

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

**CONTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL BOVINO CRIOLLO RARÁMURI AL
SISTEMA VACA-BECERRO EN ZONAS DE MONTAÑA DEL ESTADO DE
CHIHUAHUA**

POR:

M.V.Z. ADRIANA FLORIANO LÓPEZ

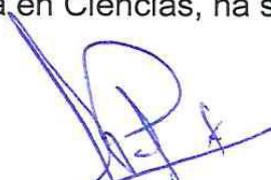
**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

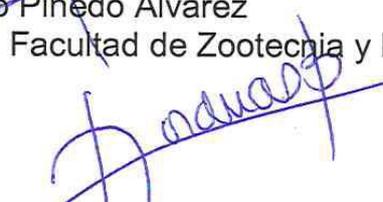
AGOSTO 2025



Contribución Potencial del Bovino Criollo Rarámuri al Sistema Vaca-Becerro en Zonas de Montaña del Estado de Chihuahua. Tesis de Maestría presentada por Adriana Floriano López como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias, ha sido aprobado por:



D. Ph. Alfredo Pinedo Álvarez
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología



Dra. Rosalía Sánchez Basualdo
Secretaria de Investigación y Posgrado



Dr. Lauro Manuel Espino Enriquez
Coordinador Académico



Ph. D. Felipe Alonso Rodríguez Almeida
Presidente del Comité

Fecha

27 de Junio de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Fecha: 19 / Junio / 2025

Después de haber reunido la revisión final del trabajo de tesis a nivel Maestría, bajo el nombre: CONTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL BOVINO CRIOLLO RARAMURI AL SISTEMA VACA-BECERRO EN ZONAS DE MONTAÑA DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

Elaborado por: Adriana Floriano López

Los integrantes del comité están de acuerdo en que dicho trabajo satisface los requisitos para su publicación (indicándolo con una "X"), desde el punto de vista de:

Puesto en comité	Nombre y firma	Contenido Técnico	Análisis de la Información	Formato (estilo y forma)
Asesor:	<i>Felipe Alfonso Rodríguez Alonso</i>	✓	✓	✓
Representante área relacionada:	<i>José Alfredo Martínez Quintana</i> <i>José</i>	✓	✓	✓
Representante área estadística:	<i>Francisco Joel Johnny Martínez</i> <i>FJM</i>	✓	✓	✓
Representante de la coordinación:	<i>Javier Antillón Ruiz</i> <i>JAR</i>	✓	✓	✓

Lauro Manuel Espino Enriquez
Dr. Lauro Manuel Espino Enriquez
Unidad/Coordinación Académica
Vo. Bo.

Fecha actualización: octubre 2024

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA
Periférico Francisco R. Almada km 1
C.P. 31453 Chihuahua, Chih.
Tel. 52 (614) 434-0363, 434-0304, 434-0458 fax 434-0345
www.fz.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi hermano, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado; sin importar lo que haga o dónde esté, siempre me acompañan.

A mi asesor, el Dr. Felipe A. Rodríguez Almeida, por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente al desarrollar este trabajo de investigación, así como por su guía y su paciencia.

Al Dr. José Alfredo Martínez Quintana, por darme la oportunidad de desarrollarme en el laboratorio, por su apoyo, su ayuda en mi formación académica y todos los consejos que me dio.

Al Ing. Jesús Sandoval Villalobos y a los trabajadores del rancho, porque sin su trabajo, esfuerzo y dedicación, nada de esto habría sido posible.

Al M.C. Javier Antillón Ruiz por su asesoría para la escritura de éste trabajo, así como su trabajo y apoyo con el manejo reproductivo y diagnóstico de gestación para el proyecto.

Al Dr. Francisco Joel Jahuey Martínez por su asesoría y ayuda en el análisis estadístico de éste trabajo, así como el diseño de gráficos para el mismo.

A los doctores Carlos Raúl Morales Nieto, Raúl Corrales Lerma, José Humberto Vega Mares y Alan Álvarez Holguín, cuyo trabajo en la caracterización de plantas, cálculos de biomasa disponible y ajuste de cargas fue la base para el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Jesús A. Prieto Amparán, por su asesoría y apoyo en el análisis de información climatológica y de cobertura vegetal, fundamentales para la interpretación y discusión de los resultados.

Al Dr. Lorenzo Buenabad Carrasco por su asesoría, trabajo y apoyo durante los muestreos del proyecto.

A la Facultad de Zootecnia y Ecología, por el apoyo con recursos propios para gastos y materiales, así como por haber puesto a disposición todo lo necesario para el desarrollo de esta investigación.

Al Concejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la beca (2023-000002-01NACF-04205) otorgada para apoyo de mis estudios y la realización de ésta tesis.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, quienes no solo me han brindado su apoyo de manera incondicional, sino que también han sido, y continúan siendo, mi mayor ejemplo de fortaleza, integridad y perseverancia. Su amor, enseñanzas y compromiso han sido la base sobre la que he construido cada etapa de mi vida; gracias a ellos es quien fui, quien soy y quien aspiro a ser. También la dedico a mi hermano, quien representa uno de los pilares más firmes en mi vida. Ha sido mi mayor apoyo, mi confidente y mi compañero de aventuras, alguien con quien comparto una complicidad que trasciende el tiempo y las circunstancias.

Y, por supuesto, me la dedico a mí misma, por no rendirme, por el esfuerzo constante, por cada noche de trabajo y desvelo. Por la disciplina y la entrega que puse en cada paso del camino, y por continuar avanzando con determinación hacia mis metas.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 28 de octubre de 1996 en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México

Ago, 2011 – Jun, 2014 Estudios de bachillerato en el Centro de Bachillerato Técnico Agropecuario 90, Técnico en Explotación Ganadera. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Jun, 2014 – May, 2019 Estudios de Licenciatura en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Médico Veterinario Zootecnista. Cd. Juárez, Chihuahua, México.

May – Nov, 2022 Estudios de inglés con fines académicos para nivel avanzado en VanWest College. Kelowna, British Columbia, Canadá.

Ene, 2023 – Dic, 2024 Estudios de Posgrado en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Maestría en Ciencias. Cd. Chihuahua, Chihuahua, México.

RESUMEN

CONTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL BOVINO CRIOLLO RARÁMURI AL SISTEMA VACA-BECERRO EN ZONAS DE MONTAÑA DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

POR:

M. V Z. ADRIANA FLORIANO LÓPEZ

Maestría en Ciencias en Reproducción y Genética Animal

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph. D. Felipe Alonso Rodríguez Almeida

Se comparó el desempeño productivo de vacas Criollo Rarámuri (CR), Angus × Criollo (AC) y Hereford × Angus (HA) en un sistema vaca-becerro de bajos insumos, para lo cual, se estableció un diseño experimental con dos bloques de tres potreros, asignando al azar los grupos raciales. El estudio se realizó en el Rancho Experimental Teseachi de la UACH durante tres ciclos productivos (2022–2024). En las crías se evaluó el peso al nacimiento (PN), destete (PD), destete ajustado a 190 d (PD-190), y ganancia diaria promedio (GDP); en vacas, peso vivo (PV), condición corporal (CC), producción de leche (PrL) y tasa de gestación (TG). Para variables continuas se ajustaron modelos mixtos con efectos fijos de raza, año, edad de la madre, interacciones dobles, y fecha juliana de parto como covariable; se incluyeron efectos aleatorios de bloque, raza por bloque y

vaca dentro de raza. Para TG se ajustó un modelo logístico. La interacción raza x año afectó ($p < 0.05$) a PD, GDP, PV y PrL. Los promedios de HA y AC superaron al de CR, difiriendo por año. AC superó a HA en 2022 y 2024, y HA a AC en 2023. En CC, CR y AC superaron ($p < 0.05$) a HA en 2022, con menores diferencias en 2023 y 2024. En TG, CR y AC superaron ($p < 0.05$) a HA en los tres años. En conclusión, la craza AC combinó mejor desempeño en crecimiento de crías que CR, y en CC de las vacas y TG que HA.

ABSTRACT

POTENTIAL CONTRIBUTION OF CRIOLLO RARÁMURI CATTLE TO THE COW-CALF SYSTEM IN MOUNTAIN REGIONS OF THE STATE OF CHIHUAHUA

By

Adriana Floriano López

The productive performance of Criollo Rarámuri (CR), Angus × Criollo (AC), and Hereford × Angus (HA) cows was compared in a low-input cow-calf system. An experimental design was established with two blocks of three paddocks, with racial groups randomly assigned. The study was conducted at the Teseachi Experimental Ranch of UACH over three production cycles (2022–2024). In calves, birth weight (PN), weaning weight (PD), weight adjusted to 190 d (PD-190), and average daily gain (GDP) were evaluated. In cows, live weight (PV), body condition (CC), milk production (PrL), and pregnancy rate (TG) were assessed. For continuous variables, mixed models were fitted with fixed effects of breed, year, dam age, two-way interactions, and Julian calving date as a covariate; random effects included block, breed by block, and cow within breed. A logistic model was adjusted for TG. The breed × year interaction was significant ($p < 0.05$) for PD, GDP, PV, and PrL. HA and AC outperformed CR differently by year. AC exceeded HA in 2022 and 2024; HA surpassed AC in 2023. For CC, CR and AC outperformed ($p < 0.05$) HA in 2022, with smaller differences in 2023 and 2024. For TG, CR and AC were superior ($p < 0.05$) to HA in all three years. In conclusion, the AC cross showed the best combination of calf growth performance compared to CR and cow CC and TG compared to HA.

CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Situación Actual de la Ganadería Bovina.....	5
Ganadería Bovina en México.....	6
Ganadería Bovina en el Estado de Chihuahua.....	7
Sistema de Producción Vaca-Becerro.....	8
Retos Actuales que enfrenta la ganadería.....	10
Animales Adaptados para Sistemas de Producción Sustentable...	12
Ganado Criollo Rarámuri.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Sitio de Estudio.....	19
Características de los Animales Utilizados en el Estudio.....	23
Diseño del Experimento.....	26
Manejo de los Animales.....	26
Información Climatológica Durante el Periodo de Estudio.....	31
Análisis Remoto de Cobertura Vegetal.....	32
Variables Evaluadas.....	33
Análisis estadístico.....	33

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Crecimiento Pre Destete de las Crías.....	35
Caracterización del Comportamiento de las Variables Condición Corporal y Peso Vivo en las Vacas a través del Año.....	46
Evaluación de Variables Relacionadas con el Estatus de la CC y el Desempeño Productivo de las Madres.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
LITERATURA CITADA.....	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características de distribución, pendiente y altitud de los potreros de estudio.....	22
2	Medias \pm EE del peso vivo, altura al anca y rango de edad de las vacas utilizadas por raza y año.....	27
3	Razas y carga animal asignada a cada potrero con base en kilogramos de materia seca disponible por hectárea.....	28
4	Composición de la dieta y consumo diario de alimento previsto por animal en cada potrero del área de estudio.....	30
5	Medias de cuadrados mínimos y estimaciones para interacciones y efectos principales de las variables pre destete analizadas en los becerros por raza y año.....	36
6	Estimaciones de los coeficientes de regresión lineal de las variables PN, PD y GDP en la fecha juliana de parto en los tres años de estudio.....	38
7	Medias de cuadrados mínimos para las variables analizadas en vacas por grupos raciales y año.....	50
8	Comparaciones de tasa de gestación entre pares de razas dentro de cada año.....	53

