguíneas de bovinos criollos pertenecientes a las unidades de producción pecuaria (UPP) seleccionadas, las muestras sanguíneas fueron utilizadas para realizar un genotipado. Se observó que la crianza de ganado criollo se realiza fundamentalmente por hombres (100%), con una edad promedio de 58.44 ± 3.42 años. Los años de experiencia promedio en la actividad fue de 34.61 ± 5.69 , el 66.6% son productores mayores de 50 años y el relevo generacional apenas represento el 33.3%. El manejo de los bovinos denota dos momentos de importancia, uno que responde a la época de lluvias (mayo-diciembre) donde el alimento depende de la selva baja caducifolia (trashumancia) y la época de secas (enero-abril) donde se suplementa (manejo semiintensivo), para este segundo momento la distribución de la superficie en cada unidad de producción pecuaria presento una distribución especial de acuerdo con el número de animales. En promedio para el pastoreo se asignaron 3.0 ± 3.29 hectáreas, para los cultivos forrajeros 1.0 ± 1.34 hectáreas, para el manejo silvopastoril 1.0 ± 4.99 hectáreas y, para el establecimiento de cultivos agrícolas 1.0 ± 0.94 hectáreas. Para los resultados de la caracterización genética se obtuvieron valores de diversidad importantes y de acuerdo a las claves asignadas a las unidades de producción pecuarias (UPP), se observó que la UPP HX, fue la de mayor valor ($H_o = .430$) y CS la de menor valor ($H_o = 0.243$). En lo que respecta al valor del coeficiente de diferenciación genética (F_{ST}) se observó una alta diferenciación entre las diferentes UPP estudiadas, como resultado de la estimación de las distancias genéticas de Nei se encontraron las diferencias más altas en las UPP: JC y CS (.263), PA y CS (.27), CS y PA (.34). En conclusión, la producción de bovinos criollos en Nunkiní es una actividad tradicional que ha persistido gracias a la idiosincrasia de los productores, cuya forma de manejo y finalidad está determinada por factores climáticos, la

edad, escolaridad y la experiencia del productor. El bovino criollo de Nunkiní, Campeche, es fuente de variabilidad genética sin problemas de consanguinidad, y a pesar de que su población ha disminuido fuertemente en los últimos años, todavía se puede implementar un programa de rescate, conservación y aprovechamiento de la raza.

Palabras clave: Recurso zoogenético, sistema ganadero de producción, variabilidad genética.

ABSTRACT

The conservation of animal genetic resources is of great importance worldwide, and Mexico is no exception. A small population of native cattle is still preserved in the state of Campeche. The objective of this study was to characterize the livestock production system and study the genetic variability of native cattle from Nunkiní, Campeche. To this end, a structured interview form was used that considered social, cultural and productive aspects, which was applied to nine Creole cattle producers who were selected in a targeted manner, the results were analyzed. with the use of descriptive statistics and analysis of variance were performed using InfoStat Version 2020e software. Genetic characterization was then performed, for which 40 blood samples were obtained from Creole cattle belonging to the selected livestock production units (LPUs). The blood samples were used for genotyping. It was observed that Creole cattle are raised primarily by men (100%), with an average age of 58.44 ± 3.42 years. The average years of experience in the activity were 34.61 ± 5.69 ; 66.6% were producers over 50 years of age, and generational replacement only accounted for 33.3%. Cattle management denotes two important moments, one that responds to the rainy season (May-December) where food depends on the low deciduous forest (transhumance) and the dry season (January-April) where it is supplemented (semi-intensive management), for this second moment the distribution of the surface in each livestock production unit presented a special distribution according to the number of animals. On average, 3.0 ± 3.29 hectares were assigned for grazing, 1.0 ± 1.34 hectares for forage crops, 1.0 ± 4.99 hectares for silvopastoral management, and 1.0 ± 0.94 hectares for the establishment of agricultural crops. For the results of genetic characterization, important diversity values were obtained and according to the keys assigned to the livestock production units (UPP), it was observed that the UPP HX was the highest value ($H_o .430$) and CS the lowest value ($H_o = 0.243$). Regarding the value of the genetic differentiation coefficient (F_{ST}), a high differentiation was observed between the different UPP studied, as a result of the estimation of the genetic distances of Nei, the highest differences were found in the UPP: JC and CS (.263), PA and CS (.27), CS and PA (.34). In conclusion, the production of Creole cattle in Nunkiní is a traditional activity that has persisted thanks to the idiosyncrasy of the producers, whose management method and purpose are determined by climatic factors, age, schooling and experience of the producer. The Criollo cattle of Nunkiní, Campeche, are a source of genetic variability without

inbreeding problems. Despite the fact that their population has declined sharply in recent years, a program for the rescue, conservation, and utilization of the breed can still be implemented.

Keywords: Zoogenetic resource, livestock production system, genetic variability.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

La actividad bovina en América se inicia a partir del segundo viaje realizado por Cristóbal Colón en 1493 (De Alba, 2011). No obstante, se mencionan varias teorías que tratan de explicar el origen, el cómo y cuando llegaron esos primeros bovinos al continente americano y específicamente a México. Ossa *et al.* (2011), mencionan que los bovinos criollos latinoamericanos provienen de los bovinos europeos que arribaron a la isla la Española a partir de 1493; por su parte, Soares-Fioravanti *et al.* (2011), sostienen que se desconoce específicamente el origen de los bovinos traídos por los conquistadores. Sin embargo, se presume que los bovinos ibéricos son los ancestros de los criollos en el continente americano o, tal vez, pudiese existir un paralelismo entre ambos (Fernández y Barba, 2005); por su parte, Rouse (1977), menciona que los ejemplares *Bos taurus* que arribaron al continente descendían del *Bos taurus primigenius*, que fue domesticado durante la revolución agrícola del neolítico en Oriente Medio y Europa Oriental. Ginja *et al.* (2019), en su trabajo denominado “La ascendencia genética del ganado criollo estadounidense inferido de marcadores genéticos uniparentales y autosómicos” demuestran que el criollo de América presenta un origen africano y europeo.

Actualmente, las poblaciones de ganado criollo en México se encuentran en peligro de extinción, debido principalmente a que se conforman y desarrollan en hatos pequeños (≤ 20 animales), en sistemas de producción familiar mediante el pastoreo extensivo (Ulloa-Arvizu *et al.*, 2008; De Alba, 2011; Vilaboa-Arronizet *al.*, 2013) y, porque son progresivamente sustituidas por razas mejoradas y/o especializadas en producción de carne y leche, lo anterior como respuesta a la falta de demanda por el consumo de productos derivados de los bovinos criollos, aunado al desconocimiento y falta de revalorización de la raza (Vilaboa-Arronizet *al.*, 2012a,b; Vilaboa-Arronizet *al.*, 2013). No obstante, se reportan pequeñas poblaciones de bovinos criollos en algunos estados como Veracruz, Tamaulipas, Baja California, Chihuahua, México, Tabasco, Chiapas y Campeche, donde han evolucionado (De Alba, 2011; INIFAP, 2013; Perezgrovas-Garza, 2017).

En Campeche se encuentra una población reducida de bovino criollo denominado como criollo Nunkiní (CN), por ser el nombre de la localidad en la que se encuentra y que aún prevalece en condiciones nutricionales y sanitarias difíciles, conservando sus características

de adaptación y resistencia al entorno donde se encuentran. De esta raza se cuenta con datos escasos a partir de las primeras observaciones realizadas por el Dr. Jorge de Alba en 1950 (De Alba, 2011; Severino-Lendecky et al., 2021), y después de estos años, ejemplares de esos animales siguen presentes. Sin embargo, lamentablemente su número se ha reducido drásticamente, casi hasta su desaparición. Estos bovinos, no han tenido ningún tipo de atención por parte de las autoridades, instituciones u organizaciones que busquen rescatar y conservar este conjunto de genes únicos para este tipo de ecosistema donde se han desarrollado, por supuesto no se cuenta con información que permita caracterizar a esta raza en sus diferentes niveles (productivo, morfométrico, zootécnico, genético) recomendaciones que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura por sus siglas FAO (2007) dicto para conservar a los recursos zoogenéticos. Como consecuencia, es que escasa información científica o de difusión reportada de algunos aspectos sobre esta raza, salvo la generada por el Dr. De Alba en su libro de los Bovinos Criollos de América, donde hace una descripción general de sus características físicas y de manejo, recientemente se realizaron estudios sobre la caracterización morfométrica (López *et al.*, 2023) y sobre el sistema de producción ganadero (Severino-Lendecky *et al.*, 2021; Cruz-Clemente *et al.*, 2024), todos los autores coincidieron en que era necesario realizar posteriormente una caracterización molecular para corroborar la variabilidad genética de la raza y con ello implementar medidas para su conservación.

El interés de ampliar el estudio del ganado Criollo de Nunkiní no es solo con fines académicos y de conservación; su estudio cobra importancia en el desarrollo de sistemas ganaderos alternativos utilizando bovinos criollos adaptados al trópico con el fin de aprovechar su rusticidad (De alba, 2011), además de su impacto social al revalorizar la economía familiar. Por lo anterior, es necesario diseñar estrategias que promuevan su aprovechamiento y conservación. Por ello, el objetivo de esta investigación fue Describir el sistema ganadero de producción y realizar un estudio genético molecular en el bovino criollo de Nunkiní, Campeche, con el fin de proponer medidas de conservación.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes históricos de la Ganadería en México

La ganadería en México se remonta a los periodos de la conquista de tierras de América por los españoles, durante este periodo se dio el arribo de mamíferos no conocidos como las vacas, caballos, cerdos, asnos, mulas y borregos (Barrera, 1996). De manera particular, el

A map of New Spain (La Nueva España) showing its provinces and trade routes. The map includes labels for provinces such as Nueva California, Nuevo México, Tejas, and others. Trade routes are indicated by colored arrows: green for the Pacific route, orange for the Gulf of Mexico route, and blue for the Caribbean route. A legend in the bottom left corner identifies the provinces by color: Nueva Vizcaya (dark grey), Nueva Galicia (light grey), México (medium grey), Yucatán (white), and Provincias Septentrionales (lightest grey). The map also shows the Gulf of Mexico (Golfo de México) and the Pacific Ocean (Océano Pacífico).

En México en la actualidad se encuentran ocho razas o biotipos de bovinos criollos algunos adaptados localmente desde hace más de 500 años y algunas otras razas han sido introducidas más recientemente provenientes de otros países del continente americano (Tabla No. 1.1).

Tabla No. 1.1. Distribución de los bovinos criollos en México

Raza/Biotipos	Origen	Sistema De Producción	Región Ecológica	Estatus	Estados
De la Sierra Madre Occidental (Coreño)	LA	F/E	Trópicos, templado	Raro en forma pura	Sierra de Nayarit
Del desierto de Baja California (Chinampo)	LA	F/E	Árido	Raro	Baja California
De las montañas del Norte (criollo de rodeo)	LA	F/E	Árido, semiárido, templado	Animales para rodeo	Chihuahua
Lechero Centroamericano	I	E	Trópico seco	Hatos pequeños	Veracruz y México
Romosinuano	I	E	cálido subhúmedo, cálido húmedo	Hatos pequeños	Veracruz y Tabasco
De los Altos de Chiapas	LA	F	Templado subhúmedo	En peligro de extinción	Chiapas
De Nunkiní	LA	F/S	Cálido húmedo	En peligro de extinción	Campeche

(LA) localmente adaptado, (I) introducido, (F) familiar, (E) extensivo a pequeña escala, (In) intensivo y con incremento en número y distribución y (S) actualmente en estado silvestre.

Fuente: Adaptado de (SAGARPA, 2002; Perezgrovas, 2014; López, 2019, Severino-Lendecky, 2021).

1.2.2 Enfoque en agroecosistemas bovinos

El enfoque agroecológico teniendo como unidad de análisis en los territorios al agroecosistema y en particular la aplicación de principios que la rigen (promoción de procesos y servicios ecológicos, incluidos los aspectos del suelo, el agua, el aire y la biodiversidad) en las actividades productivas primarias (agricultura y ganadería), procura hacer énfasis en el uso de los recursos disponibles en el territorio, utilizándolos de tal manera que de forma natural puedan regenerarse y lograr la resiliencia socio-ecológica, productividad y equidad en los agroecosistemas (Pérez-Vázquez and Doris, 2019; Conway, 1987). La agroecología vista como una ciencia ambiental debido a que promueve efectos contrarios al cambio climático y el agotamiento de los recursos combustibles fósiles, aunado a ello la FAO describe los diez elementos que rigen a la agroecología en su aplicación y dar respuesta a las necesidades de alimento en el mundo los cuales son: diversidad, co-creación de conocimiento, sinergias, eficiencia, reciclaje, resiliencia, valores humanos y sociales, cultura y tradiciones alimentarias, gobernanza responsable y economía circular y solidaria, en la búsqueda de la transición hacia sistemas sostenibles que aborden la seguridad alimentaria y la nutrición (León, 2009; FAO, 2018). Además del fundamento filosófico como

ciencia ambiental la agroecología presenta un rasgo constitutivo al enfoque sistémico con el que se puede explicar las interacciones en la funcionalidad de cada agroecosistema identificando entradas y salidas (Gómez *et al.*, 2015; Bertalanffy, 1976).

De acuerdo a Altieri (1995), quien determinó al agroecosistema como unidad de análisis en el enfoque agroecológico, hizo explícito el uso de sistema agrícola y sistema agrario como sinónimos en los que convergen elementos agroecológicos, técnico-productivo y socioeconómicos propiciando el análisis a la complejidad del sistema. El agroecosistema bovino criollo se entiende como el conjunto de plantas y animales, el cual se desarrolla en un medio físico-biótico y social que es controlado por el hombre mediante técnicas y herramientas para la obtención de productos (carne y leche). La finalidad del agroecosistema determina la organización de los procesos productivos mediante una estrecha relación con el tamaño del sistema, la disponibilidad de recursos y la situación socioeconómica del productor, entendiendo al productor como el controlador y tomador de decisiones en el manejo del agroecosistema (Vilaboa, 2018).

1.2.3 Los bovinos criollos en los agroecosistemas de América Latina y México.

En América Latina y el Caribe, los bovinos criollos se encuentran distribuidos en diferentes regiones y países, en sistemas de producción para leche o carne, desde zonas muy bajas como el trópico húmedo hasta los ecosistemas Andinos, donde han evolucionado y por lo cual poseen genes únicos para el ambiente específico (Figura No. 1.2) (De Alba, 2011). Algunos ejemplos de razas criollas y regiones donde han evolucionado son: bovino criollo de Argentina, ganado Caracú en Brasil, Limonero y Llanero en Venezuela; Hartón del Valle, Romosinuano, Blanco Orejinegro y San Martinero en Colombia; ganado Reyna en Nicaragua; Barroso Salmeco en Guatemala; Criollo Dominicano en República Dominicana y, el Chinampo, Frijolillo, Criollo de rodeo, Nunkiní, Criollo Lechero Tropical y Romosinuano en México, estos dos últimos son razas criollas recientemente introducidas, mientras que el bovino criollo localmente adaptado es un animal de talla mediana que “ante la carestía de alimentos y granos, es un ganado que puede vivir perfectamente con una suplementación mínima de minerales y puede producir carne en condiciones más o menos competitivas”, el ganado es dócil y ágil para deambular grandes distancias; es de alta rusticidad, ya que camina en terrenos agrestes de barranco y sierra, con climas extremos, soporta escasez de forrajes y es resistente a los parásitos y a las enfermedades. Según el

Inventario Ganadero de 2006, realizado entre SAGARPA, la Unión Ganadera Regional y el gobierno estatal de Chihuahua, se detectaron 150 mil 216 cabezas de ganado criollo mexicano (De Alba, 2011; DAD-IS, 2024).



Figura No. 1.2. Países de América con presencia de bovinos criollos.

El bovino Criollo de México es descendiente del ganado traído a América por los españoles en el siglo XVI adaptándose a las diferentes condiciones presentes en el territorio mexicano, condiciones de fácil adaptación y otras con condiciones agrestes y climatológicamente difíciles (DAD-IS, 2024), desarrollando rusticidad, adaptabilidad, resistencia a enfermedades (De Alba, 2011). En México hasta el 2019 no se observaban unidades de producción con bovinos criollos manejados o en propiedad de mujeres, lo que hace una actividad de importancia secundaria en respuesta a que los productores presentan un promedio de edad de 53 años, edad en la que les es posible integrarse a la actividad laboral y dejar la ganadería como actividad económica secundaria, además de presentar escolaridad de 16 años y experiencia en la actividad ganadera de 24 años (Parra-Cortez y Magaña-

Magaña, 2019), los hatos manejados con bovinos criollos en México se conforman y desarrollan en hatos pequeños, en sistemas de producción familiar con economía campesina mediante el pastoreo extensivo (Tewolde, 2007; De Alba, 2011).

1.2.4 Importancia de la ganadería bovina en los agroecosistemas tropicales

En el mundo, la ganadería bovina en regiones tropicales es de las actividades pecuarias más difundidas e importantes en porcentaje poblacional, económico y productivo (Magaña-Monforte *et al.*, 2006; Cruz-Uribe, 2011; Absalón-Medina *et al.*, 2012); ésta se realiza en condiciones físicas y agroecológicas heterogéneas, teniendo indicadores, manejo productivo y administrativo de los recursos, diversos y complejos (Cruz-Uribe, 2011).

La ganadería bovina que se desarrolla principalmente en regiones tropicales es denominada extensiva, en México, ésta se maneja de manera semiintensiva, en pastoreo, en ranchos pequeños o medianos, asociada comúnmente a cultivos agrícolas (Figura No. 1.3) (Cruz-Uribe, 2011). Se caracteriza por su bajo nivel tecnológico en la mayoría de los casos, lo que se refleja en bajos índices productivos (Absalón-Medina *et al.*, 2012), poca utilización de insumos, utilización de mano de obra familiar, reorientación de la actividad hacia la producción de leche y/o carne según los precios del mercado; además de ser una actividad que se transmite a través de generaciones; lo cual, en la mayoría de los casos limita la apertura a nuevas tecnologías y/o cambios en el sistema de producción; así, esta actividad pecuaria es un proceso social donde convergen aspectos agroecológicos, técnicos, tecnológico, económicos y culturales.

Así mismo, en la ganadería bovina en México se observan unidades de producción basadas en bovinos criollos con un manejo tradicional, presentando un rango de 20 a 508 has., donde el manejo en un 100% lo realizan hombres, donde para México los aspectos socioeconómicos de los productores son edad promedio de 53 años, escolaridad de 16 años y experiencia en la actividad ganadera de 24 años, la actividad ganadera es considerada como actividad económica secundaria, se denota un rango de animales por ranchos de 10 a 572 cabezas, se registran cuatro categorías de unidades de producción por finalidad productiva, de doble propósito, venta de destete, venta de pie de cría y multipropósito y, de los productos que de la unidad de producción se comercializan los precios oscilan en US\$ 0.29 a 0.31 el litro de leche, de US\$ 2.23 a 2.77 el kilogramo de ternero destetado; de US\$ 1 571 a 2 094

por animal para pie de cría y, de US\$ 1.15 a 1.41 USD el kilogramo de animal de desecho (Parra-Cortez y Magaña-Magaña, 2019).



Figura No. 1.3. Trópico mexicano donde se práctica la ganadería.

1.2.5 Características del bovino criollo

Las razas criollas en general presentan características importantes por las que es necesaria su conservación, en particular en México como lo indica el Dr. De Alba en su libro de los bovinos criollos, describe algunas características particulares distintas, únicas o escasas en otros bovinos como son; resistencia a enfermedades, fertilidad y longevidad, agilidad y aptitud para terreno difíciles; el bovino criollo mexicano en general es dócil y ágil para caminar grandes distancias; es de alta rusticidad, ya que camina en terrenos agrestes de barranco y sierra, con climas extremosos, soporta escasez de forrajes y es resistente a los parásitos y a enfermedades, en cuanto a la mejora productiva para hacerlos competitivos económicamente los genetistas cuentan ahora con herramientas informáticas, métodos de análisis estadístico y la genética molecular, para acelerar el cambio genético, para ello es necesaria su caracterización y conservación (FAO, 2007; De Alba, 2011).

Es importante destacar que las poblaciones existentes de bovinos criollos son hatos pequeños que necesitan de un trabajo importante de conservación para resguardar las características genéticas antes mencionadas (Figura No. 1.4) (Lizeca, 2018).



Figura No. 1.4. Bovinos criollos de México
Fuente: Elaboración propia.

1.2.6 Estatus de los bovinos criollos.

La FAO (2009), ha establecido criterios para determinar el estatus de riesgo para los animales domésticos, donde los bovinos no son la excepción, determinando categorías de peligro o riesgo según el número de animales de importancia reproductiva (Tabla No.1.2).

Tabla No. 1.2. Categorías de riesgo para el recurso zoogenético bovino

Categoría de riesgo	Número de hembras reproductoras	Número de machos reproductores	Observación
Extinguida	0	0	La extinción se puede dar antes de perder el último animal.
Situación crítica	≤ 100	≤ 5	Población inferior o igual a 120.
Situación crítica mantenida	≤ 100	≤ 5	Existen programas de conservación en funcionamiento o que son mantenidas por empresas comerciales o instituciones de investigación.
En peligro	> 100 y ≤ 1000	≤ 20 y > 5	Población total es mayor que 80 y menor que 100 y está en aumento
Peligro mantenida	> 100 y ≤ 1000	≤ 20 y > 5	Cuentan con programas de conservación en actividad o cuyas poblaciones son mantenidas por empresas comerciales o instituciones de investigación

Fuente: Adaptado de FAO (2009).

De acuerdo con los criterios anteriores establecidos por la FAO se conocen datos de algunas razas en el continente americano, mientras que de otras es necesario obtener información para determinar la categoría actual (Tabla No. 1.3).

Tabla No. 1.3. Estatus de riesgo de las razas bovinas criollas de América.