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Niveles de precipitaciones y temperaturas medias anuales a través de 10 años en el sitio de estudio.....	24
2	Tendencia en la distribución de precipitaciones y temperaturas medias mensuales a través de 10 años en el sitio de estudio.....	25
3	Peso al destete ajustado a los 190 d por mes de nacimiento y año.....	40
4	Distribución de la fecha de parto juliana por grupo racial (AC, Angus x Criollo; CR, Criollo; HA, Hereford x Angus) y año a) 2022; b) 2023; c) 2024.....	42
5	Distribución de precipitaciones e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) mensual a través de los años de estudio.....	43
6	Peso vivo y probabilidad una condición corporal (CC) ≥ 4.5 para las vacas a través de los meses por grupo racial (AC, Angus x Criollo; CR, Criollo; HA, Hereford x Angus) y año (a) 2022, b) 2023 y c) 2024).....	47
7	Distribución de precipitaciones, temperatura máxima, media y mínima mensual a través de los años de estudio.....	56
8	Tasa de gestación por edad clasificatoria de la madre y año.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación geográfica del Rancho Experimental Teseachi y sus potreros más importantes.....	20
2	a) Modelo digital de elevación en la zona de estudio y b) Distribución de los potreros de estudio.....	21



INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante de la población mundial ha incrementado la demanda de alimentos, planteando desafíos importantes para la sostenibilidad de los sistemas de producción. Estos enfrentan un agotamiento progresivo de recursos debido a la intensificación productiva, el aumento en los costos de insumos y al impacto del cambio climático, caracterizado por temperaturas elevadas, precipitaciones irregulares y procesos de degradación ambiental (Hernández-Medrano & Corona, 2018; Alders *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2022). Además, un manejo ganadero inadecuado ha contribuido a la emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad y presión sobre el recurso hídrico (Duval *et al.*, 2021; Godde *et al.*, 2021). Ante este panorama, resulta indispensable implementar modelos productivos más sustentables, que integren eficiencia, cuidado ambiental y beneficios sociales (Tedeschi & Beauchemin, 2023).

En la producción bovina esto implica seleccionar animales con resiliencia ambiental, eficiencia alimentaria, fertilidad y tolerancia al calor, capaces de sobrevivir con suplementación mínima y adaptarse a condiciones adversas (FAO, 2016; Phocas *et al.*, 2016; Passamonti *et al.*, 2021; Strandén *et al.*, 2022). Las elevadas temperaturas reducen la ingesta de alimento, afectan la reproducción y aumentan el riesgo de enfermedades, especialmente en razas con altas demandas energéticas (Rashamol *et al.*, 2018; Silpa *et al.*, 2021). La disponibilidad de forraje también se ve alterada por la variabilidad climática, lo cual afecta directamente la eficiencia del sistema (Godde *et al.*, 2020; Rovelli *et al.*, 2020).



La región occidental del estado de Chihuahua (que abarca municipios como Bachíniva, Batopilas, Bocoyna, Chínipas, Gómez Farías, Guachochi, Guazapares, Guerrero, Ignacio Zaragoza, Maguarichi, Madera, Matachí, Namiquipa, Nonoava, Temósachi, Urique y Uruachi), cubre un área superior a los 5.8 millones de hectáreas. Esta zona presenta una topografía montañosa en un 80–95 % y hasta un 55 % de su superficie destinada al agostadero, con un sistema ganadero extensivo que aporta alrededor del 70 % de las exportaciones estatales (SIAP, 2022; INEGI, 2023; Banda-Villanueva, 2022). El clima es semiárido, con veranos superiores a los 30 °C, inviernos fríos, y una precipitación media anual entre 440 y 517 mm, concentrada en aproximadamente 87 días (Pinedo *et al.*, 2013; SDR, 2013). Estas condiciones limitan el acceso al agua y la disponibilidad de forraje, intensificando los efectos de las sequías (Godde *et al.*, 2020).

Las razas europeas especializadas en carne, como Angus, Hereford y Charolais, entre otras, son ampliamente utilizadas en Chihuahua. Sin embargo, su gran tamaño y limitada movilidad restringen su desplazamiento hacia zonas lejanas a fuentes de agua, reduciendo el aprovechamiento del agostadero y aumentando la presión sobre el suelo (Callejas-Juárez *et al.*, 2014; Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019). En sistemas de bajos insumos, la suplementación de dichas razas resulta costosa y poco sostenible (Bautista-Martínez *et al.*, 2020). Además, su alta demanda energética las hace más vulnerables al estrés térmico y a la disminución de la productividad en condiciones adversas (Strandén *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2022).



En contraste, el ganado Criollo Rarámuri (CR), descendiente de los primeros bovinos europeos introducidos a América, ha sido criado en aislamiento por más de 500 años en la Sierra Tarahumara, desarrollando una notable rusticidad y adaptabilidad (Anderson *et al.*, 2015; Estell, 2021; Armstrong *et al.*, 2022). Diversos estudios (Spiegel *et al.*, 2020; Nyamuryekung'e *et al.*, 2021; Roacho-Estrada *et al.*, 2023). han demostrado que el CR recorre mayores distancias, explora terrenos más accidentados, consume menos recursos y mantiene un menor nivel de estrés térmico que las razas especializadas. Su tamaño corporal pequeño reduce las necesidades de suplementación y agua, lo cual se traduce en menores costos de producción y una mayor eficiencia neta (Torell, 2023; Cibils *et al.*, 2023). Además, presenta buena calidad de canal, precocidad reproductiva, longevidad y un temperamento dócil que facilita el manejo (McIntosh *et al.*, 2021; Nyamuryekung'e *et al.*, 2020).

A pesar de estas ventajas, el CR ha sido desplazado de los pastizales por razas comercialmente atractivas, siendo relegado a ambientes más hostiles como matorrales y bosques montañosos, lo cual ha favorecido una rigurosa selección natural (Márquez-Godoy, 2024; McIntosh *et al.*, 2020). Gracias a su aislamiento, ha conservado características genéticas únicas, convirtiéndose en un recurso zoogenético valioso para enfrentar los retos actuales del cambio climático (Passamonti *et al.*, 2021; Strandén *et al.*, 2022).

Con base en lo anterior, resulta necesario evaluar su desempeño en contextos locales que permitan sustentar su conservación e integración en sistemas productivos resilientes. La hipótesis es que el ganado criollo puede



contribuir significativamente a mejorar la productividad en sistemas extensivos del oeste de Chihuahua debido a su rusticidad y menores requerimientos. El objetivo fue evaluar indicadores de adaptabilidad y desempeño productivo de vacas Criollo Rarámuri, sus cruzas con Angus, y Hereford x Angus, así como el desempeño productivo de sus crías de estos tres grupos en un sistema vaca-becerro de bajos insumos, considerando la variabilidad de las condiciones a través de los años.



REVISIÓN DE LITERATURA

Situación Actual de la Ganadería Bovina

En el caso de los bovinos especializados en producir carne, la ganadería ha evolucionado para poder abastecer la demanda mundial de carne, desarrollando diferentes tipos de sistemas de producción, según los recursos disponibles y las necesidades del consumidor. De esta manera, los sistemas extensivos, intensivos y de autoconsumo se distribuyen a través del mundo influidos por diferentes elementos económicos y naturales, como el relieve del suelo, fuentes de agua y tipo de vegetación (SIAP, 2018).

En 2016, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estimó que el crecimiento de la población mundial alcanzará los 9,600 millones de habitantes para el año 2050, por lo que la demanda de carne y otros derivados animales se duplicará en los próximos 20 años (Hernández-Medrano & Corona, 2018; Naranjo-Ramírez & Ruiz-Buitrago, 2020; Alders *et al.*, 2021). La ganadería provee aproximadamente un 33 % del consumo de proteína y el 17 % de calorías totales (Alders *et al.*, 2021).

La FAO prevé que la demanda mundial promedio *per cápita* de carne aumente 2 %, desde el periodo base 2020-2022 hasta 2032. El crecimiento previsto en la producción de carne de bovino es de 1.9 % anual, aumento estimulado por el crecimiento demográfico global (OECD/FAO, 2023); impulsando la masificación de cría de ganado en países en vías de desarrollo (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019).



El sector ganadero ha tratado de producir de la manera más eficaz posible para satisfacer la demanda de carne; sin embargo, el cambio climático ha generado un nuevo reto, por lo que, una estrategia para la producción sostenible de carne es enfocar los esfuerzos en la selección de animales con la capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales y resistir las crisis climáticas (Hernández-Medrano & Corona, 2018).

La FAO enfatiza la importancia de los recursos zoogenéticos como parte medular en la lucha del sector ganadero contra el cambio climático. En el Plan de Acción Mundial sobre los Recursos Zoogenéticos adaptado en el 2007, se abordan, entre otras medidas, el uso de animales con cientos de años de adaptación y domesticación en varios ambientes, ya que representan una valiosa alternativa para avanzar hacia la sostenibilidad de los sistemas de producción (FAO, 2016).

Ganadería Bovina en México

En México, el 73 % del territorio se utiliza para actividades agropecuarias, del cual el 58 % es empleado como agostaderos, donde la producción de bovinos se basa en el pastoreo bajo un modelo extensivo (Hernández-Medrano & Corona, 2018).

En el 2022, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) mencionaba que el ganado bovino para carne representó el 92.6 % de los bovinos en el país (SIAP, 2022). En el mismo año, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) registró en su censo agropecuario 2022 que el 55.5 % de la producción total de bovinos se



concentró principalmente en los estados de Veracruz, Jalisco, Chihuahua, Chiapas, Durango, Tabasco, Sonora y Michoacán (INEGI, 2023).

La mayor parte de los ganaderos en México son pequeños productores y de escasos recursos (Caballoti-Vázquez, 2014); sin embargo, esto no ha detenido su acceso al mercado nacional. Por otra parte, el ganado bovino para carne también se liga al mercado internacional, gracias a la exportación de becerros y vaquillas a Estados Unidos y, en parte, cortes de carne selectos a Japón y Corea. La mayor parte de la carne congelada se exporta a Japón (Ríos-Flores & Castillo-Arce, 2015).

Los estados del norte del país tienen como actividad pecuaria primaria la venta de becerros para exportación, debido a los ecosistemas disponibles, su estatus sanitario, sistemas de trazabilidad y su proximidad a la frontera con Estados Unidos (Ríos-Flores & Castillo-Arce, 2015). El sistema de producción vaca-becerro tiene como objetivo la producción de becerros al destete y predominan las razas europeas, debido a sus cualidades genéticas para desempeño en la engorda, calidad de la canal y la carne, así como la producción de animales con mayor desarrollo muscular (Callejas-Juárez *et al.*, 2014).

Ganadería Bovina en el Estado de Chihuahua

El estado de Chihuahua es el más grande del país, con una extensión total de 24.7 millones de hectáreas, donde la ganadería se ha desarrollado durante siglos. Presenta tres grandes eco-regiones: Sierras y Llanuras Tarahumaras, Región Semidesértica y Región del Desierto (Pinedo *et al.*, 2013). La vegetación del estado incluye matorral (32 %), bosques



(29.42 %), pastizales (23.9 %), selva (2.38 %) y otros (11.9 %). La clase de vegetación dominante en el estado es el bosque de pino-encino con una superficie de 3,198,999.90 ha, seguido por matorral desértico y pastizal natural (SDR, 2013).

La ganadería en el estado de Chihuahua es mayormente sustentada bajo el sistema de pastoreo extensivo y los pastizales generan la mayor fuente de alimentación para estos animales; por lo tanto, los sistemas de producción dependen de la variabilidad en la cantidad y calidad de forraje disponible para pastoreo (Pinedo *et al.*, 2013). Es por esto que la ganadería en la ecorregión de la sierra, que es principalmente de sustento familiar con producción de bajos insumos, utiliza bovinos criollos o sus cruza. Las zonas de transición de pastizales hacia bosques de encino contribuyen de forma importante a la ganadería del estado, principalmente bajo el sistema de producción vaca-becerro.

La producción y exportación de becerros en pie para engorda a Estados Unidos es la principal actividad pecuaria a nivel estatal. Según el Padrón Ganadero Nacional (PGN), Chihuahua exportó el 16 y 13 % del volumen total de becerros y vaquillas, respectivamente, a nivel nacional en el 2019. Al año siguiente, según registros del SIAP en el primer trimestre del año 2020, Chihuahua exportó el 37 % del volumen total de becerros y vaquillas (126,496 cabezas de ganado) a nivel nacional (Banda-Villanueva, 2022).

Sistema de Producción Vaca-Becerro

El sistema vaca-becerro consiste en hembras destinadas a la



producción de becerros, de los cuales cierto porcentaje es vendido en la frontera para ser exportados y el resto es utilizado como reemplazo en las unidades de producción o vendido dentro de México para el mercado interno de carne (Banda-Villanueva, 2022).. En el norte del país los becerros son para exportación, principalmente a Estados Unidos. Las principales razas utilizadas son europeas puras o cruza comerciales entre ellas. Esto para lograr un mayor desarrollo corporal (Bautista-Martínez *et al.*, 2020). Un ciclo en este sistema abarca el periodo que va desde el parto hasta el destete, es decir a los siete u ocho meses de edad, cuando los animales alcanzan un peso entre los 150 y 200 kg. Posteriormente, los becerros son introducidos al pastoreo hasta alcanzar un peso vivo de 230 a 320 kg (Callejas-Juárez *et al.*, 2014).

En este tipo de sistema de producción es necesario satisfacer los requerimientos nutricionales, reproductivos y sanitarios de los animales para maximizar los índices productivos; por ende, el rendimiento económico y sustentabilidad del sistema de producción (Alcalá-Galván *et al.*, 2018). Los índices de producción son indicadores directos de la eficiencia del sistema. Es importante relacionar los porcentajes de estos indicadores con el comportamiento y características de las razas utilizadas (Mejía-Baustista *et al.*, 2010).

Toda actividad sostenible, debe incluir un equilibrio entre los tres pilares de la sostenibilidad: social, ambiental y económica (Tedeschi & Beauchemin, 2023). En los sistemas de producción sustentados bajo pastoreo extensivo, es de vital importancia implementar actividades de manejo para la conservación de los recursos naturales con el fin de asegurar



la sostenibilidad de todo el sistema. El diseño de estrategias de mejoramiento implica tanto la selección de animales como identificar el mejor momento para el apareamiento (Phocas *et al.*, 2016). Potreros mejor conservados, con altos índices de producción de materia seca, una carga animal calculada correctamente y razas de animales seleccionadas por sus habilidades y hábitos de pastoreo, así como características fenotípicas de adaptación a las condicionantes climáticas y topográficas presentes, garantizan la disponibilidad de alimento y uso del mismo a lo largo del año para cubrir las necesidades nutricionales básicas para el mantenimiento y desarrollo del hato, disminuyendo los costos de suplementación nutricional y los impactos negativos sobre los recursos naturales.

Retos Actuales que Enfrenta la Ganadería

A inicios del siglo XIX, la humanidad presencié grandes desarrollos en los campos de la ciencia y la tecnología (Mitra *et al.*, 2019). Comenzó un proceso de revolución industrial, la migración de miles de personas del campo hacia la ciudad, y la evolución de la ganadería de autoconsumo a la industrialización (de los Reyes-Patiño, 2018). Después de 1948 y hacia 1954 se generó un aumento del 34 % en la producción de carne en comparación a la preguerra (FAO, 1955).

El cambio climático en la actualidad es un reto global con influencia en varios componentes ecológicos, ambientales, sociopolíticos y socioeconómicos (Abbass *et al.*, 2022). La duración, frecuencia y magnitud de algunos eventos climáticos como sequías, tormentas, incendios forestales, y olas de calor, han afectado el suministro de agua, lo que



impacta en la agricultura, reduciendo el rendimiento y calidad de los cultivos y, por lo tanto, el precio de los mismos (Weiskopf *et al.*, 2020; Godde *et al.*, 2021).

El manejo inapropiado y no sustentable de la ganadería ha contribuido a la degradación del medio ambiente, pérdida de biodiversidad, enfermedades zoonóticas emergentes, contaminación del agua y emisión de gases de efecto invernadero (Duval *et al.*, 2021; Alders *et al.*, 2021). El reto de la ganadería actual es encontrar soluciones sustentables que permitan aumentar la producción para abastecer la alta demanda, disminuyendo al mínimo el impacto negativo en el ambiente y que sea rentable para los ganaderos (Cheng *et al.*, 2022).

La zona térmica de confort es aquella en la cual los animales presentan un desempeño biológico óptimo; cuando las condiciones térmicas están fuera de ésta zona, se requiere un gasto energético más alto para mantener la termorregulación y el proceso de producción se vuelve menos efectivo (Rashamol *et al.*, 2018; Cheng *et al.*, 2022). La vulnerabilidad al estrés térmico varía según la especie, raza, potencial genético y estado nutricional, siendo los animales con altas demandas energéticas los más susceptibles (Godde *et al.*, 2021). El aumento en las temperaturas incrementa el consumo de agua por animal. La competencia por agua entre el ganado, los cultivos y los usos no agropecuarios se incrementará en las próximas décadas (Cheng *et al.*, 2022). Los modelos de cambio climático prevén un aumento promedio de 2.6 a 4.8 °C en la temperatura global hacia el año 2100 (Silpa *et al.*, 2021).



La adecuada nutrición de los animales es crítica para la ganancia de peso y reproducción. La alimentación del ganado se compone principalmente de forrajes y el cultivo de cereales, productos que se ven afectados por las variaciones en el clima y el suministro de agua. La disponibilidad de pastizales sufre grandes fluctuaciones en cuanto a la composición, patrones y distribución de la biomasa (Godde *et al.*, 2020; Cheng *et al.*, 2022;). La variabilidad en la calidad y disponibilidad de los forrajes afecta directamente a los sistemas de producción (Rashamol *et al.*, 2018; Rovelli *et al.*, 2020). La reducción en el consumo de alimentos es una respuesta fisiológica a las altas temperaturas ambientales, afectando la reproducción y susceptibilidad a enfermedades (Godde *et al.*, 2021). En las hembras, genera una reducción en la fertilidad debido a supresión del crecimiento folicular y disminución en producción de estradiol y receptores de LH. En machos, disminuye la calidad del semen y la cantidad de espermatozoides fértiles (Rashamol *et al.*, 2018; Cheng *et al.*, 2022).

Aun con todos los retos antes mencionados, un sistema de producción bien manejado puede ayudar a aumentar la cubierta vegetal y la biodiversidad de la tierra; la ganadería sustentable puede ser rentable con el correcto equilibrio entre árboles, pastizales, el uso de animales adaptados a las condiciones climáticas y una correcta carga animal (Alders *et al.*, 2021).

Animales Adaptados para Sistemas de Producción Sustentable

El antecesor salvaje del bovino fue adaptándose gracias a la domesticación hasta depender totalmente del cuidado humano (Passamonti *et al.*, 2021). La variación genética entre las razas de ganado ha sido



influenciada por la domesticación, adaptación al entorno y selección artificial. Según la FAO (2015), el 13 % de las razas bovinas están extintas y el 12 % de las persistentes está en peligro de extinción (Strandén *et al.*, 2022).

Las respuestas de un animal al cambio climático varían dependiendo de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptabilidad. Los animales desarrollan mecanismos de adaptación que consumen altas cantidades de energía (Silpa *et al.*, 2021), alterando su comportamiento, morfología y fisiología (Rashamol *et al.*, 2018; Strandén *et al.*, 2022). Algunas respuestas incluyen búsqueda de sombra y alimento, aumento en el consumo de agua, cambio o disminución en los patrones de alimentación, cambios en frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y ciclo circadiano (Rashamol *et al.*, 2018; Weiskopf *et al.*, 2020).

La resiliencia se refiere al grado de cambio que puede experimentar un sistema, y al mismo tiempo conservar su estructura y funcionalidad (Rashamol *et al.*, 2018; Silpa *et al.*, 2021). Algunos mecanismos de resiliencia en animales incluyen la plasticidad fenotípica, que es la habilidad de un genotipo de mostrar diferentes fenotipos de hábitos de comportamiento de acuerdo con la presión ambiental (Rovelli *et al.*, 2020). El mantenimiento de razas autóctonas enriquece las opciones para adaptar las razas o sus cruza a los distintos entornos (Strandén *et al.*, 2022), por lo que son un recurso invaluable para la investigación y el mejoramiento animal (Passamonti *et al.*, 2021), ya que tienen mayor resiliencia en comparación a razas puras especializadas generadas a partir de la selección humana (Rashamol *et al.*, 2018).



La adaptación a las condiciones ambientales es crucial para la supervivencia, pero puede afectar de manera negativa la productividad y rentabilidad de los sistemas de producción (Passamonti *et al.*, 2021). Los rasgos que deben tomarse en cuenta para controlar el impacto de la producción ganadera y su adaptación al cambio climático incluyen la eficiencia alimentaria, fertilidad, resistencia a enfermedades y tolerancia al calor u otras condiciones climáticas extremas (Strandén *et al.*, 2022). De todas las variables climáticas, la temperatura ambiental parece tener un rol crítico por su influencia negativa en la productividad del ganado (Rashamol *et al.*, 2018).

En el futuro, el aumento en los costos de producción de cereales llevará al uso de pastos de menor calidad para la alimentación del ganado, cambiando los objetivos actuales de la selección de animales (Strandén *et al.*, 2022). Abordar la adaptación del ganado mediante la cría de animales que sean más tolerantes a condiciones extremas es la solución más sostenible (Passamonti *et al.*, 2021). Los objetivos de selección racial deben considerar mayores temperaturas, disponibilidad de alimentos de menor calidad nutricional y aumento de enfermedades, utilizando razas mejor adaptadas para enfrentar estos problemas (Rovelli *et al.*, 2020).

Este enfoque facilita una respuesta rápida al cambio climático, aunque no es ideal, ya que las razas más tolerantes generalmente tienen una productividad más baja (Passamonti *et al.*, 2021). La cruce entre razas altamente productivas y tolerantes es un método que se utiliza actualmente. La selección de estas poblaciones cruzadas ha producido razas estables



que muestran buena productividad y adaptación, como el Brangus de E.U.A. y el Droughtmaster australiano (Passamonti *et al.*, 2021).

Ganado Criollo Rarámuri

Los bovinos criollos descienden de los primeros *Bos taurus* que se introdujeron al continente americano en 1493 por los exploradores europeos (Estell, 2021). Arribaron a México a través de lo que hoy son los estados de Veracruz, Tamaulipas y Tabasco en 1521 (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019; Armstrong *et al.*, 2022).

En 2002, un reporte generado por la FAO y SAGARPA sobre los recursos zoogenéticos en México, enlistó cinco biotipos de ganado Criollo en el país (Armstrong *et al.*, 2022). Según el INEGI, en su inventario bovino nacional del año 2017, solo el 16.3 % de los bovinos en México eran criollos y regularmente se asociaban a poblaciones rurales de bajos recursos (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019).