País	Raza	Localización	Inventario	Categoría de riesgo
Argentina	Criollo Argentino	Zonas ganaderas argentinas	400,000 cabezas	Fuera de Peligro
	Criollo Patagónico Argentino	Parque Nacional los Glaciares y Patagonia argentina y Provincia de buenos aires	Desconocido	Desconocido
Bolivia	Biotipo Chaqueño	Departamento de Tarija y Chuquisaca	Desconocido	Desconocido
	Biotipo Saavedreño	Departamento de Santa Cruz	Desconocido	Desconocido
	Biotipo Yacumeño	Departamento de Beni y lugares aledaños	Desconocido	Desconocido
	Criollo del altiplano	Serranías	Desconocido	Desconocido
Brasil	Caracú	Estado de minas Gerais	Desconocido	Desconocido
	Caracú Caldeano	Estado de Rio Grande del Sur Minas Gerais y Sao Paulo	Desconocido	Desconocido
	Caracú Mocho	Estado de Minas Gerais	Desconocido	Desconocido
	Curraleiro pe' duro	Estados de Piauí, Goiás y Tocatis	Desconocido	Desconocido
	Junqueiro	Sureste de Brasil	Sin Reporte	Desconocido
	Franqueira	Sur de Brasil	Sin Reporte	Desconocido
	Lageado	Estado de Santa Catarina	Desconocido	Desconocido
	Mocho Nacional	Norte de Brasil	Sin reporte	Desconocido
	Pantaeiro	Mato grosso del sur	<300 Cabezas	En peligro
	Patua	Estado de minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo y Bahía	Sin Reporte	Desconocido
Canadá	Sin Reporte	Sin Reporte	Sin Reporte	Desconocido
Chile	Criollo Chileno	En todo el país	Sin Reporte	Desconocido
	Criollo Patagónico Chileno	Región Aisen, la Patagonia Chilena	Sin Reporte	Desconocido
Colombia	Blanco Oreginegro	Región andina y Llanos Orientales	2003 cabezas	No aplica
	Caqueteño	Departamento del Caqueta	Desconocido	Desconocido
	Casanare	Llanos Orientales	2205 Cabezas	No aplica
	Chino Santandeano	Departamento de Santander	374 Cabezas	En peligro
	Costeño con cuernos	Costa Atlántida	771 cabezas	En peligro
	Hartón del Valle	Región Andina, Llanos Orientales y Costa Alandida	1672 Cabezas	No aplica
	Guajiro o Campusano	Departamento de la Guajira	Desconocido	Desconocido
	Kogui o Arhuaco	Sierra nevada de Santa Martha	Desconocido	Desconocido

Continuación

Tabla No. 1.3. Estatus de riesgo de las razas bovinas criollas de América.

Colombia	Lucerna	Departamento del Valle del Cauca	1028 cabezas	Peligro mantenida
	Romosinuano	Costa Atlántica, Llanos Orientales y Región Andina	4190 cabezas	Fuera de peligro
	Sanmartinero	Llanos Orientales	3250 cabezas	Fuera de peligro
	Velásquez	Magdalena medio y costa Atlántica	2113 cabezas	Fuera de peligro
	Criollo lechero tropical	Provincias de Cartago y Guanacaste	Desconocido	Desconocido
	Romosinuano	CATIE-Turialba	Desconocido	Desconocido
	Criollo Taino	En todo el país	Desconocido	Desconocido
	Sin reporte	Sin Reporte	Sin Reporte	Desconocido
	Florida Cracker	Estados de Alabama y Georgia	Desconocido	Desconocido
	Texas Longhorns	Estado de Texas	Desconocido	Desconocido
	Barroso Salmeco	Departamento de Santa Rosa	Desconocido	Desconocido
	Senepolisla	Saint Croix	Desconocido	Desconocido
				Desconocido
Cuba Ecuador	Sin reporte	Sin Reporte	Sin Reporte	
	Florida Cracker	Estados de Alabama y Georgia	Desconocido	Desconocido
Estados Unidos	Texas Longhorns	Estado de Texas	Desconocido	Desconocido
Ecuador	Barroso Salmeco	Departamento de Santa Rosa	Desconocido	Desconocido
Guatemala I. Vírgenes	Senepolisla	Saint Croix	Desconocido	Desconocido
	Reyna	Departamentos de Rivas y Boaco	Desconocido	Desconocido
México	Criollo Mexicano, Criollo de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tamaulipas	Estado de Baja California Sur, Campeche, Chihuahua, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tamaulipas	Desconocido	Desconocido
	Criollo Lechero Tropical	Estado Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas, San Luis Potosí, Michoacán y Guerrero	Desconocido	Desconocido
	Criollo Taino	En todo el país	Desconocido	Desconocido

Continuación

Tabla No. 1.3. Estatus de riesgo de las razas bovinas criollas de América.

México	Criollo Taino	En todo el país	Desconocido	Desconocido
	Romosinuano	Estado Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas, San Luis Potosí y Michoacán	Desconocido	Desconocido
Panamá	Guaymi	Comarca de Ngobe de Buegie'	Desconocido	Desconocido
	Guabala'	Provincia de Coclé	Desconocido	Desconocido
Panamá Paraguay	Criollo Arroyos y esteros	Departamento de cordillera	Desconocido	Desconocido
	Criollo Ñeembucú	Departamento de Ñeembucú	Desconocido	Desconocido
Paraguay Perú	Pampa Chaqueño	Región del Chaco	Desconocido	Desconocido
	Pilcomayo	Departamento presidente Hayes	Desconocido	Desconocido
Paraguay Perú Puerto Rico Uruguay	Sin reporte	Sin reporte	Sin Reporte	Desconocido
	Criollo Taino	En todo el país	Desconocido	Desconocido
	Criollo Dominicano	En todo el país	Desconocido	Desconocido
	Criollo Uruguayo	Parque Nacional San Miguel	1600 Cabezas	Peligro mantenida
Uruguay	Limonero	Estado de Zulia	Desconocido	
Venezuela	Carora	Estado de Lara	Desconocido	
	Criollo Amarillo de Quebrada Arriba	Estado de Lara	Sin reporte	Desconocido
	Romosinuano	Estados de Tachira, Apure y Barinas	Desconocido	Desconocido

Fuente: Adaptado de (DAD-IS, 2024 y Parra-Cortés *et al.*, 2021)

1.2.7 La ganadería y el cambio climático

En la actualidad se han percibido cambios en el clima en diferentes partes del mundo, no definiéndose con exactitud si se debe a un fenómeno cíclico en el ambiente o es un efecto de las actividades antropocéntricas, siendo las actividades productivas pecuarias a las que se les atribuye la mayor parte de las causas (Useros-Fernández, 2013). En este fenómeno que sufre el planeta la ganadería juega un papel muy importante, principalmente el modelo intensivo ya que representa una de las actividades económicas con mayor emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) que contribuyen al calentamiento global (Delgado, 2011).

El cambio de uso de suelo básicamente en la búsqueda de incrementar la productividad, olvidando la eficiencia del uso de los recursos a través de la ganadería, donde la inserción de diversas razas mejoradas para el logro de dicho objetivo, han tenido un papel importante en la deforestación, además de una significativa pérdida de biodiversidad de especies y especialmente la reducción de la diversidad genética en la misma especie, trayendo consigo

un distanciamiento evidente de la sustentabilidad, a diferencia existe un modelo de ganadería extensiva amigable con el ambiente como opción para enfrentar el fenómeno ambiental (Tabla No. 1.4), dicha ganadería se sustenta en el manejo de especies localmente adaptadas utilizando recursos disponibles en el territorio, dicha ganadería ha sido remplazada por el incremento de los rendimientos en la producción (FAO, 2013; Huerta *et al.*, 2018).

Los gases en los que se involucran las actividades ganaderas son básicamente tres: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (NH₄); el primero con mayor producción, pero menor impacto en relación con los dos restantes, los dos siguientes son de mayor efecto, aunque su emisión en proporción es menor, como una forma distinta que procura un equilibrio en la emisión de GEIs en la ganadería, en este sentido, observamos los sistemas de explotación tradicionales, sostenibles y sobre todo basados en el pastoreo, que tienen un papel protagonista, permitiendo un equilibrio entre la producción de proteína y la emisión de GEIs (Delgado, 2011).

Tabla No. 1.4. Características de dos modelos de ganadería como alternativa ante el cambio climático.

Modelos	Ganadería extensiva [basada en tierras no aptas para cultivos]	Ganadería intensiva basada en tierras aptas para cultivos
Alimentación	Recursos locales de base territorial (pastos, dehesas, matorrales, bosques, barbechos, rastrojos)	Alimentos preparados adquiridos en el mercado (piensos, cereales, etc.)
Obtención del alimento	Pastoreo	Proporcionada por las personas a cargo de la instalación
Movilidad	Los animales pueden moverse libremente por los recintos asignados	Movilidad restringida
Insumos externos	Bajo nivel de insumos externos	Nivel elevado de insumos externos (energía, alimentos, aditivos, medicamentos, maquinaria, etc.).
Flujos energéticos y materiales	Flujos integrados con los ecosistemas locales	Flujos independientes de los ecosistemas locales
Alojamiento	Vida en el exterior, a veces alojamiento facultativo cuando las condiciones externas lo aconsejan	Estabulados, viven en instalaciones con las condiciones controladas (aireación, calefacción, etc.)

Servicios ecosistémicos	Proporcionan servicios ecosistémicos variados: mantenimiento de hábitats, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad	No proporcionan servicios ecosistémicos relevantes
Impacto ambiental	Emisión de gases de efecto invernadero (CH ₄ y N ₂ O)	Emisión de gases de efecto invernadero (CO ₂ por deforestación, CH ₄ , N ₂ O), contaminación por fertilizantes, pesticidas y purines, pérdida de biodiversidad

Fuente: FAO (2013)

1.2.8 Mecanismos de conservación genética.

Para describir las formas o estrategias de conservación genética se tiene que enfatizar que los recursos genéticos (RG), son material genético con un valor real o potencial; que poseen un componente tangible, que es el recurso mismo, y un componente intangible, que es el conocimiento de su uso, de ello podemos resaltar que la importancia de los recursos zoogenéticos (RZG), deben considerarse como la raíz de la innovación de la ganadería moderna, al ser la fuente de la que dependen los criadores para obtener variedades y razas mejoradas que proporción en productos de calidad, contribuirá mantener los sistemas de explotación respetuosos con el medio ambiente y, con ello conservarlas tradiciones, para lo que se desarrollan diferentes métodos.

1.2.8.1 *In situ*: método que consiste en mantener los animales en el hábitat en el cual ellos han sido adaptados. Esta forma de conservación, además de no requerir técnicas avanzadas, permite a los RZG continuar desenvolviéndose y ser seleccionados bajo las condiciones locales de producción; y permite a las poblaciones adaptarse a cambios en las condiciones ambientales y a enfermedades endémicas (Mujica, 2005). Según la FAO (2005), la conservación *in situ* comprende todas las medidas para mantener poblaciones de animales vivos, incluyendo aquellos comprendidos en activos programas de crianza, en agroecosistemas, donde ellos se desarrollaron o en los que actualmente se encuentran. Comprende actividades de manejo que se toman para asegurar la contribución continua de estos recursos a la producción sostenible para la alimentación y la agricultura en la actualidad y en el futuro.

1.2.8.2 *Ex situ*: Consiste en la conservación de componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitos naturales (Convención de Biodiversidad). Según FAO (2005), la conservación *ex situ* incluye dos variantes: a) *in vivo*, que es la manutención de poblaciones de animales vivos fuera de los sistemas de producción (reservas, zoológicos, entre otras formas); y b) *in vitro*, que es la crio conservación de cualquier material genético incluyendo semen, ovocitos, embriones, células, tejidos o ADN.