En el estado de Chihuahua, el ganado criollo fue introducido en Santa Bárbara y el Valle de Allende, por misioneros jesuitas para las comunidades indígenas de la sierra Tarahumara, en el año 1572 y 1627, respectivamente (Anderson *et al.*, 2015). De esta manera, el biotipo Criollo Rarámuri (CR) ha pasado por más de 500 años de crianza y adaptación a las agrestes condiciones de la Sierra Tarahumara, en el estado de Chihuahua, México. Debido a la ubicación de las remotas y pequeñas comunidades indígenas que los crían, ha sufrido una mínima influencia genética de otras razas introducidas al país (Spiegel *et al.*, 2020). Gracias a esto, se les ha clasificado como ganado de herencia o ganado tradicional,



que guarda las características fisiológicas generadas a lo largo de cientos de años de adaptación, representando un importante recurso zoogenético que debe ser protegido (McIntosh *et al.*, 2020).

El criollo es una raza que durante el último siglo ha sido desplazada de los ecosistemas de pastizal por el uso de razas europeas con características cárnicas más deseables, por lo que ha tenido que adaptarse a ambientes más hostiles como matorrales de desierto, bosques de pino-encino en montañas de gran altitud y pendientes muy pronunciadas (Márquez-Godoy, 2024), lo que lo ha sometido a una rigurosa selección natural de adaptabilidad.

En un esfuerzo por incentivar la conservación y mejora de los bovinos Criollos en México, la asociación Mexicana de Criadores de Ganado Criollo Mexicano (ASOCRIOLLO) desarrolló lineamientos sobre los requerimientos fenotípicos para el registro de ganado Criollo basado en estudios de caracterización de la raza (Armstrong *et al.*, 2022 Hernández Sandoval, 2012). Algunos informes revelan que los ejemplares puros y caracterizados de estas razas se encuentran en peligro de extinción, debido a su cruzamiento indiscriminado con razas especializadas en producción (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2019).

Algunas investigaciones recientes (Nyamuryekung'e *et al.*, 2021; Nyamuryekung'e *et al.*, 2022); han demostrado que el ganado Criollo Rarámuri (CR) experimenta un menor nivel de estrés calórico durante los secos y cálidos veranos. Además, pueden alcanzar su peso máximo alimentándose de forrajes y arbustos de baja calidad nutricional,



presentando una canal con la misma calidad que las razas europeas especializadas (Spiegel *et al.*, 2020; McIntosh *et al.*, 2021). Se caracterizan por viajar largas distancias, a mayor velocidad, explorando áreas con mayor elevación y pendiente, una alta densidad de vegetación, diferentes temperaturas y más alejado de los cuerpos de agua (Peinetti *et al.*, 2011; Spiegel *et al.*, 2019; Nyamuryekung'e *et al.*, 2022; Roacho-Estrada *et al.*, 2023). En un estudio realizado en 2021, se encontró que el ganado CR es capaz de explorar diariamente un área tres veces más grande al pastar (152.30 ha vs. 57.69 ha) que su contraparte AH (Nyamuryekung'e *et al.*, 2021). Cuentan con agilidad, buen instinto materno, alta fertilidad y longevidad. Su temperamento suave facilita su manejo y su hábito de recorrer grandes distancias diarias al pastar, genera un menor impacto sobre el suelo y la vegetación, con capacidad de ajustarse a los cambios estacionales con un aumento del 20 % en distancia recorrida y 25 % de esfuerzo al pastar en comparación a razas especializadas (Estell, 2021; Cibils *et al.*, 2023). Pueden llegar a reproducirse hasta los 22 años de edad y son precoces (presentan la pubertad 13 días antes en promedio) en comparación a las razas europeas (Anderson *et al.*, 2015; Estell, 2021).

El ganado CR presenta un estilo de crianza distinto al de otras razas, ya que el becerro sigue a su madre en todo momento, viajando largas distancias en busca de agua y alimento. Esto genera una mayor evasión de depredadores, por lo tanto, un índice de supervivencia más alto; también influye en el desarrollo social y patrones de pastoreo, lo cual se traduce en la resistencia e independencia que caracteriza al animal adulto (Nyamuryekung'e *et al.*, 2020; Nyamuryekung'e *et al.*, 2021). Los costos de



producción de este ganado suelen ser más bajos, ya que, requieren una menor cantidad de alimento, suplementos y agua debido a su talla pequeña, reflejándose en ganancias netas más altas (Torell, 2023).

Debido a sus características de resistencia y rusticidad, es una raza que se puede utilizar como recurso zoogenético para la mejora de razas especializadas utilizadas convencionalmente para la producción de carne, principalmente en zonas de clima árido, montañas con altas pendientes, altas temperaturas y escasos recursos hídricos (Estell, 2021).

Por estas razones, el ganado Criollo Rarámuri constituye un valioso recurso zoogenético con alto potencial. Su desarrollo en aislamiento dentro de las montañas de la Sierra Tarahumara lo convierte en uno de los biotipos más puros que aún se preservan en México. Es fundamental caracterizar esta raza y evaluar su contribución potencial al sistema vaca-becerro en el estado de Chihuahua, así como en regiones con condiciones similares en otras partes del país.



MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

El estudio se realizó en el rancho experimental Teseachi, propiedad de la Universidad Autónoma de Chihuahua y ubicado en la región Este de la Sierra Madre Occidental a 28° 48' latitud norte y 107° 25' longitud oeste en el municipio de Namiquipa, Chihuahua (Roacho-Estrada *et al.*, 2023). El rancho tiene una superficie total de 12,300 ha de pastizales montañosos que se divide en 15 secciones diferentes (Ochoa-García *et al.*, 2019); donde la altitud varía entre 2058 y 2640 m y la topografía dominante se caracteriza por pendientes ligeras a empinadas que van del 1 al 89%.

El área de estudio abarca parte de la superficie de las secciones: “Las Lajas” y “La Selva” (Figura 1). Se ubica en la parte más montañosa, al Oeste del rancho (Figura 2a). Cuenta con una superficie de 1,937.96 ha, y se dividió en seis potreros numerados del 1 al 6 (Figura 2b), procurando que en promedio las características fisiográficas fueran lo más parecido posible entre potreros, aunque en términos de dimensiones, hay una variación acentuada entre algunos de ellos debido a dificultades en los trazos de los cercos (Cuadro 1). Los potreros, cuya área fue determinada de acuerdo a las características del terreno, fueron delimitados por cercos de alambre. Dentro de ellos la carga animal fue calculada anualmente con un uso del 50% del forraje disponible de las especies clave en 2022 y 2023, y el nivel de uso se incrementó al 60% en 2024 debido a la intensificación de la sequía a partir del 2023. La cantidad de materia seca disponible se determinó durante el mes de octubre y la carga animal fue ajustada durante el mes de marzo.

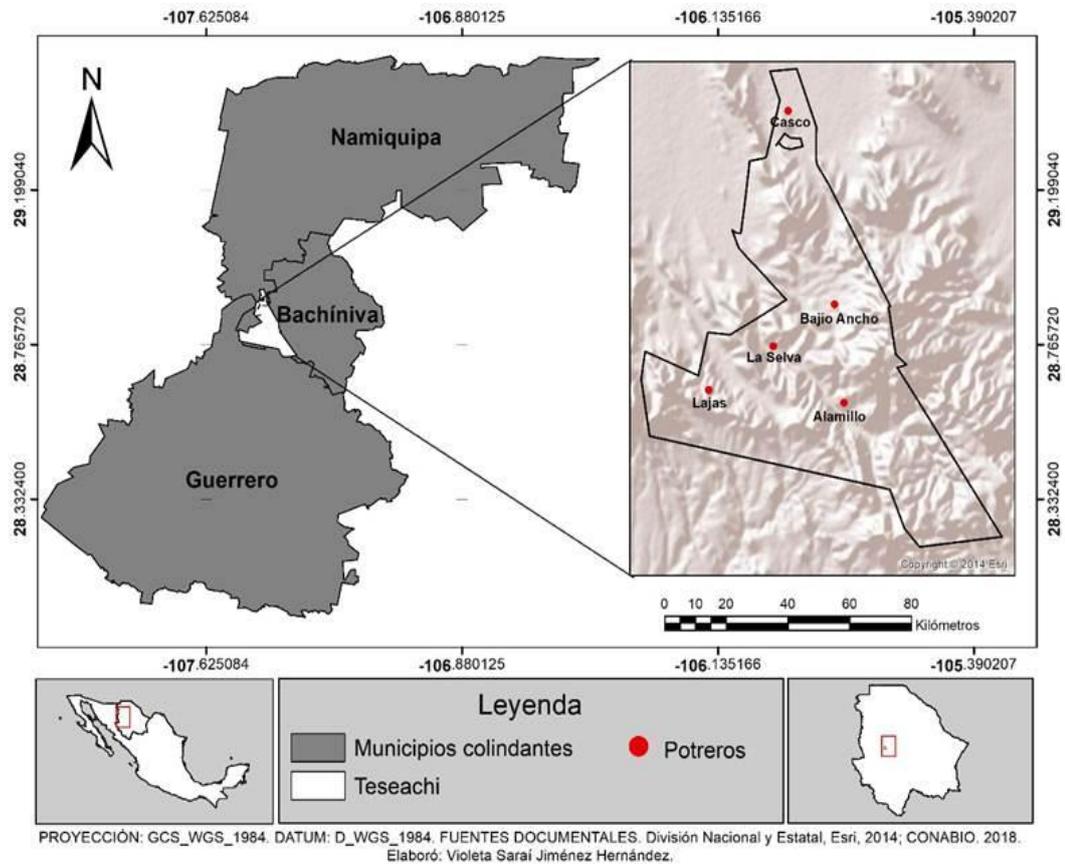


Figura 1. Ubicación geográfica del Rancho Experimental Teseachi y sus potreros más importantes (Ochoa-García *et al.*, 2019).

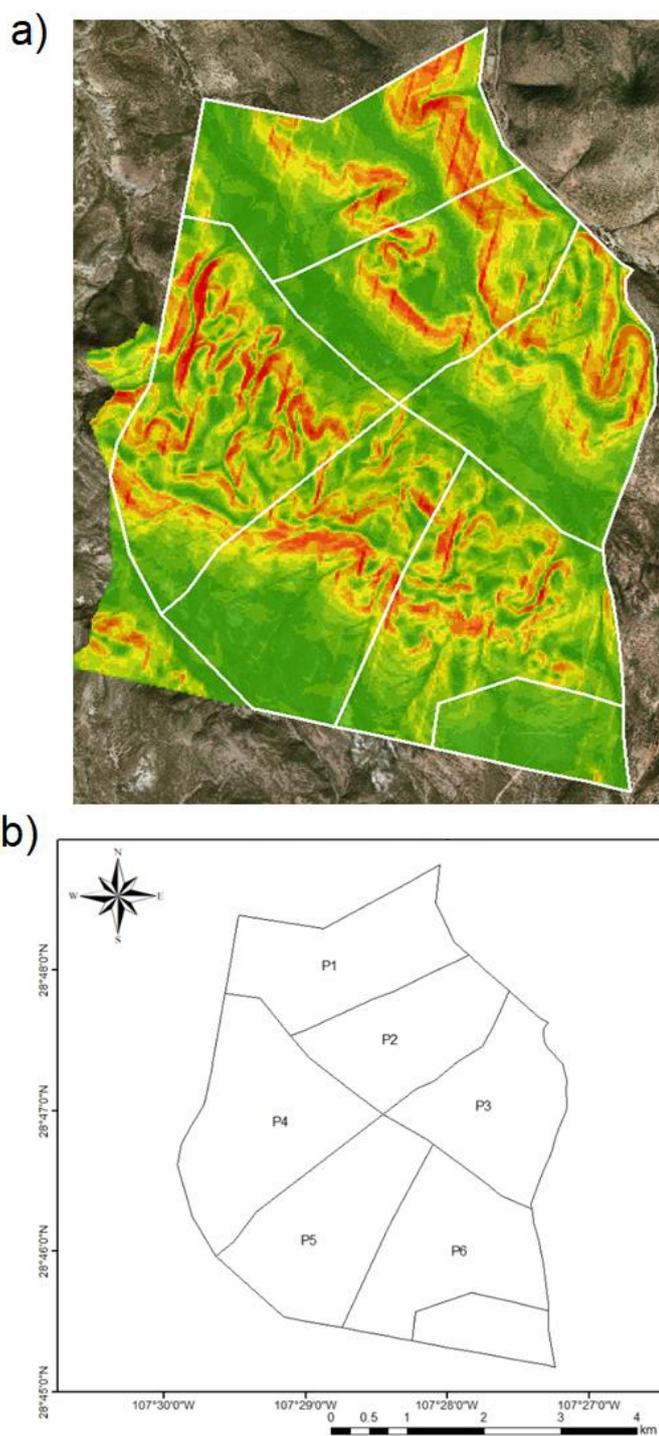


Figura 2. a) Modelo digital de elevación en la zona de estudio y b) Distribución de los potreros de estudio.