1.2. 9 Marcadores moleculares en la conservación

Desde hace veinte años las técnicas de análisis genético han sido puestas al servicio de la conservación de especies con alguna categoría de riesgo. El primer paso cuando se diseña un programa de conservación es decidir qué población hay que mantener o cuál es la unidad de conservación. En este proceso hay que tener en cuenta razones ecológicas, culturales, económicas y del grado de amenaza de la población, así como de la probabilidad de éxito del programa (Oldenbroek, 1999). Pero también es primordial definir criterios genéticos que permitan determinar las prioridades a la hora de mantener o desechar poblaciones de la misma especie. El establecimiento de las llamadas unidades significativamente evolutivas, como poblaciones a las que se da prioridad en la conservación, es un aspecto muy debatido en la actualidad, ya que es primordial definir cuál es la unidad de conservación antes de comenzar un programa de acciones (Allendorf *et al.*, 2013). La utilización de marcadores genéticos se ha convertido en una herramienta esencial para resolver problemas taxonómicos y determinar las diferencias genéticas entre grupos. Cuando hablamos de diversidad genética sin lugar a duda tenemos que entender que la diversidad génica y alélica suelen estimarse actualmente con regiones del ADN fácilmente identificables, que, en términos generales, se denominan “marcadores genéticos”. Puesto que la variación es la base de la potencialidad evolutiva de las especies, la diversidad genética, en su sentido más amplio, resulta fundamental para la capacidad de éstas de responder a los retos ambientales y, con ello, garantizar su perdurabilidad, lo que las configura como el pilar esencial de la conservación genética, donde la variabilidad genética en las poblaciones suele estimarse a partir de la frecuencia de individuos heterocigotos (heterocigosis o diversidad génica), es decir, la frecuencia de individuos portadores de alelos diferentes para un gen dado, y de la diversidad alélica, es decir, el número de alelos distintos que están presentes en la población para un gen dado (Toalombo, 2020).

En la caracterización de poblaciones de bovinos criollos han sido de utilidad en la actualidad como se menciona en el estudio denominado “Caracterización genética de bovinos criollos latinoamericanos mediante marcadores microsatélites”, donde debido a la importancia participaron seis laboratorios (Universidad de Córdoba, Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Zaragoza en España, Instituto Nacional dos Recursos Biológicos en Portugal, Universidad de California Davis en los Estados Unidos de América y Universidad Nacional de Colombia en Palmira en Colombia), se utilizaron 19 microsatélites de un panel de 30 marcadores recomendados por el grupo de trabajo de la Sociedad Internacional de Genética Animal (ISAG)/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se muestrearon 26 razas de ganado criollo en 10 países, se analizaron 857 individuos, de los cuales 217 fueron de seis poblaciones criollas de América del Norte (EE.UU. y México), 61 de dos razas de América Central (Panamá), 50 de la raza Criollo Cubano representando las Islas del Caribe y 529 de 17 razas ubicadas en América del Sur, desde Colombia hasta el sur de Argentina. Se trabajó con ADN extraído por el método propuesto por Ginja (2009), se amplificó por PCR, se calcularon las heterocigosidades, consanguinidad dentro de la población y cantidad de diferenciación entre poblaciones. De los resultados obtenidos se concluyó que las poblaciones de ganado criollo conservan altos niveles de diversidad genética, especialmente cuando se comparan con razas que se encuentran bajo programas de mejoramiento genético más intensivos. A pesar del nombre general de criollo que se utiliza para clasificar a la mayoría de las poblaciones analizadas, existen importantes diferencias raciales entre ellas, aunque algunas muestran signos de mestizaje genético. Se encontró con endogamia en algunas razas, lo que sugiere la necesidad de tomar las medidas adecuadas para evitar sus efectos negativos (Delgado, 2011).

Así mismo, en otro estudio donde se investigó la diversidad genética de una población de bovinos Casanareño de seis sitios en Colombia usando 11 marcadores microsatélites. Se utilizaron muestras de sangre de 212 individuos no emparentados las cuales fueron amplificadas por PCR, se observaron 156 alelos con contenido de información polimórfica promedio de 0.742, lo que demuestra que el panel utilizado fue informativo. Las estimaciones de la heterocigosidad observada variaron de 0.788 a 0.690. Se presentó un déficit de individuos heterocigotos en la población general ($FIS = 0.059$) causado por la alta consanguinidad y la proporción de la varianza genética debida a diferencias entre las distintas subpoblaciones (4%). Tanto el análisis de agrupamiento bayesiano como el árbol filogenético

mostraron un patrón de agrupamiento similar, que reveló dos clústeres principales en los bovinos Casanareño el cual puede ser resultado del aislamiento geográfico, prácticas reproductivas y la absorción hacia razas cebuinas (Ocampo-Gallego *et al.*, 2020).

Existen otros tipos de marcadores genéticos (Figura No. 1.5) que se han utilizado en otros trabajos de investigación con bovinos en diferentes países y con un uso determinado según la pregunta de investigación.

Tabla No. 1.5. Diferentes marcadores genéticos utilizados en la caracterización de bovinos

Marcador genético	Uso	Obtención
Marcadores Genéticos Eritrocitarios y Bioquímicos	Determinar correspondencias entre poblaciones de diferentes regiones	Con el uso de transferrinas, albúminas y hemoglobinas mediante electroforesis sobre gel de almidón hidrolizado
RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)	Mapeos genómicos y estudio de enfermedades en las que están involucrados varios genes	Se realizan técnicas de extracción y fragmentación del ADN a través de enzimas de restricción. Para visualizar este tipo de marcadores se suele usar la electroforesis en gel
AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)	Se usa para detectar variabilidad en los genes, siendo una técnica precisa y rápida.	A través de la restricción de ADN con enzimas de restricción y, tras ello, se amplifican fragmentos determinados utilizando la reacción en cadena de la polimerasa
Microsatélites (SSR)	Los más utilizados para la investigación de caracterización genética	Se obtienen mediante secuenciación o PCR
Marcadores de ADN mitocondrial	Además de caracterización genética permiten detectar hibridación entre especies.	Se obtienen mediante secuenciación o PCR
Marcadores RAPD	Detectar varios polimorfismos al mismo tiempo de forma rápida y sencilla.	Se obtienen mediante PCR

Fuente: Adaptado de (Acantara, 2017; Quinteros, 1994)

En la actualidad los estudios de variabilidad genética se han implementado en diversas especies y en los bovinos no son la excepción, sin embargo, las diferentes técnicas han presentado inconsistencias en los resultados lo que conlleva a asignar genotipos erróneos y básicamente dichas variaciones se presentan en las diferentes formas de extracción y purificación del DNA (Fraga *et al.*, 2004), para ello se observan trabajos como el de análisis comparativo entre diferentes métodos analizándose el DNA de 10 muestras sanguíneas correspondientes a individuos mestizos mexicanos, donde se purificó por los métodos de fenol-cloroformo-álcohol isoamílico (FCI), gradiente de sales (GS), gradiente de sacarosa (GSC), DNAzol® y DNeasy y Blood & Tissue Kit ®. Se genotipificaron los polimorfismos GSTT1 0 y GSTM1 0 por reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés) múltiple, CYP1A1 2C por RFLP's y AhR Arg554Lys por PCR tiempo real. Los resultados mostraron diferencias, encontrándose que para los métodos GS y GSC mostraron resultados concordantes, mientras que solo el 80% de las muestras extraídas mediante DNAzol ® y Dneasy ® amplificaron, y los resultados no fueron concordantes para DNAzol ® (50%) y Dneasy ® (80%) en el análisis de PCR – RFLP's. Los métodos de extracción GS y GSC mostraron mayor recuperación de DNA, con parámetros de calidad e integridad óptimos para los análisis moleculares por PCR (Ríos-Sánchez *et al.*, 2016). Como ya se indicó la cantidad y calidad del ADN extraído es una de las características de importancia en la caracterización genética, esto depende en mucho del método empleado y de la especie que se esté trabajando, lo que tendrá repercusión directa en los resultados de los análisis genéticos (Quiala *et al.*, 2008).

1.2.10 Método de genotipado y su aplicación en bovinos.

Es la visión más completa del genoma; detecta polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) y otras variaciones en el genoma; identifica posibles variantes de rasgos genéticos productivos de importancia en la industria. En el genotipado la unidad de análisis son los SNP, son variantes genéticas más comunes en el genoma, y están accesibles a través de bases de datos públicas. Consisten en el cambio de una sola base nucleotídica en el contexto de una secuencia genética. Para que una sustitución sea clasificada como SNP, la frecuencia del alelo menor (MAF, de minor allele frequency) debe ser > 1% en la población. Los SNP se caracterizan por ser:

- Mayoritariamente bialélicos, y por tanto fáciles de analizar mediante sistemas automatizados.

- Muy estables, con tasas de mutación bajas.
- Muy frecuentes en el genoma (1 NNP/Kb), lo que posibilita la creación de mapas de alta densidad de SNP.

Por estas propiedades fueron propuestos como la nueva generación de marcadores genéticos, que se compara la frecuencia de una variante genética entre dos poblaciones (similitud o cercanía entre dos individuos).

Se ha observado que analizando un grupo bien seleccionado de SNP, denominados tagSNP, se podría capturar hasta el 90% de la variabilidad genética en una población completa.

El método de genotipado con la identificación de SNP hizo realidad los estudios de asociación del genoma completo (GWAS de genome-wide association studies). Estos estudios representan un nuevo método para la identificación de alelos de bajo-moderado riesgo asociados a diversas características productivas de importancia económica y en casos de algunas enfermedades comunes. A diferencia de los estudios de asociación clásicos en los que se plantea la hipótesis del gen candidato seleccionado según criterios biológicos, patológicos o moleculares, en el GWAS las hipótesis se generan a partir de los resultados.