Cuadro 1. Características de distribución, pendiente y altitud de los potreros de estudio

Potrero	Área (ha)	%	Pendiente (%)			Altitud (m)		
			Min	Max	Prom	Min	Max	Prom
1	311.23	16.06	0	39.41	12.33	2063	2289	2160
2	263.07	13.57	0	43.59	12.58	2068	2300	2179
3	296.14	15.28	0	37.53	12.10	2078	2301	2190
4	399.69	20.62	0	48.32	15.32	2109	2380	2238
5	342.55	17.68	0	45.53	11.14	2148	2400	2238
6	325.27	16.78	0	44.65	13.21	2139	2369	2242
Total	1,937.96	100.0						

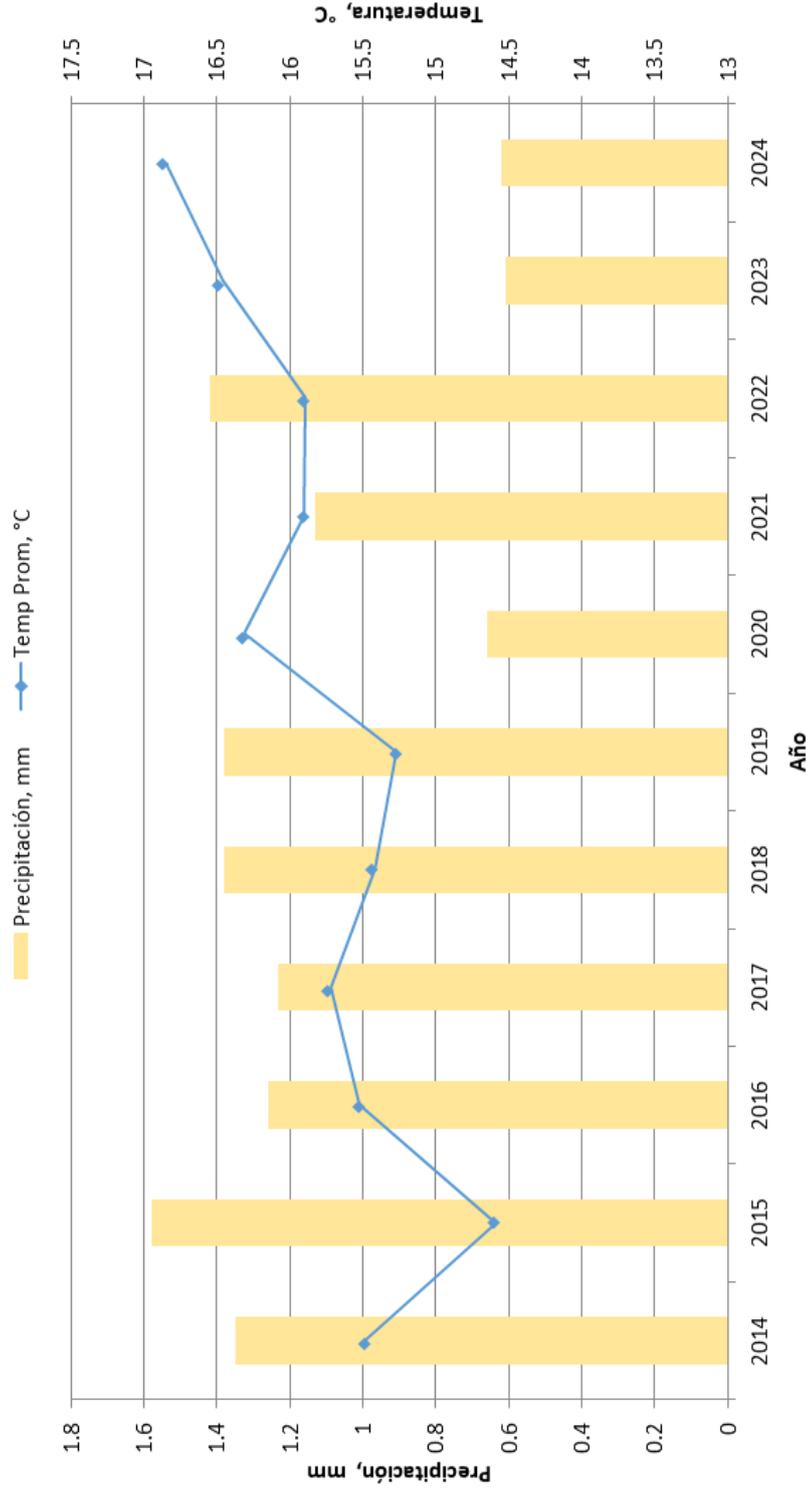


El clima es de tipo seco-árido, los inviernos son fríos y los veranos calientes con temperaturas nocturnas bajas, en los últimos años se ha visto una tendencia al aumento de la temperatura media y disminución en las precipitaciones (Gráfica1). Los periodos de sequía son largos y bien marcados, la temporada de lluvias concentra en los meses de verano, principalmente julio y agosto (Gráfica 2). El mes de enero es el más frío y el mes de julio el más cálido, su temperatura media fue 7.14°C y 23.15°C. La precipitación media anual fue de 419.75mm en los últimos 10 años y 322 mm durante los tres años de estudio (NASA., 2025).

La vegetación es variada, en las partes altas predominan las especies de pino (*Pinus cembroides* y *P. arizonica*), en las partes medias las especies de encino (*Quercus oblongifolia* y *Q. arizonica*), y en las partes bajas gramma azul (*Bouteloua gracilis*) y banderita (*Bouteloua curtipendula*) (Ramos-Castillo, 2021; Roacho-Estrada *et al.*, 2023; Márquez-Godoy, 2024).

Características de los Animales Utilizados en el Estudio

Se utilizaron grupos fenotípicamente divergentes de ganado Criollo Rarámuri (CR), Criollo x Angus (AC) y la cruce de razas comerciales de origen británico Hereford x Angus (HA). Estos animales han sido criados y desarrollados en el rancho Teseachi por más de 20 años, por lo que están adaptados a las condiciones ambientales de la zona. El ganado CR utilizado en el rancho, fue introducido de las regiones frescas y húmedas en la alta Sierra Tarahumara de los municipios de Urique y Bocoyna, hace más de 20 años. Desde entonces éstos ejemplares y su progenie se han utilizado para estudiar sus características y eventualmente se ha realizado



Gráfica 1. Niveles de precipitaciones y temperaturas medias anuales a través de 10 años en el sitio de estudio.

Fuente: NASA., 2025 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/index.html>), consultado y descargado 7 de

Marzo de 2025.



inseminación artificial con semen de Angus y Hereford proveniente de compañías comerciales de E.U.A. y Canadá. Los animales seleccionados fueron hembras fértiles de entre 3 y 16 años de edad y sementales de entre 2 y 6 años, las características generales de las hembras son expuestas en el Cuadro 2.

Diseño del Experimento

El diseño experimental corresponde a bloques al azar. Cada grupo racial se asignó aleatoriamente a uno de los tres potreros de las dos franjas con exposición de ladera con orientación dominante norte o sur. Los potreros del 1 al 3 en la exposición dominante norte y los potreros del 4 al 6 en la sur. En el Cuadro 3 se muestra la distribución de los grupos raciales en los diferentes potreros. Los grupos raciales en estudio se encontraban pastando de forma simultánea.

Manejo de los Animales

Este estudio se realizó dentro de un proyecto que busca evaluar el impacto del pastoreo en los recursos a lo largo de diez años, manejando la dupla vaca-becerro como unidad de producción; por lo tanto, fue necesario empezar cada ciclo con vacas gestantes, incorporando vacas gestantes provenientes de otros potreros del rancho, para sustituir a aquellas que no estuvieran gestantes al final del ciclo. Es por ésta misma razón que el tiempo de los empadres durante el primer ciclo estuvo desfasado, ya que en el grupo CR, el tiempo de empadre manejado previamente era más temprano.

Durante el primer año de estudio se ofreció suplementación



Cuadro 2. Medias \pm EE del peso vivo, altura al anca y rango de edad de las vacas utilizadas por raza y año

Año	Raza ^a	Vacas					
		n	Peso Vivo, kg	Altura, cm	Edad Mínima	Edad Máxima	Edad Promedio
2022	AC	36	346.3 \pm 5.87	123.7 \pm 0.89	3	11	6.3
	CR	56	436.8 \pm 6.93	122.4 \pm 0.81	3	16	7.3
	HA	39	464.5 \pm 6.79	122.7 \pm 0.97	3	11	6.5
2023	AC	47	307.6 \pm 6.32	126.5 \pm 1.37	3	10	5.7
	CR	47	377.6 \pm 5.96	127.5 \pm 0.71	3	14	6.2
	HA	37	385.9 \pm 6.64	125.5 \pm 0.74	3	12	6.1
2024	AC	34	344.6 \pm 7.79	124.5 \pm 0.99	4	11	7.3
	CR	30	437.2 \pm 6.81	125.5 \pm 0.91	4	12	6.6
	HA	32	448.2 \pm 7.06	124.0 \pm 0.97	4	12	7.0

^aCR = Criollo; AC = Angus x Criollo; HA = Hereford x Angus.



Cuadro 3. Razas y carga animal asignada a cada potrero con base en kilogramos de materia seca disponible por hectárea

Potrero	Raza ¹	2022		2023		2024	
		Kg MS Ha ^a	UA Ha ^b (50%)	Kg MS Ha	UA Ha (50%)	Kg MS Ha	UA Ha (60%)
1	AC	751	15	690	22	432	16
2	CR	700	30	626	21	345	16
3	HA	668	20	1027	21	518	19
4	CR	644	26	511	26	200	14
5	HA	500	23	446	16	300	13
6	AC	653	25	672	25	452	18

Fuente: Morales-Nieto & Álvarez-Holguín (2024). Comunicación personal.