Referente a trabajos de investigación con el uso de la técnica de genotipado, aunque es una técnica de vanguardia, ya existen algunos trabajos con la raza toros de lidia, donde evaluaron 306 muestras de sangre provenientes de 32 ganaderías mexicanas afiliadas a la Unión de Criadores de Toros de Lidia, donde el manejo de las muestras se realizó manteniendo los cuidados de control desde la toma de muestra (en tubos con conservante Magic Buffer®) hasta el genotipado pasando por la extracción de ADN, el ADN genómico se extrajo mediante un protocolo estándar de fenol/cloroformo(15), posteriormente las muestras se genotiparon con el Chip bovino de SNPs de mediana densidad 50K (<http://www.illumina.com>). De los resultados se observó un valor de F_{IS} por ganadería entre -0,03, las distancias promedio F_{ST} fueron de entre 0.06 y 0.11, mientras que los valores de las distancias F_{ST} promedio estimadas por ganadería oscilaron entre 0.02 y 0.14, el AMOVA evidenció un 10.8 % de variabilidad genética total. Indicando que la diferenciación genética de la población mexicana se debe a los diferentes orígenes genéticos de algunos grupos (importaciones recientes Domecq y Santa Coloma) y las regiones de homocigosis revelan que el aislamiento genético de los grupos que componen a la población mexicana de Lidia ha contribuido a las variaciones genómicas con respecto a poblaciones de ganado de Lidia

europeo; reflejando su grado de singularidad (Eusebiet *al.*, 2020). El uso de la inteligencia artificial en los estudios genéticos permiten un plus en el análisis de la información y aceleran de manera significativa los procesos de investigación, como se efectuó a partir del uso de la herramienta de análisis del pedigrí para describir la variabilidad genética, y su evolución a través de las generaciones, buscando estimar distancias genéticas y analizarla posible variabilidad genética a través de ganaderías de lidia mexicanas, para lograrlo se editó el pedigrí con 58826 individuos de 110 ganaderías, nacidos de 1970 a 2010. Para lo cual se utilizó el programa de cómputo ENDOG se estimaron las distancias genéticas (DGNei), así como los estadísticos Wright F_{IS} y F_{ST} ; posteriormente, con las DGNei y el programa Tree View se construyó una representación gráfica. Las estimaciones de F_{ST} fluctuaron de 0.0001 a 0.0909, el promedio fue 0.0086. El valor promedio de F_{ST} reveló que 0.86% de la varianza genética se puede atribuir a diferencias entre poblaciones y el 99.14% restante a diferencias entre individuos dentro de poblaciones. Las estimaciones de F_{IS} oscilaron entre 0.3333 y 0.0099, con un promedio general de 0.0167; estos resultados revelaron un incremento promedio de heterocigosis de 1.67% y máximos de 33.3%, repercutiendo en un posible desequilibrio Hardy-Weinberg. Las DGNei fluctuaron de 0.0009 a 0.0859, con una estimación promedio de 0.0217, concluyendo que estimaciones pequeñas de distancias genéticas, como las del presente estudio, pueden indicar subdivisiones o separación, pero el paso del tiempo puede indicar otros resultados en la actualidad (Domínguez-Vivero *et al.*, 2014).

También, se analizó la diversidad genética de la población mexicana de Lidia y se evaluó su relación con la española utilizando 573 SNPs con bajo desequilibrio de ligamiento ($r^2 < 0.01$), para ello se recolectaron muestras de sangre de 468 bovinos de Lidia: 119 pertenecientes a población mexicana y 349 a población española, se obtuvieron muestras de sangre conservadas en Magic Buffer® DNA hasta la extracción de ADN por métodos estándar de fenol/cloroformo (12). Los genotipos se obtuvieron con Illumina 50k Bead Chip (Illumina Inc., San Diego, CA) y la calidad de SNP se analizó con el software Genome Studio (Illumina), la proporción de ascendencia mixta entre las poblaciones se infirió con STRUCTURE v.2.1. En el análisis de la población mexicana, se observó heterocigosidades observadas (H_o) y esperadas de 0,35 (Carlos Castañeda) a 0,48 (Teófilo Gómez) y de 0,35 (Marrón y de Haro) a 0,42 (San José, Fermín Rivera y Teófilo Gómez) respectivamente. Los valores de diversidad genética de la población completamente mexicana fueron 0.46 (H_e),

0,43 (Ho). Con respecto a la endogamia (Fis), la mayoría de los criadores presentaron valores negativos, con estimaciones que oscilaron entre -0.17 (Corlomé) y 0.09 (Boquilla del Carmen) y un Fis de 0.06 cuando se consideró a toda la población mexicana

Como conclusión se atribuye que la diferenciación de algunas familias mexicanas se debe al clásico cuello de botella, por ello la diferenciación de los linajes españoles. Un análisis de rastreo de las poblaciones de ganado existentes en esas regiones podría ser una huella en el camino para explicar los principales antepasados de la familia mexicana (Eusebi-García, 2018).

1.2.11 Caracterización genética del bovino criollo

Se presentan los trabajos realizados sobre caracterización genética de las razas criollas en América, para ello se analizaron marcadores genéticos uniparentales y microsatélites autosómicos en muestras de ADN de 114 razas de ganado distribuidas en todo el mundo, incluidas 40 razas criollas que representan a todo el continente americano, y muestras de la Península Ibérica, las islas británicas, Europa continental, África y cebú americano. Analizando los resultados se pudo demostrar que las razas criollas difieren considerablemente entre sí, y la mayoría tiene su propia identidad o grupo con otras de las regiones vecinas (Ginja *et al.*, 2019).

En lo que respecta a México la caracterización genética ha sido utilizada en la ganadería en los últimos años para el aprovechamiento e incremento en la producción, particularmente de carne y en muy pocos casos de otros subproductos del sistema pecuario, fue hasta 1980-1990 cuando se aplicó la genética molecular para la implementación de técnicas para potenciar productos fermentados, para la producción de leche y sus derivados, cereales, vinos y licores, años después se iniciaron trabajos con el uso de microsatélites y marcadores moleculares para conocer la variabilidad de poblaciones locales (Parra-Bracamonte *et al.*, 2011).

Algunos trabajos realizados con el fin de caracterizar las diferentes razas locales de bovinos en América y particularmente de México, fue la caracterización molecular de cinco poblaciones de Bovinos Criollos, para determinar la distancia genética de las poblaciones del Criollo Mexicano con algunas razas españolas y cebuinas, para determinar la posible influencia de las razas europeas y cebuinas en los Bovinos Criollos Mexicanos, así como las relaciones genéticas entre ellas y otras poblaciones Criollas de Latinoamérica, para el

desarrollo de la investigación se utilizaron muestras de 22 poblaciones bovinas, 18 de *Bos taurus*: 5 de criollos mexicanos, 4 de criollos sudamericanos, 1 raza británica y 8 europeas continentales (dentro de estas, 6 españolas), se obtuvieron muestras de pelo y sangre para algunos casos y en otros se tuvo acceso al ADN extraído que fue proporcionado por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, para la extracción del ADN en el caso de las muestras de pelo y sangre fue por medio de una resina purificadora comercial (kit BLOODCLEAN de purificación de ADN) de BIOTOOLS–Biotechnological& Medical Laboratories, S.A.[®], se estudiaron 24 microsatélites seleccionados a partir de las recomendaciones hechas por la FAO/ISAG (Food and Agriculture Organization/ International Society of Animal Genetics) para realizar estudios de biodiversidad genética (FAO, 2004) y tres más utilizados por el Proyecto Europeo de “Análisis de la Diversidad Genética en los Bovinos”. Los microsatélites se amplificaron mediante la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Para el análisis de la información se utilizó el programa GENEPOC ver. 3.1c para determinar las frecuencias alélicas y genotípicas de cada locus y la prueba de equilibrio HW, por otra parte, se hizo uso del programa GENETIX V. 4.05.02 para determinar la heterocigosidad observada y esperada. Se utilizó también el programa BOTTLENECK para el análisis de cuello de botella, encontrando que los Bovinos Criollos Mexicanos son poblaciones que muestran una estructura genética común que podría considerarse como una sola, con algunas diferencias en cada región geográfica, producto de la introgresión de otras razas, que, a pesar de ello, no los hace perder su identidad (Quiroz, 2007).

1.2.11.1 Investigaciones en genética molecular en el bovino criollo en América

En la búsqueda de la variabilidad genética de las razas de bovinos criollos existen algunas investigaciones en México para identificar la diversidad y relaciones genéticas entre dos poblaciones de bovinos, una del municipio de Zimatlán en Oaxaca y otra de Ecatepec estado de México, dicha investigación se llevó a cabo con el uso de microsatélites, al aplicar la prueba de equilibrio Hardy-Weinberg encontraron únicamente dos *loci* desequilibrados ($p < 0.05$) en los bovinos de Zimatlán (HEL9, INRA35) y cuatro en los bovinos de Ecatepec (BM8125, HEL9, HAUT24, TGLA53) por otra parte, los cálculos de distancia genética y posteriormente el análisis de estructura poblacional con el programa de Structure,

evidenciaron que ambas poblaciones efectivamente pertenecen a una misma población criolla bien estructurada (Domínguez *et al.*, 2017).

En otro trabajo en el mismo sentido, se desarrolló el análisis de la diversidad y relaciones genéticas de la población de bovinos Criollos Mixtecos de Oaxaca con el uso de 19 marcadores de ADN microsatélites y 32 poblaciones bovinas de referencia, pertenecientes al consorcio BIOBOVIS de la Red CONBIAND, encontrando un número promedio de alelos detectados de 8.8 ± 2.1 y el número efectivo de alelos estimado de 4.5 ± 1.2 , la diversidad genética representada por los valores de heterocigosidad esperada (0.7700 ± 0.0682) y observada (0.7170 ± 0.0998), datos importantes para determinar la estrecha cercanía con las demás razas criollas mexicanas, excepto con el lechero tropical (Domínguez *et al.*, 2023).

En otro estudio de diversidad autosómica realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2021 con siete grupos genéticos (bovinos criollos de Chihuahua, Durango, Nayarit (Criollo Coreño) y Guerrero; ganado de Lidia; Criollo Lechero Centroamericano; y Guzerat), utilizando 9 microsatelites, se dio a conocer que existe una diferenciación entre los bovinos criollos de Nayarit, Chihuahua, Durango y Guerrero; además, se encontró que no hay evidencia de influencia de *Bos indicus* en los bovinos criollos de Nayarit, Chihuahua y Durango, pero si en los de Guerrero, también encontraron que las poblaciones mantienen moderados niveles de heterocigosidad promedio observada (de 0.29 a 0.34), además, se observó que los análisis de la variación en el número de copias (CNV) en estas poblaciones resultaron en la identificación de 2,170 CNV en 40 animales, localizadas en 733 regiones, con una cobertura de 32.1 Mb del genoma autosómico y de acuerdo al análisis de componentes principales, se encontró que los animales se agruparon de acuerdo con la localidad de origen, compartiéndose diferentes números de copias, lo que sugiere la existencia de diversidad genética entre las poblaciones (Martínez-Velázquez, 2021).

Así mismo, en Bolivia se identificaron tres tipos de bovinos criollos, de los cuales el Ganado criollo de los Valles es de los menos estudiados en comparación con los otros dos grupos, para ello se analizaron 17 microsatélites (STRs) autosómicos, 5 STRs y un indel del cromosoma y un fragmento de la región de control de la replicación del ADN mitocondrial, se observó que los 17 *loci fueron* polimórficos, el número de alelos promedio por locus fue de 5.18, variando entre 2 y 10, los valores de la heterocigosidad esperada y observada en los STRs estudiados variaron entre 0.083 y 0.898, respectivamente, resultando en una

heterocigosis promedio de 0.664, se logró la detección de dos haplotipos uno de origen *Bos taurus* (haplogrupo Y2 - Val1) y otro de origen *Bos indicus* (haplogrupo Y3) (Pereira, et al., 2017). De igual forma, existen trabajos dirigidos a evaluar fines productivos para maximizar el incremento de volumen de la leche como el realizado en Uruguay implementando la metodología de PCR/RFLP en 82 muestras de ADN para las proteínas de la leche κ -caseína y β -lactoglobulina, se utilizaron 20 muestras para el microsatélite CYP21 y 77 animales para hemoglobina mediante electroforesis en gel de almidón, en donde después de obtener los índices de endogamia y de heterocigosidad y las distribuciones genotípicas de acuerdo al equilibrio de Hardy Wember, se observó un alto polimorfismo en el microsatélite CYP21, lo que indica que el bovino criollo Uruguayo ha expresado una variabilidad genética tan importante que justifica su conservación como un recurso genético de animal doméstico (Rincón et al., 1998). Una técnica aplicada a la identificación de la variabilidad genética es el uso de marcadores genéticos, de tal forma que fue implementada en el estudio para el análisis del grado de variación y relación con otras razas criollas de la región e iberoamericanas, observándose desde los primeros resultados diversidad genética importante, manteniéndose por la presión de la selección natural, además de demostrarse que no se ha encontrado marcadores característicos de razacebú (*Bos indicus*) en los estudios (Postiglioni et al., 2002).