¹ AC= Angus x Criollo; CR= Criollo Rarámuri; HA= Hereford x Angus

^a Kg MS Ha = Kilogramos de Materia Seca por Hectárea;

^b UA Ha (50%) = Número de Unidades Animales por Hectárea, calculado al 50%; UA Ha (60%) = Número de Unidades Animales por Hectárea, calculado al 60%.



alimenticia únicamente durante el mes de mayo. Después de evaluar a los animales, se decidió agregar suplementación alimenticia ajustada a los requerimientos nutricionales a partir del año 2023, en forma de bloques utilizando una mezcla de maíz, minerales, sal y urea (Cuadro 4).

El empadre se realizó por monta natural en los tres grupos raciales de mediados de septiembre a mediados de noviembre en cada año. Las vacas CR se cruzaron con toros CR, mientras que las vacas AC y HA se cruzaron con toros Angus. El diagnóstico de gestación mediante palpación rectal y ultrasonografía transrectal se efectuó durante el mes de enero de los años 2023, 2024 y 2025.

En las hembras, se realizó una única medición anual de la altura, utilizando una regla métrica desde el suelo hasta la punta de la cadera en el mes de Abril; así como pesaje una vez al mes, de abril a Septiembre de cada año, utilizando una báscula para ganado electrónica y se evaluó la condición corporal de manera visual, basándonos en la escala de Herd y Sprott (Rodríguez-Carreón *et al.*, 1994).

Después del parto, se pesaron los becerros al nacimiento, durante el año 2022 se realizaron otros dos pesajes para ellos, uno en el mes de agosto y otro en el mes de octubre. Durante los años 2023 y 2024 se programaron pesajes para los becerros durante la lactancia en los meses de julio, agosto y septiembre.

La producción láctea de las hembras se calculó durante los meses de junio, julio y agosto. Los becerros fueron separados de su madre aproximadamente a las 5:00 p.m. del día previo al manejo. Para el cálculo de



Cuadro 4. Composición de la dieta y consumo diario de alimento previsto por animal en cada potrero del área de estudio

Dieta		Consumo de Suplemento	
MS, %	Ingrediente	Potrero	Consumo esperado por animal (g/día)
25	Maíz	1	320 g
12	Minerales	2	100 g
58	Sal	3	360 g
5	Urea	4	95 g
100%	Total	5	355 g
		6	340 g

Fuente: Villareal-Balderrama (2023). Comunicación personal.

Nota: La suplementación se ofreció en presentación de bloques nutricionales con consistencia determinada para el consumo diario esperado.



la producción de leche el día siguiente, las crías fueron pesadas antes y después de tener libre acceso al amamantamiento por la madre. Se retiraban de la madre una vez que perdían el interés o que se apreciaba que ya no estaban logrando succionar más leche. El cálculo de la leche extraída se obtuvo por la diferencia del peso después del amamantamiento menos el peso obtenido previo al amamantamiento. Este procedimiento se realizó dos veces en un mismo día, por la mañana y por la tarde, con una separación de 8 h entre cada una. La producción estimada de leche en 24 h se obtuvo con la suma de los dos cálculos antes mencionados.

El pesaje de los becerros al destete se realizó durante el mes de enero del año subsecuente a cada ciclo productivo en los tres años de estudio.

Información Climatológica Durante el Periodo de Estudio

Para la recolección de los registros climáticos en la zona de estudio durante el periodo correspondiente, se utilizaron datos satelitales proporcionados por la plataforma NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources); una herramienta desarrollada por la Administración Nacional Aeronáutica y el Espacio (NASA), agencia del gobierno estadounidense responsable de las investigaciones aeronáutica y aeroespacial. Esta plataforma permite el acceso a datos meteorológicos y de recursos energéticos derivados de mediciones satelitales.

A través del visor de acceso a datos (POWER Data Access Viewer), se extrajeron series temporales de datos sobre las temperaturas Máxima, Mínima y Media del aire (°C), humedad relativa (%) y precipitaciones (mm) correspondientes a las coordenadas geográficas del sitio de estudio, para la



caracterización del sitio de estudio y su relación con los resultados obtenidos. El intervalo de fechas revisado abarcó desde el 1 de enero del 2022 hasta el 31 de diciembre del 2024, la información fue consultada y descargada en febrero y marzo del año 2025.

Análisis Remoto de Cobertura Vegetal

Con el objetivo de obtener información sobre la disponibilidad de alimento para los animales del estudio y su relación con las precipitaciones anuales, se analizó la cobertura vegetal del área de estudio, mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE), una herramienta de procesamiento geoespacial desarrollada por Google. Utilizando un script en lenguaje JavaScript, se accedió a imágenes satelitales del sensor Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Instrument) para extraer datos del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI). Este índice es un indicador ampliamente utilizado en estudios de vegetación, es calculado a partir de la relación entre la luz reflejada por la superficie terrestre en dos regiones del espectro electromagnético, luz roja e infrarroja, indicando cantidad o densidad de plantas verdes (INEGI., 2023), sus valores oscilan entre -1 y 1, los valores cercanos a 1 indican una mayor densidad vegetal.

Se procesaron imágenes de la cobertura vegetal mensual correspondientes al periodo comprendido del 1 de enero del 2022 al 31 de diciembre del 2024. Los valores extraídos fueron organizados en una base de datos para su posterior análisis y relación con los parámetros climáticos registrados en la zona.



Variables Evaluadas

Las variables evaluadas durante el estudio se agruparon en aquellas relacionadas con el **crecimiento predestete de las crías**: peso al nacimiento, peso al destete, ganancia diaria de peso y peso ajustado a los 190 d de edad; y las relacionadas con el **estatus de la condición corporal y el desempeño productivo de la vaca**: condición corporal alrededor del parto, condición corporal al inicio del empadre, la producción de leche y tasa de gestación. La condición corporal alrededor del parto (CCp) se evaluó tomando la CC registrada más cercana a la fecha de parto, ya sea antes o después.

Análisis Estadísticos

Los datos para las variables continuas con distribución normal se analizaron mediante un análisis de varianza con PROC MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), para lo cual se ajustó un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de raza (AC, CR y HA); el año de parto (2022, 2023 y 2024); cuando aplica, el sexo de las crías (M y H); la categoría de la edad de la madre (Mediana, menor a 6 años; y Adulta, 6 años o más), la fecha juliana de parto como covariable, y las interacciones dobles significativas. Como efectos aleatorios se incluyeron el bloque, caracterizado por la exposición dominante de ladera (norte y sur), la interacción de raza por bloque, que corresponde al potrero o unidad experimental, y la vaca dentro de raza, para tomar en cuenta las mediciones repetidas en vacas que estuvieron presentes en más de un año (94% para el caso de AC, 71% para CR y 33% para HA). Se construyeron contrastes específicos para evaluar



comparaciones entre grupos raciales dentro de cada año del estudio. En particular, se comparó el promedio de AC y HA frente a CR, así como la diferencia directa entre HA y AC, en cada uno de los años 2022, 2023 y 2024. Además, se formularon estimaciones de interacción para analizar si estas diferencias entre razas cambiaron significativamente entre años consecutivos, para identificar variaciones interanuales en los efectos de los grupos raciales sobre la variable de interés. Para TG se ajustó un modelo logístico con PROC LOGISTIC de SAS, para evaluar los factores que influyen en la probabilidad de quedar gestante. Los factores clasificatorios considerados en el modelo fueron año, raza y categoría de la edad de la madre, además de la interacción raza x año, además, como covariables PV y PrL Se estimaron las *odds ratio* para la cuantificación y determinación del sentido de la asociación entre los factores que resultaron con significancia estadística y la TG, en función de los niveles considerados.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento Pre Destete de las Crías

Para las variables analizadas, relacionadas con el crecimiento pre destete de las crías: peso al nacimiento (PN), peso al destete (PD), peso al destete ajustado a 190 d (PD-190) y ganancia diaria de peso pre destete (GDP), las medias de los cuadrados mínimos por raza de la madre y año se presentan en el Cuadro 5. La interacción raza x año fue importante ($p < 0.05$) para PD y GDP. Como se puede ver en el Cuadro 5, la magnitud de la diferencia entre HA y AC fue menor ($p < 0.05$) para PD y GDP en 2022 (-8.64 ± 5.51 y -0.05 ± 0.02 kg, respectivamente) y 2024 (-1.90 ± 5.32 para PD) que en 2023. Esto sugiere que, aunque en promedio ambas cruzas presentan un desempeño similar, dentro de cada año su desempeño varía con las condiciones anuales, siendo mejor para AC con condiciones más retóricas y mejor para HA cuando las condiciones son más benévolas, ya sea por variaciones ambientales o de manejo. Para el caso de PN y PD-190, los efectos principales de raza y año fueron importantes ($p < 0.05$). Las estimaciones de los contrastes para los efectos principales de raza para PN y PD-190 (Cuadro 5), indican que la diferencias entre los promedios de las crías de las vacas AC y las de las vacas HA no fueron diferentes de cero ($p > 0.05$), pero si para el promedio de esos dos grupos con respecto al de CR ($p < 0.01$; 6.84 ± 0.68 y 35.55 ± 4.17 kg, respectivamente), lo que indica un desempeño mejor para crías de vacas AC y HA que para las de vacas CR, en promedio para los tres años de estudio. Esto es consistente con respecto a la influencia genética de la madre sobre el crecimiento del



Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos y estimaciones para interacciones y efectos principales de las variables pre destete analizadas en los becerros por raza y año

Año	Raza ^a	n	Variables ^b			
			PN, kg	PD, kg	GDP, kg	PD-190, kg
2022	CR	43	24.49±0.78	115.20±3.93	0.48±0.02	115.59±3.95
	AC	36	30.38±0.87	149.40±4.62	0.61±0.02	149.09±4.29
	HA	30	31.29±0.95	139.68±4.36	0.56±0.02	142.03±4.56
2023	CR	37	27.37±0.83	125.04±4.10	0.49±0.02	118.99±4.03
	AC	42	36.21±0.79	159.83±3.92	0.63±0.02	157.00±3.99
	HA	34	35.47±0.84	165.91±4.16	0.67±0.02	160.72±4.33
2024	CR	25	24.90±1.00	114.20±4.73	0.44±0.02	107.62±4.71
	AC	33	29.78±0.87	154.73±4.22	0.64±0.02	148.94±4.40
	HA	30	31.02±0.90	145.53±4.56	0.57±0.02	139.73±4.68
Estimaciones interacción raza x año						
[0.5(AC+HA) - CR] 22 vs 23			-2.10±1.45 ^{n.s.}	-8.64±5.51 [*]	-0.05±0.02 ^{n.s.}	-9.78±5.37 ^{n.s.}
[0.5(AC+HA) - CR] 23 vs 24			2.92±1.45 ^{n.s.}	1.90±5.32 [*]	0.00±0.02 ^{n.s.}	3.16±5.25 ^{n.s.}
HA-AC 22 vs 23			1.75±1.65 ^{n.s.}	-15.5±6.19 [*]	-0.08±0.03 [*]	-11.0±6.29 ^{n.s.}
HA-AC 23 vs 24			-2.13±1.61 ^{n.s.}	15.2±5.93 [*]	0.09±0.03 [*]	12.9±5.92 ^{n.s.}
Estimaciones efectos principales raza						
AC+HA -CR			6.84±0.68 ^{**}	---	---	35.55±4.17 ^{**}
HA-AC			0.52±0.75 ^{n.s.}	---	---	-4.52±4.8 ^{n.s.}

^a CR = Criollo; AC = Angus x Criollo; HA = Hereford x Angus.

^b PN = Peso al nacimiento; PD = Peso al Destete; GDP = Ganancia de peso diaria; PD-190 = Peso al destete ajustado a los 190 d

*, **, n.s. Las estimaciones dentro de filas con superíndices indican que fueron diferentes de cero [* , (p < 0.05); **, (p < 0.01)] o no diferentes (^{n.s.}, p > 0.05).



neonato, documentado por Bonekamb *et al.* (2025), donde se demuestra que vacas más pesadas tienden a dar becerros de mayor peso, y la ausencia de diferencias en PN entre grupos raciales coincide con hallazgos en bovinos de carne donde el peso al nacimiento no se correlaciona con índice de peso al destete (Williams *et al.*, 2018), reforzando que las ventajas adaptativas se manifiestan postnatalmente. CR al ser más ligera, muestra mayor eficiencia relativa (kg ternero/kg vaca), coincidiendo con hallazgos en razas adaptadas como la Nguni (Mpofu *et al.*, 2022). Asimismo, para el caso de los efectos principales observados para el año, se ha documentado que el cambio en los factores ambientales como el estrés y la humedad observados entre años, afectan significativamente la eficiencia al destete en sistemas vaca-becerro (Lepe-Anasagasti *et al.*, 2025), resaltando la importancia de las condiciones ambientales anuales expuesta por Amen (2004) y Reis *et al.* (2023).

La interacción de la fecha juliana al parto x año afectó ($p < 0.05$) el PN, PD y GDP (Cuadro 6). En el caso de PN, el coeficiente de regresión fue mayor ($p < 0.05$) en 2022 (0.17 ± 0.02 kg/d) en comparación a 2023 (0.03 ± 0.02 kg/d) y 2024 (0.04 ± 0.02 kg/d), mientras que no hubo diferencia entre estos últimos ($p > 0.05$), por lo que en 2022 un parto más tardío se asocia a un mayor incremento en PN que en los años posteriores. Esta variabilidad anual coincide con hallazgos en sistemas templados donde vacas que pierden >0.5 puntos de condición corporal (CC) por limitaciones en la disponibilidad de alimento en gestación tardía producen terneros 5-13% más livianos al nacer (Turner *et al.*, 2016). En cuanto al PD, se observó una tendencia similar, en 2022 el coeficiente de regresión fue de 0.33 ± 0.12



Cuadro 6. Estimaciones de los coeficientes de regresión lineal de las variables PN, PD y GDP en la fecha juliana de parto en los tres años de estudio

Año	Variables		
	PN, kg/d	PD, kg/d	GDP, kg/d
2022	0.17±0.02 ^a	0.33±0.12 ^a	0.001±0.0006 ^a
2023	0.03±0.02 ^b	-0.02±0.10 ^b	-0.001±0.0005 ^b
2024	0.04±0.02 ^b	0.00±0.00 ^b	0.000±0.0002 ^{ab}

^{a,b} Los coeficientes de regresión con diferente literal entre años dentro de columna fueron diferentes ($p < 0.05$).

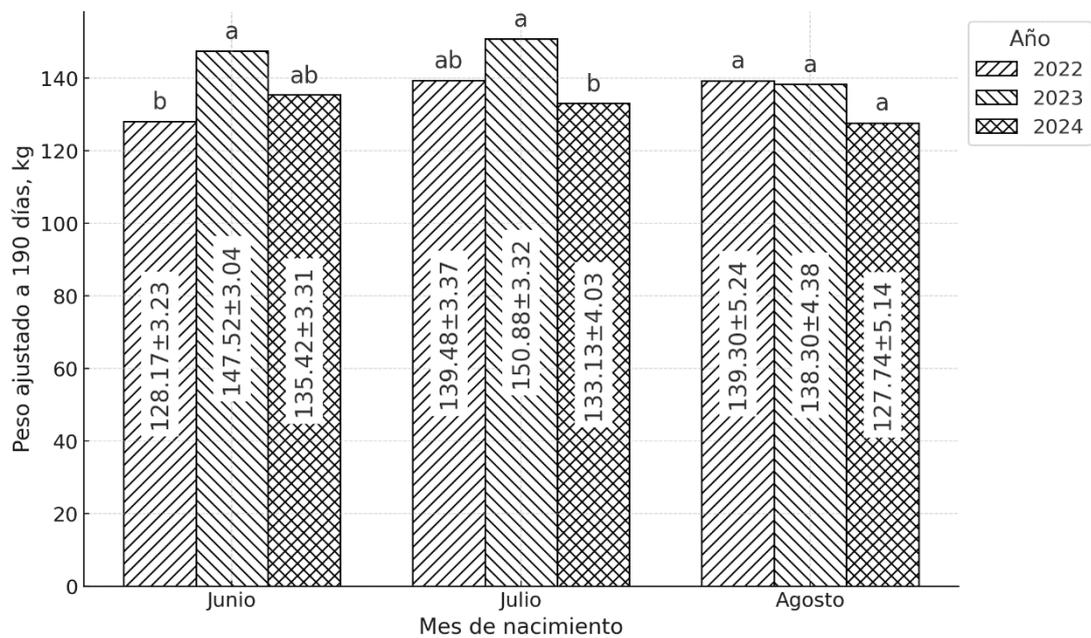


kg/d, mientras que en 2023 y 2024 la relación fue prácticamente nula (-0.02 ± 0.10 y 0.00 ± 0.00 kg/d, respectivamente), lo que indica que en 2022 se tuvo un aumento de PD más elevado por cada día más tarde en la fecha juliana de parto. Lo anterior se debe a la más baja ($p < 0.05$) condición corporal con que llegaron al parto las vacas en ese año CCp (Cuadro 7) en comparación a los otros dos años. Para la GDP los cambios también fueron significativos. En 2022 la pendiente fue positiva (0.001 ± 0.0 kg/d), mientras que en 2023 se volvió negativa (-0.001 ± 0.0 kg/d), y en 2024 fue 0.000 ± 0.0002 kg/d. La diferencia entre 2022 y 2023 fue significativa ($p < 0.05$), sin embargo no lo fue entre 2023 y 2024 ($p > 0.05$). Los resultados reflejan la relación entre el momento del parto y las condiciones climáticas específicas para cada año, como se ha reportado ampliamente en estudios anteriores (Roacho-Estrada *et al.*, 2023; Cibils *et al.*, 2023; Nyamuryekung'e *et al.*, 2022), así como la oportunidad con que se ofreció el suplemento en los años 2023 y 2024, en comparación al 2022.

Ésta interacción de fecha juliana al parto x año no resultó importante ($p > 0.05$) para el PD-190, ya que es un ajuste constante a una edad de 190 d, contabilizada a partir de la fecha juliana al parto ubicada en el año correspondiente. En este caso se optó por sustituir esa covariable, y su interacción con el año, por el mes de nacimiento de la cría y la interacción correspondiente. La interacción de año x mes de nacimiento resultó significativa ($p < 0.05$; Gráfica 3). Las crías nacidas en junio de 2023 presentaron un PD-190 mayor ($p < 0.05$; 147.52 ± 3.04 kg;). En julio, el mayor PD-190 se observó en 2023 (150.88 ± 3.32 kg), siendo superior ($p < 0.05$) al de 2024 (133.13 ± 4.03 kg), pero no a al de 2022 (139.48 ± 3.37 kg).



Gráfica 3. Peso al destete ajustado a los 190 d por mes de nacimiento y año.



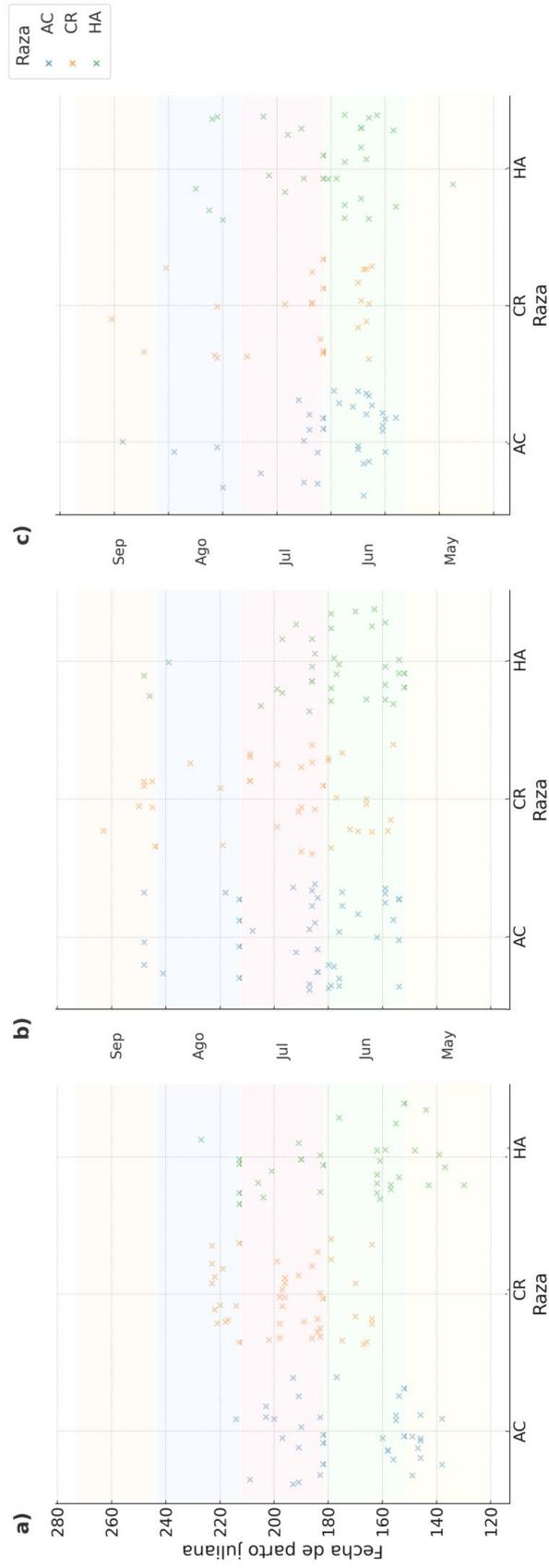
^{a,b} Las letras diferentes sobre las barras dentro del mismo mes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los años.