En otra investigación realizada con bovinos criollos de once países de American, donde el objetivo fue la búsqueda de diferencias entre las poblaciones estudiadas utilizando metaanálisis de las estimaciones combinadas del número de alelos observados, heterocigosidad esperada y heterocigosidad observada en estudios de microsatélites, se utilizaron 34 resultados de trabajos científicos para el metaanálisis, provenientes de diferentes rebaños de bovinos criollos de 11 países de América publicados entre 2006 y 2017, el tamaño de muestra varió entre 12 y 183 animales, Se obtuvieron las siguientes estimaciones de número de alelos, heterocigosidad esperada y heterocigosidad observada, y sus errores estándar combinados respectivamente: 6.890 ± 0.00157 ; 0.762 ± 0.0017 y 0.629 ± 0.0016 ; donde al comparar los trabajos de Norteamérica, Centroamérica y el Caribe y Suramérica, no se encontraron diferencias (Guevara et al., 2020)

Muchos estudios de variabilidad genética entre poblaciones se han realizado comúnmente utilizando análisis de pedigrí o marcadores genéticos. El análisis de pedigrí es una

herramienta importante para describir la variabilidad genética y su evolución a lo largo de generaciones (Gutiérrez *et al.*, 2003).

En Ecuador se evaluó la diversidad y estructura genética de la población Charolais a través del Pedigrí, para el estudio se utilizaron tres grupos de datos, la población histórica, población actual y la población de referencia, evaluando la completitud del pedigrí, intervalo generacional, consanguinidad, parentesco medio, incremento de consanguinidad y tamaño efectivo de la población, hicieron uso del programa ENDOG para procesar la información, el pedigrí disminuyó a partir de la segunda generación en ambas poblaciones, aunque la primera generación mostró valores de 0.617 y 0.745, el intervalo generacional promedio fue de 7.17 años para la población histórica y 8.42 años para la actual, los valores de consanguinidad fueron de 0.08% y 0.14%, respectivamente. El N_e fue de 537.38. La raza Charolais en el Ecuador se encuentra en proceso de establecimiento, pudiéndose considerarse una población joven desde el punto de vista genético (Lozada *et al.*, 2023).

1.3 Hipótesis

1. Las características socioeconómicas y técnico productivas del sistema ganadero de producción del bovino criollo de Nunkiní, Campeche, son propias de un manejo tradicional dirigido al autoconsumo y ahorro familiar en alguna época del año, que se practica de generación en generación con tendencia a una economía campesina, que se ve favorecido por las características agroclimatológicas propias de su entorno.

2. El tamaño efectivo de la población de los bovinos criollos de Nunkiní, Campeche se encuentra en una situación de riesgo critica, debido a la introducción en la región de otras razas mejoradas genéticamente y a la edad avanzada de los productores, sin embargo, esta raza localmente adaptada aún se mantiene en estado puro y es fuente de variabilidad genética importante.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Describir el sistema ganadero de producción y realizar un estudio genético molecular en el bovino criollo de Nunkiní, Campeche, con el fin de proponer medidas de conservación.

1.4.2 Específicos

1. Desarrollar un análisis socioeconómico y técnico productivo de las unidades de producción pecuaria que utilizan al bovino criollo de Nunkiní en Campeche.

2. Determinar la estructura poblacional y diversidad genética existente en el Bovino Criollo de Nunkiní, Campeche, para promover su conservación y uso sostenible.

1.5 Procedimiento experimental

El diseño metodológico de este estudio se sintetiza en la Figura 1.6.

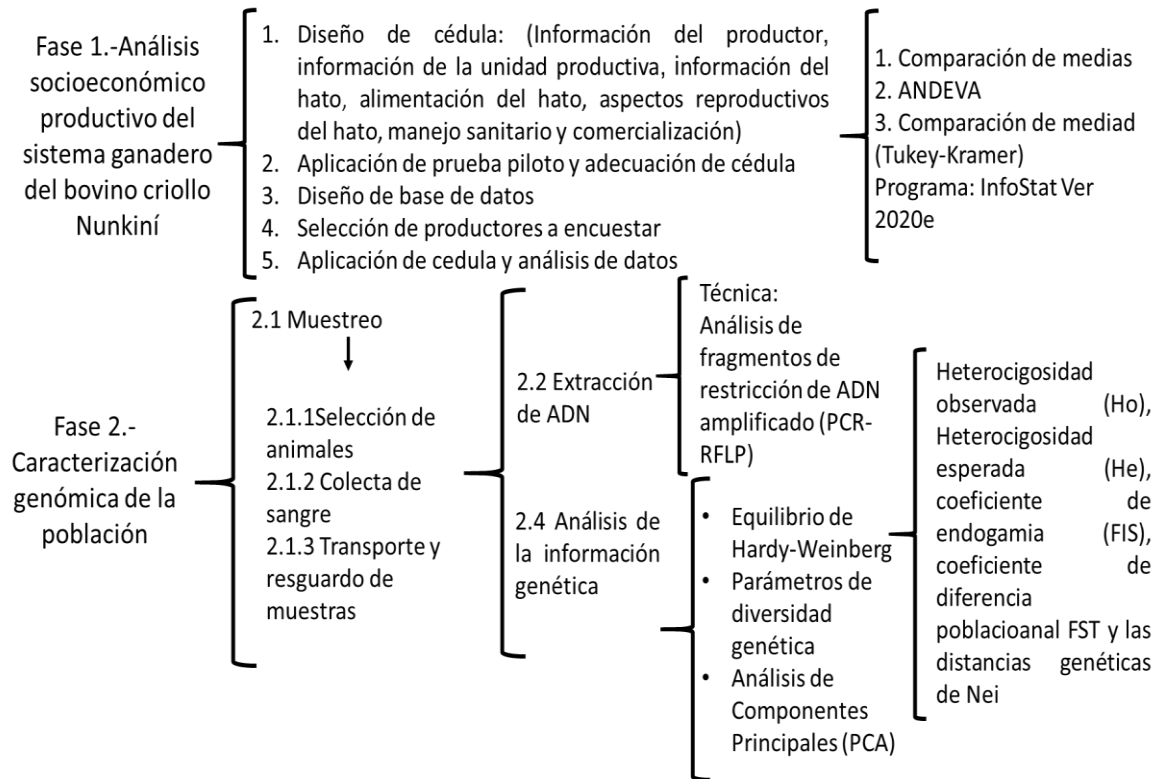


Figura 1.6. Esquema general del diseño metodológico

1.6 Literatura citada

- Absalón-Medina, V.A., Blake, R.W., Fox, D.G., Juárez-Lagunes, F.I., Nicholson, Ch.F., Canudas-Lara, E.G., Rueda-Maldonado, B.L. (2012). Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in central coastal Veracruz, México. *Tropical Animal Health and Production*. Vol. 44: 1131-1142.
- Aguilar, E. A. M. (2023). Como los bovinos criollos y los sistemas silvopastoriles pueden hacer sostenibles los sistemas ganaderos de subsistencia en El Salvador. *Revista Minerva: Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador*, 6(1), 91-96.
- Alcántara, M. R. (2007). Breve revisión de los marcadores moleculares. *Ecología molecular*, 18(1), 541-566.
- Allendorf, F. W.; Luikart, G., y S.N. Aitken, 2013. *Conservation and the Genetics of Populations*. 2ª edición. Wiley-Blackwell Publishing. Malden, EUA
- Asbjarnardottir, M. G., Kristjansson, T., Jonsson, M. B., & Hallsson, J. H. (2010). Analysis of genetic diversity and population structure within the Icelandic cattle breed using molecular markers. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 60(4), 203-210.
- Barrera Bassols, Narciso. 1996. Los orígenes de la ganadería en México. *Ciencias*, núm. 44, octubre-diciembre, pp. 14-27.
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México. 24 p.
- Cabezas Congo, R., Barba Capote, C., González Martínez, A., Cevallos Falquez, O., León Jurado, J. M., Aguilar Reyes, J. M., & García Martínez, A. (2019). Estudio biométrico del bovino criollo de Santa Elena (Ecuador). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 10(4), 819-836.
- Canales V., A. (2014). Caracterización genética y morfológica de vacas de la raza Criollo Lechero Tropical. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/39985>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022.
- Conway, G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*. 24(2): 95-117. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0308-521X(87)90056-4)
- Cruz-Uribe, F. (2011). Tendencias para la producción bovina mundial. *Revista Ciencia Animal* 4: 97-103.
- DAD-IS (Domestic Animal Diversity Information System). (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/dadis>. Consultado en enero, 2019.
- De Alba, J. (2011). *El libro de los bovinos criollos de América*, Jorge de Alba Martínez. Biblioteca Básica de Agricultura (Colegio de Postgraduados), Ediciones Papiro Omega S.A. de C.V. México, D.F.
- Delgado, J. (2011). Las razas locales y el cambio climático. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, 1, 20-24.
- Delgado, J. V., Martínez, A. M., Acosta, A., Álvarez, L. A., Armstrong, E., Camacho, E., y Marques, J. R. (2012). Genetic characterization of Latin- American Creole cattle using microsatellite markers. *Animal Genetics*, 43(1), 2-10.
- Domínguez Martínez, Miguel Ángel, Hernández Núñez, Víctor, Mariscal Méndez, Araceli, Martínez Martínez, Amparo, & Fuentes-Mascorro, Gisela. (2023). Análisis genético

- del ganado criollo mixteco de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14 (2), 434-449. Publicación electrónica del 26 de junio de 2023. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i2.6315>
- Domínguez, M., Pérez, J., Landi, V., Martínez, A., & Fuentes-Mascorro, G. (2017). Analysis of genetic differentiation of creole cattle from two regions in Oaxaca State, Mexico. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 10, 201-208.
- Domínguez-Viveros J., Ortega-Gutiérrez J. Á., Rodríguez-Almeida F. A. y Cárdenas-Rivera Jorge Andrés. (2014). Variabilidad genética en ganaderías de lidia mexicanas a partir de la información del registro genealógico. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 30(3): 610-616
- Espinoza, J. L., Guevara, J. A., y Palacios, A. (2009). Caracterización morfológica y faneróptica del bovino criollo Chinampo de México. *Archivos de Zootecnia*, 58(222), 277-279.
- Eusebi G. P., Cortés O., Dunner S. y Cañón J. (2020). Análisis genómico de diversidad y estructura genómica de las poblaciones bovinas de la raza mexicana de Lidia. *Rev Mex CiencPecu* 2020;11(4):1059-1070. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5302>
- Eusebi-García. P., Cortés-Gardyn O., Dunner-Boxberger S. y Cañón-Ferreras J. (2018). Genetic diversity analysis of the Mexican Lidia bovine breed population and its relation with the Spanish population by using a subset of SNPs under low gametic disequilibrium. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. Volumen 9. Número 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4393>
- FAO, (2000). World watch list for domestic animal diversity. Edited by: Scherf, B.D., Rome, Italy. 726 p. Disponible en: [http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/099782/2008/References%20for%20Exomics%20proposal%20\[PTDC-CVT-099782-2008\]/PDF%20files%20of%20references_max%2030%20\[Exomics\]/Scherf%20BD%202000_World%20Watch%20List%20for%20Domestic%20Animal%20Diversity-3rd%20edition.pdf](http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/099782/2008/References%20for%20Exomics%20proposal%20[PTDC-CVT-099782-2008]/PDF%20files%20of%20references_max%2030%20[Exomics]/Scherf%20BD%202000_World%20Watch%20List%20for%20Domestic%20Animal%20Diversity-3rd%20edition.pdf). Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022.
- FAO, (2005). Report on strategic priorities for action. For the sustainable use, development and conservation of animal genetic resources for food and agriculture. Second draft. Roma. Italia
- FAO, (2007). Comisión De Recursos Genéticos Para La Alimentación Y La Agricultura, Plan de acción mundial sobre los recursos zoogenéticos y la declaración de interlaken. Interlaken, Suiza.
- FAO, (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería, una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Roma.
- FAO, (2018). Los 10 elementos de la agroecología guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles.
- Fernández, J.A., Barba, C. (2005). Paralelismo entre las razas criollas americanas y las razas autóctonas españolas. *Archivos de Zootecnia*. 54: 135-139.
- Fraga Nodarse, J., Rodríguez, J., Fuentes, O., Castex, M., & Fernández-Calienes, A. (2004). Comparación entre 5 métodos para la extracción de ADN de triatómicos: su utilización en la técnica de ADN polimórfico amplificado al azar (RAPD). *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 56(3), 203-207.
- Ginja, Telo, Cortés, Et al., (2019). The genetic ancestry of American Creole cattle inferred from uniparental and autosomal genetic markers. *ScientificReports*. Nature research

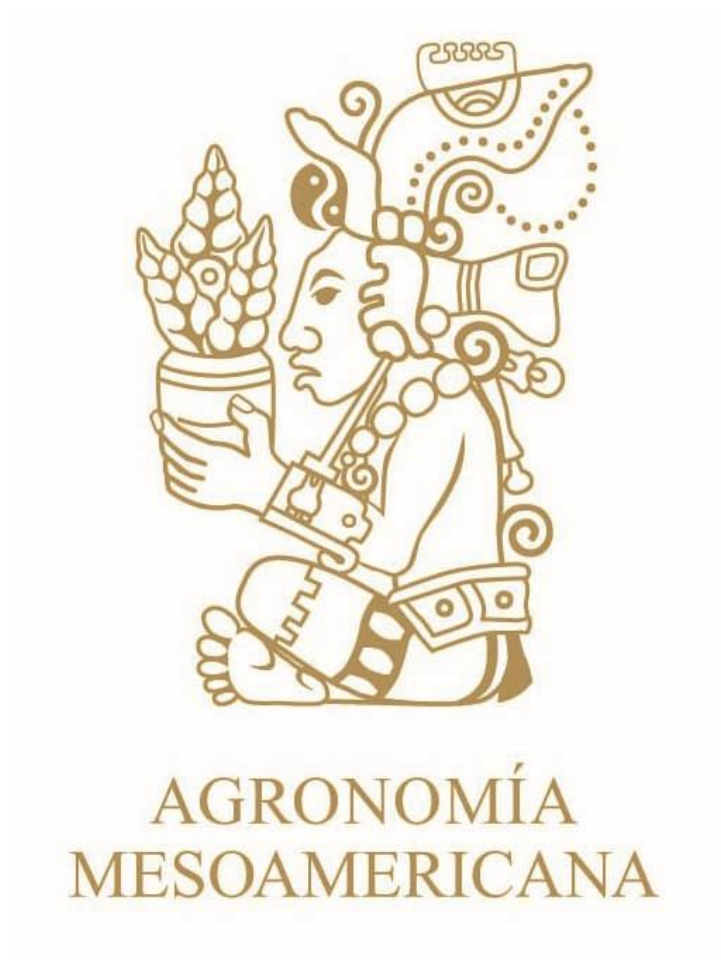
- Gómez, L. Fernando, Ríos-Orsorio, Leonardo, & Eschenhagen, M. Luisa. (2015). Las bases epistemológicas de la agroecología. *Agrociencia*, 49(6), 679-688. Recuperado en 01 de junio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000600007&lng=es&tlng=es.
- González-Stagnaro, C., Goicochea, J., Rodríguez, M.A., Madrid-Bury, N., y González-Villalobos, D. (2006). Incorporación al servicio en novillas mestizas doble propósito. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14: 1-9.
- Guevara, G., Soria, M., Silvana, M. Ñ., & Vallecillo, A. (2020). Estimación combinada de número alelos, heterocigosidad esperada y observada en microsatelites de bovinos mediante meta análisis. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 3(3), 1-7.
- Guevara, S. y A. Lira-Noriega. 2004. De los pastos de la selva a la selva de los pastos: La introducción de la ganadería en México. *Revista Pastos*, XXXIV (2), 109 – 150.
- Gutiérrez, J. P., Altarriba, J., Díaz, C., Quintanilla, R., Cañón, J., & Piedrafita, J. (2003). Pedigree analysis of eight Spanish beef cattle breeds. *Genetics Selection Evolution*, 35(1), 43-63.
- Holgado, F. (2019). El Bovino Criollo Argentino. Principales características. El consejo de los profesionales del agro, alimentos y agroindustria (CEPIA). Argentina. Revisado 6 de noviembre del 2022 en: <http://cpia.org.ar/agropost/nota/56>
- Holgado, F. D., & Ortega Masague, M. F. (2019). Caracterización productiva del bovino Criollo Argentino: período 2006-2016. INTA Ediciones.
- Huerta, C., Halfpter, G., & Cruz, M. (2018). Ganadería sustentable en el Golfo de México. INECOL, 29.
- Jordan, T. G. 1993. North American Cattle-Ranching Frontiers. Origins, diffusion and differentiation. (Histories of the American Frontier). University of New Mexico, Albuquerque (USA).
- León, T. 2009. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. *Agroecología*. 4: 7-17.
- Lizeca, S; Romero, J y Espinoza L. (2018). Evaluación del bovino Criollo para su conservación y utilización sostenible en regiones de extrema sequía en Bolivia. *Revista Recursos Zoogeneticos*. XXII Reunión Nacional de ABOPA • Santa Cruz de la Sierra.
- López, C. E. (2019). Caracterización etnológica de las vacas criollas en el estado de Campeche. In T. Conkal (Ed.), (pp. 53). https://www.tecnm.mx/?vista=TecNM_Virtual&tecnm_virtual=Bibliotecas.
- Lozada, E., Chacón, E., Sambache, E., Revelo, M., Gutiérrez, M., Delgado, J. V. & Navas, F. J. (2023). Diversidad genética y estructura de la población de la raza Charolais en Ecuador a través del pedigrí. *Archivos de zootecnia*, 72(277), 32-42. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v72i277.5699>
- Magaña-Monforte, J.G., Ríos-Arjona, G., Martínez-González, J.C. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal* 14: 105-114.
- Marquardt, S., Soto, D., y Joaquín, N. (2018). Foraging behavior of Criollo vs. Brahman × Criollo Crossbreds in the Bolivian Chaco: Case Study. *Rangel and Ecology & Management*, 71(6), 757-761.
- Martínez-Velázquez, Guillermo, Ríos-Utrera, Ángel, Palacios-Franquez, José Antonio, Vega-Murillo, Vicente Eliezer, & Montaña-Bermúdez, Moisés. (2021). Ganado criollo coreño del occidente de México en la producción de carne: caracterización,

- desafíos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12 (Supl. 3), 23-38. Publicación electrónica del 24 de enero de 2022. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5884>
- McIntosh, M., González, A., Cibils, A., Estell, R., Nyamuryekung'e, S., y Spiegel, S. (2020). PSVII-1 A preliminary phenotypic characterization of Raramuri Criollo cattle. *Journal of Animal Science*, 98(Suppl. 4), 307-307.
- Mujica, F. (2005). *Diversidad, Conservación y Utilización de los Recursos Genéticos Animales en Chile*. Osorno, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 137. 124 p.
- Ocampo-Gallego R. J., Martínez-Rocha J. F y Martínez-Sarmiento R. A. (2020). Diversidad genética y estructura poblacional en bovinos colombianos casanareño a través de marcadores moleculares microsatélites. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 7(3):e2396.DOI: 10.19136/era.a7n3.2396
- Ossa, G., Abuabara, Y., Pérez, J.E., Martínez, G. (2011). El ganado Criollo colombiano Costeño con Cuernos (CCC). *Animal Genetics Resources*. 48: 101-107.
- Parra Cortes, RI, Martínez Correal, G., & Valderrama-Rodas, M. (2021). Situación actual y perspectivas de la ganadería de bovinos criollos en América Latina: Situación actual y perspectivas de los bovinos criollos. *Archivos Latinoamericanos De Producción Animal*, 29 (3-4), 79-90. <https://doi.org/10.53588/alpa.293401>
- Parra, R., y Magaña, M. (2019). Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18), 535-547.
- Parra-Bracamonte, G. M., Sifuentes Rincón, A. M., De la Rosa Reyna, X., & Arellano Vera, W. (2011). Avances y perspectivas de la biotecnología genómica aplicada a la ganadería en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 1025-1037.
- Perezgrovas Garza, R. (2017). *Catálogo ilustrado de los bovinos criollos de México: razas locales y sistemas empíricos de manejo*. Universidad Autónoma de Chiapas, Instituto de Estudios Indígenas UNACH. México.
- Perezgrovas. Garza, Raúl-Andrés. *Los bovinos criollos de México: historia, caracterización y perspectivas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 2015.
- Perezgrovas-Garza, R.A. (2017). Las razas locales de bovinos criollos en la región Altos tzotzil-tzeltal de Chiapas, pp. 47-68. En: "Catálogo ilustrado de los bovinos criollos de México. Razas locales y sistemas empíricos de manejo." Volumen XV de la Colección "Boca de Monte" de la Universidad Autónoma de Chiapas. Editorial UNACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Pérez-Vázquez, A., & Doris, L. T. (2019). Análisis comparativo de los principales enfoques de investigación de los sistemas agrícolas. *AGRO Productividad*, 12(6), 31-37.
- Postiglioni, A., Rincón, G., Kelly, L., D'Angelo, M., Castellano, A., Guevara, K., Fernández, G. (2002). Biodiversidad genética en bovinos criollos del Uruguay: Análisis con marcadores moleculares. *Archivos de zootecnia*, 51(193), 21.
- Quiala, E., Valledor, L., Hazbun, R., Barbón, R., de Feria, M., & Chávez, M. (2008). Estandarización de un protocolo de obtención de ADN genómico para la cuantificación de 5mC en brotes epicórmicos de *Tectonagrandis* L. *Biotechnología vegetal*, 8(1).
- Quinteros, I. R. (1994). *Marcadores genéticos del bovino criollo*.
- Quiroz, J., 2007. *Caracterización genética de los bovinos criollos mexicanos y su relación con otras poblaciones bovinas*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. Departamento de Genética.

- Rincón, G., D' Angelo, M., Kelly, L., de Andrés Cara, D. F., Postiglioni, A., & Gagliardi, R. (1998). Caracterización genética de los bovinos Criollos del Uruguay II: Estudio de su variabilidad genética. *Archivos de zootecnia*, 47(178), 225-231.
- Ríos-Sánchez, E., Calleros, E., González-Zamora, A., Rubio, J., Martínez, O. C., Martínez, A., Pérez-Morales, R. (2016). Análisis comparativo de diferentes métodos de extracción de DNA y su eficiencia de genotipificación en población mexicana. *Acta universitaria*, 26(4), 56-65.
- Ruiz, O. (2006b). Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia* 31: 140-145.
- San, G. T. A., & Molina-Flores, B. (2016). Caracterización fenotípica del bovino Criollo de Surinam en los distritos de Coronie y Nickerie. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), 399-401.
- Severino Lendechy, V. H., Perezgrovas Garza, R. A., Ahuja Aguirre, C., Montiel Palacios, F., Peralta Torres, J. A., & Segura Correa, J. C. (2021). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas productivos con bovinos criollos en Campeche, México. *Acta universitaria*, 31. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174.au.2021.3102>.
- Soares-Fioravanti, M.C., Soares Juliano, R., Lage Costa, G., Jacomini Abud, L., Silva Cardoso, V., Gómez Carpio, M., Oliveira e Costa, M.F. (2011). Conservación del bovino Curraleiro: cuantificación del censo y caracterización de los criadores. *Animal Genetic Resources*. 48: 109-116. Doi:10.1017/S2078633610001244.
- Tewolde, A. (2007). Los Criollos bovinos y los sistemas de producción animal en los trópicos de América Latina. In: Simposio sobre recursos genéticos en América Latina APPA - ALPA - Cusco, Perú. pp: 13-19.
- Toalombo Vargas, P. A. (2020). Caracterización morfológica, productiva y genética de la gallina criolla del Ecuador.
- Ulloa-Arvizu, R., Gayosso-Vázquez, A., Ramos-Kuri, M., Estrada, F.J., Montaña, M., Alonso, R.A. (2008). Genetic analysis of Mexican Criollo cattle populations. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 125: 351-359.
- Users-Fernández, J. L. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid* (50), 71-98.
- Vela, J. A. O., & Plasse, D. (2020). Zoometría de dos poblaciones de ganado Criollo de Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 28(3-4), 91-101.
- Verrier, E., Colleau, J. J., & Foulley, J. L. (1993). Long-term effects of selection based on the animal model BLUP in a finite population. *Theoretical and Applied Genetics*, 87(4), 446-454.
- Vieira, F. (1999). El método de escenarios para definir el rol de los INIA's en la investigación agroindustrial. In: Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional ISNAR. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del cono Sur PROCISUR. La Haya, Países Bajos. pp: 6-36.
- Vilaboa Arroniz, J. (2018). La ganadería doble propósito desde una visión Agroecosistémica. *Agro Productividad*, 6(6). Recuperado a partir de <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/489>
- Vilaboa, J., Díaz, P. (2009). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical* 27: 427-436.

- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Wing Ching-Jones, R., Zetina-Córdoba, P. (2013). Percepción, conocimiento y uso de las razas Criollas Lecheras Tropicales (CLT) en países de Latinoamérica. *Revista Científica, FCV-LUZ* / Vol. XXIII, N° 4, 300-311.
- Vilaboa-Arroniz, J., Quirós-Madrigal, O., Díaz-Rivera, P., Wing Ching-Jones, R., Brower-Keating, N., Zetina-Córdoba, P. (2012a). Los sistemas ganaderos con criollo lechero tropical (Reyna) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 23: 167-178.
- Vilaboa-Arroniz, J., Quirós-Madrigal, O.J., Díaz-Rivera, P., Zetina-Córdoba, P. (2012b). Situación del bovino criollo lechero tropical (CLT) en México, Nicaragua y Costa Rica. *Archivos de Zootecnia* 61 (R): 31-39.

CAPITULO II. El bovino criollo de Nunkiní, Campeche, México: un recurso zoogenético en riesgo.



Aceptado en la Revista Agronomía Mesoamericana

Fecha de envío: 25 de agosto del 2022

Fecha de aceptado: 23 de agosto del 2023

Publicado: Enero 2024

Capítulo II. El bovino criollo de Nunkiní, Campeche, México un recurso zoogenético en riesgo¹

The creole bovine of Nunkini, Campeche, Mexico azoogenetic resource at risk

Guadalupe de Jesús Cruz-Clemente², Raciél Javier Estrada- León³, Ángel Carmelo Sierra-Vásquez²,
Víctor Hugo Severino-Lendechey⁴, Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez², Jorge Carlos Bojórquez-Cat⁵

Resumen

Introducción. La ganadería con bovinos criollos se práctica en espacios rurales con características difíciles para el manejo de las especies. **Objetivo.** Describir el sistema productivo y los factores socioculturales y técnico-económicos que afectan la producción del bovino criollo de Nunkiní (*Bostaurus*). **Materiales y métodos.** El estudio se realizó entre noviembre del 2020 a octubre del 2021, en nueve Unidades de Producción Pecuarias de Nunkiní en el municipio de Calkiní, Campeche, México. La información se obtuvo de una cédula de entrevista con variables de estudios sociales, culturales, técnicas y económicas, aplicada a productores seleccionados. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y ANDEVA. **Resultados.** La crianza del ganado la realizaron hombres (100%), con edad promedio de 58,44 años. Los años de experiencia promedio fueron de 34,61. Los productores jóvenes tuvieron mayor escolaridad y menor experiencia, y se encargaron de las unidades de producción de mayor nivel tecnológico. El tamaño de la unidad de producción pecuaria varió de cinco a veintidós bovinos (media de 14). El manejo alimenticio tuvo

¹ Este trabajo formó parte de la tesis de doctorado del primer autor en el Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Yucatán. Entidad financiadora del proyecto con clave: 7109.19-P.

²Tecnológico Nacional de México-Campus Conkal, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Cuerpo Académico ITCON-5. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. Tel. y Fax: 99991241 30 y 9999124135. jesus_1984_21@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8623-9164>); angel.sierra@itconkal.edu.mx (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-9544-3706>); pineiroiamc@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8400-4046>).

³ TecNM/Campus Calkiní, Avenida Ah-Canun, S/N, por carretera federal San Felipe, 24900 Calkiní, Campeche, México. Tel: 996-8134870. rjestrada@itescam.edu.mx (<https://orcid.org/0000-0002-0987-9053>).

⁴ Centro de Estudios Etnoagropecuarios. Blvd. Javier López Moreno, Barrio de Fátima San Cristóbal de las Casas Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas, México. Tel. 967 6788983. vhseverino@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-6265-1384>).

⁵Tecnológico Nacional de México-Campus Conkal, Ingeniería en Desarrollo Comunitario. Cuerpo Académico ITCON-5. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. Tel. y Fax: 99991241 30 y 9999124135. jorge.bc@conkal.tecnm.mx (<https://orcid.org/0000-0001-6607-6276>).

un esquema de trashumancia, donde de mayo a diciembre estuvieron libres en tierras ejidales y de enero a abril se manejaron semi estabulados, con pastoreo en potreros cultivados y suplementados con residuos agrícolas. Con el manejo zootécnico implementado por los productores, se obtuvo un promedio de 83 % de preñez. El producto principal comercializado fue carne fresca en cortes y venta directa al consumidor, con un precio promedio de 2,675 USD\$/kg. **Conclusión.** Es un sistema tradicional extensivo que aprovecha el uso común de los agostaderos. Con productores de experiencia, pero de edad avanzada, de pequeña inversión y le sirve para fortalecer su economía familiar. Dicha actividad se ve amenazada por la falta de revalorización del bovino criollo y la introducción de razas exóticas en la zona para maximizar la producción. Describir el sistema productivo y los factores socioculturales y técnico-económicos que afectan la producción del bovino criollo de Nunkiní (*Bostaurus*).

Palabras clave: ganado adaptado a la localidad, revalorización social, sistema de producción, conservación genética.



CAPITULO III. Variabilidad genómica y estructura poblacional del ganado criollo Nunkiní utilizando un arreglo SNP de gran densidad.

Artículo científico: Formato Livestock Science

Estatus: Enviado a la revista.

Variabilidad genómica y estructura poblacional del ganado criollo Nunkiní utilizando un arreglo SNP de gran densidad.

Guadalupe de Jesús Cruz-Clemente¹, <https://orcid.org/0000-0002-8623-9164>

Ángel Carmelo Sierra Vásquez¹, <https://orcid.org/0000-0002-9544-3706>

Raciel Javier Estrada- León², <https://orcid.org/0000-0002-0987-9053>

Víctor Hugo Severino Lendecky³, <https://orcid.org/0000-0001-6265-1384>

Ángel Piñeiro-Vázquez¹, <https://orcid.org/0000-0002-8400-4046>

Arturo Reyes Ramírez¹, <https://orcid.org/0000-0003-2348-5146>

Jorge Carlos Bojórquez-Cat¹, <https://orcid.org/0000-0001-6607-6276>

Benito Aarón López Iglesias⁴, <https://orcid.org/0009-0001-7250-4393>

Gaspar Manuel Parra-Bracamonte^{5*}, <https://orcid.org/0000-0002-9327-2042>

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. 97345.

²TecNM/Campus Calkiní, Avenida Ah-Canun, S/N, por carretera federal San Felipe, Calkiní, Campeche, México. 24900.

³Centro de Estudios Etnoagropecuarios. Bulevar. Javier López Moreno, Barrio de Fátima San Cristóbal de las Casas Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas, México, 29264.

⁴Laboratorio de Genética y Oncología Molecular, Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala. AV. de los Barrios 1, Hab. Los Reyes Ixtacala Barrio de los Árboles/Barrio de los Héroes, Tlalnepantla, México, 54090.

⁵Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Bulevar. del Maestro s/n esq. Elías Piña Col. Narciso Mendoza CP 88710, Reynosa, Tamaulipas, México, 88710.

*Autor de correspondencia: gparra@ipn.mx

Resumen

El ganado criollo es un tipo distinguido de animales que se originó a partir del ganado traído por los colonizadores ibéricos a América, y que después de siglos se adaptó a condiciones ambientales diversas y, en ocasiones, severas. El ganado criollo Nunkiní, es una pequeña población de animales que aún subsiste en difíciles condiciones nutricionales y sanitarias en una comunidad cerrada de Campeche, México. Se ha caracterizado por su capacidad reproductiva y adaptación a condiciones tropicales y se ha establecido como un ganado potencialmente de doble propósito (es decir, leche y carne). El objetivo del presente estudio es evaluar la variabilidad y la estructura de la población actual de ganado criollo Nunkiní utilizando una amplia matriz de SNP. Se estimó una gran variabilidad y baja endogamia en nueve ranchos de muestra de estos animales, y una estructura poblacional ligeramente divergente, lo que sugiere una introgresión reciente y mezcla con razas cebú. Se discuten algunas implicaciones para el diseño de un esquema de rescate y uso genético para promover su multiplicación y garantizar su conservación.

Palabras clave: Ganado criollo, diversidad, tamaño efectivo de la población, raza adaptada localmente, SNP.