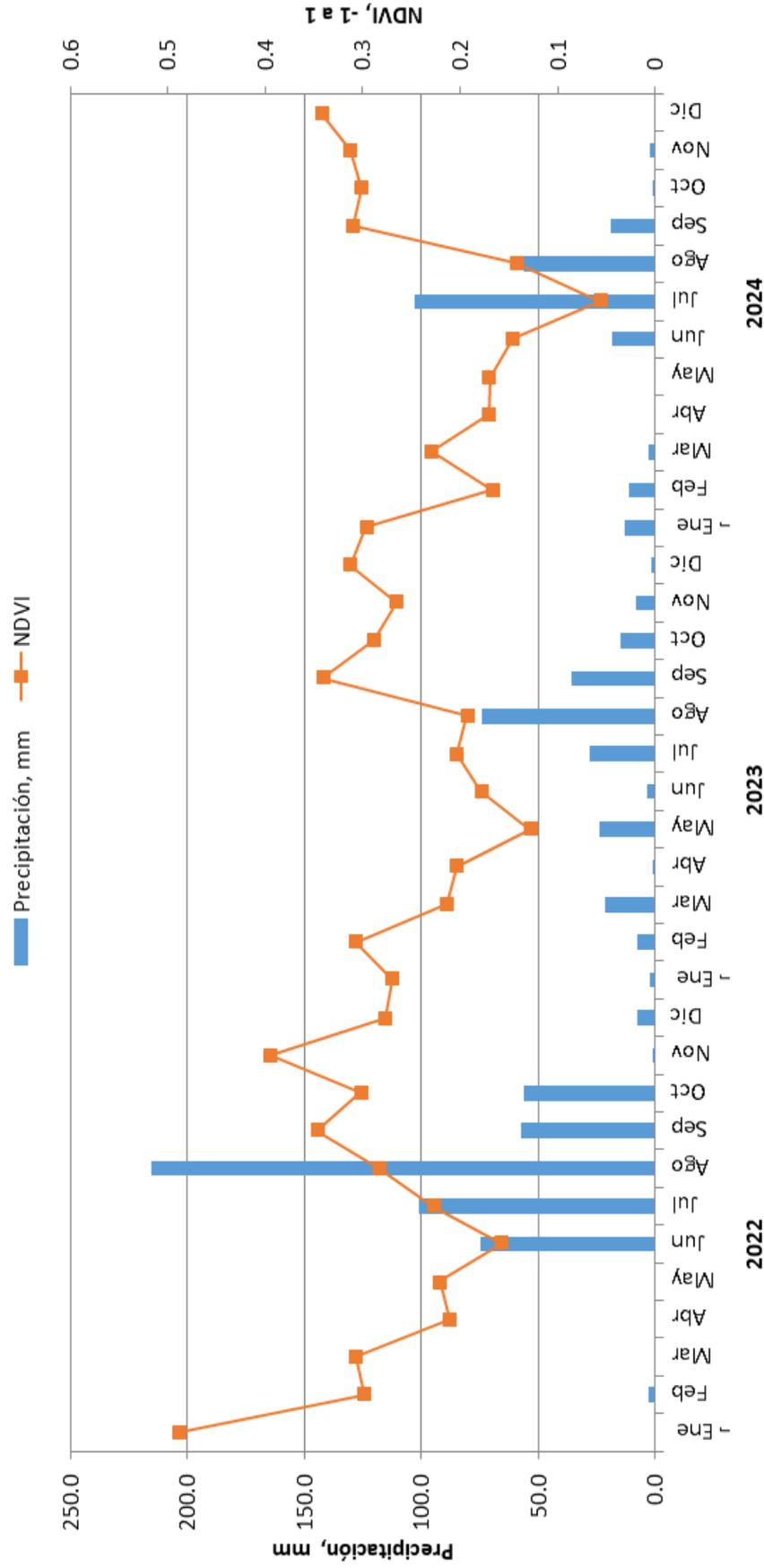
Para el mes de agosto, las medias fueron estadísticamente similares ($p > 0.05$) en los tres años (139.30 ± 5.24 , 138.30 ± 4.38 y 127.74 ± 5.14 kg, respectivamente). El efecto del mes de nacimiento sobre el PD-190 no es consistente entre años, sino que es afectado por factores ambientales y de manejo específicos de cada ciclo. Este hallazgo es consistente con Martínez & Szczurek (2014), quienes documentaron que la variabilidad interanual en la calidad del forraje y estrés térmico puede alterar drásticamente el impacto del mes de parto. Córdova Izquierdo *et al.* (2005) proponen que mejores pesos al destete en ciertas épocas del año pueden deberse a una sincronización entre el pico de lactancia materna y la máxima disponibilidad de pasturas de alta calidad y la ausencia de estrés calórico durante el último tercio de gestación. Las precipitaciones atípicas (sequías, en el caso de nuestro sitio de estudio) y cambios en la suplementación materna podrían explicar esta divergencia, ya que estos factores afectan directamente el estado nutricional de la madre (Bocchi & Albuquerque, 2005).

Las hembras no gestantes se reemplazaron con hembras gestantes provenientes de otros potreros del rancho. Esto influyó en cómo se concentraron los partos durante el ciclo (Gráfica 4), sobre todo en el 2022 con la raza CR, donde los partos comenzaron más tardíos en comparación a AC y HA. En los años subsecuentes el manejo reproductivo estuvo mejor controlado y la mejora en la condición corporal ayudó a aumentar la TG, por lo que menos vacas tuvieron la necesidad de ser suplantadas, permitiendo una mejor homogenización de las fechas de parto.

Los datos expuestos en la Gráfica 5 muestran la variación en precipitaciones y disponibilidad de materia vegetal a lo largo del año en el



Gráfica 4. Distribución de la fecha de parto juliana por grupo racial (AC, Angus x Criollo; CR, Criollo; HA, Hereford x Angus) y año a) 2022; b) 2023; c) 2024.



Gráfica 5. Distribución de precipitaciones e índice de vegetación normalizada (NDVI) mensual a través de los años de estudio.

Fuente: NASA.,2025 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/index.htm>), consultado y descargado 21 de febrero de 2025.



sitio de estudio. El NDVI más alto se presentó en el 2022. Para el segundo año, la importante disminución en las precipitaciones y NDVI se puede ver reflejado en el descenso de los promedios hacia el año 2024, lo que muestra como el momento del parto, al igual que el año, pueden afectar los pesos debido a la disponibilidad y calidad del forraje (Reis *et al.*, 2023; Amen, 2004).

El sexo de las crías no afecta el PN, pero sí en las etapas de desarrollo posteriores ($p < 0.05$), viéndose reflejado en PD-190, PD y GDP. Los machos presentaron valores mayores ($p < 0.05$) que las hembras, con diferencias aproximadamente 9.8 kg para el PD y PD-190, y 0.053 ± 0.01 kg/día ($p < 0.05$) para GDP. La ausencia de efecto del sexo sobre el PN concuerda con lo reportado por Goyache *et al.* (2003) en la raza Asturiana y Córdova Izquierdo *et al.* (2005) en cruza tropicales, fenómeno que se puede atribuir a las restricciones placentarias que homogenizan el desarrollo fetal independientemente del sexo para facilitar el parto. Sin embargo, las diferencias observadas en etapas posnatales (con machos superando a hembras) reflejan la expresión del dimorfismo sexual posnatal, consistente con estudios en bovinos de carne donde esta diferencia oscila entre 8.5 y 10.3 kg para PD y 0.048 y 0.062 kg/día para GDP, respectivamente (Goyache *et al.*, 2001; Martínez & Szczurek, 2014) y se expresa plenamente durante la lactancia debido a diferencias endocrinas y priorización metabólica (Mpofu *et al.*, 2022).

La edad de la madre también resultó estar relacionada a las variables de crecimiento posdestete, posteriores al nacimiento. Las crías de vacas



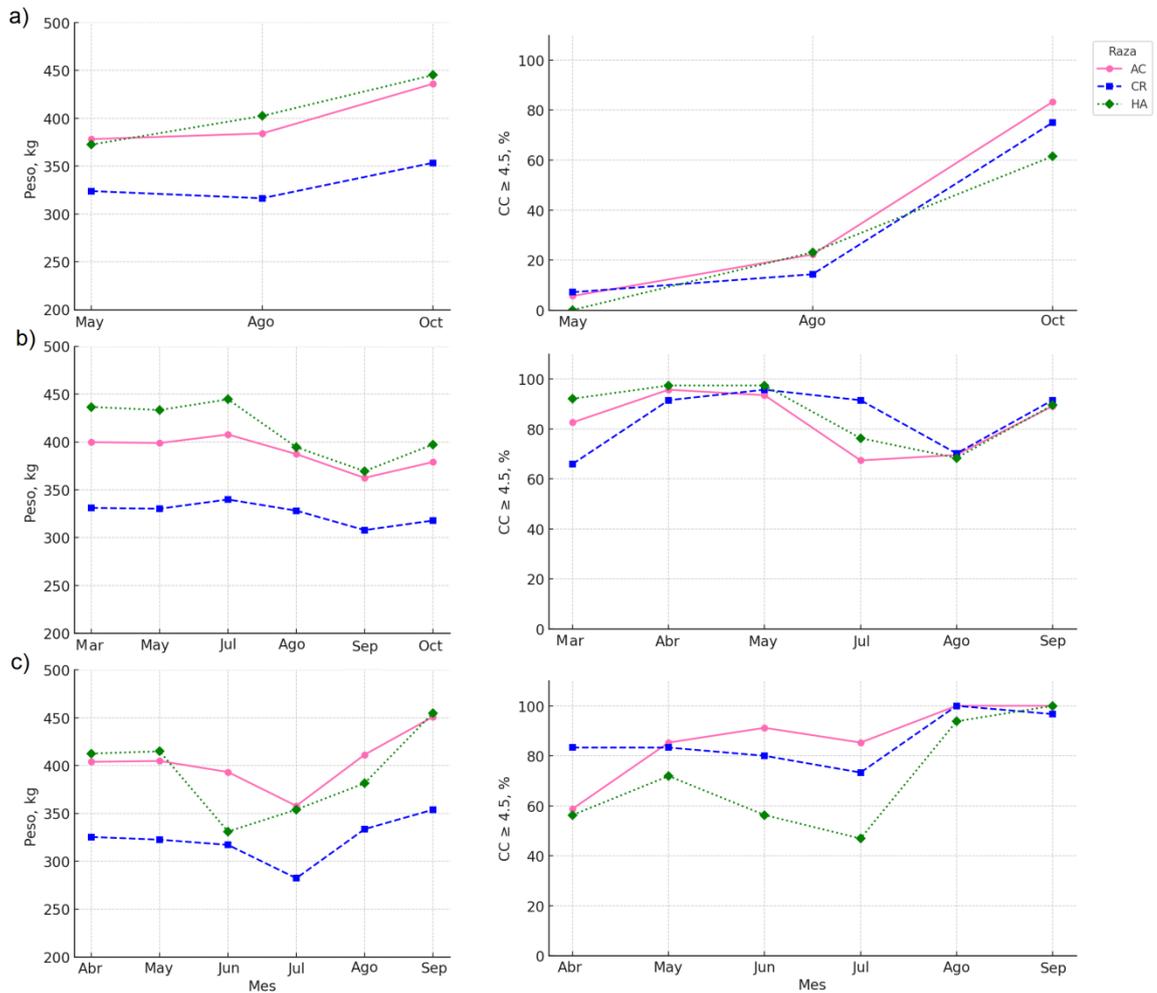
adultas (≥ 6 años) presentaron mayores PD-190, con una media de 140.63 ± 2.3 kg frente a 134.91 ± 2.5 kg en crías de vacas de edad media (< 6 años), con una diferencia de 5.72 ± 2.54 kg ($p < 0.05$), muy similar a lo que sucedió con el PD (5.75 ± 2.53 kg; $p < 0.05$). Asimismo, la GDP fue ligeramente mayor en crías de vacas adultas (0.59 kg/día) en comparación con las de vacas de edad media (0.55 kg/día), resultado alineado con Duarte *et al.* (2018), quienes observaron que vacas de mayor tamaño (comparable a nuestras vacas adultas) producen crías con mejor desarrollo postnatal, aunque con un costo nutricional elevado. Estas diferencias se atribuyen a adaptación fisiológica de las vacas maduras, que han completado su desarrollo físico y glandular mamario, permitiendo una asignación óptima de energía hacia la lactancia (Mpofu *et al.*, 2022). Estos hallazgos son consistentes con Reis *et al.* (2023), quienes destacan que vacas maduras en sistemas de carne logran mayor tasa de concepción durante la temporada reproductiva, vinculando su madurez fisiológica con un desempeño reproductivo y productivo superior. Asimismo, Amen (2004) corrobora que el desarrollo glandular mamario completo en vacas maduras, optimiza la nutrición de la cría, explicando el 31 a 43% de la variabilidad en pesos al destete reportada en sistemas tropicales. La disminuida eficiencia en vacas jóvenes (< 6 años) se vincula a su doble demanda metabólica (crecimiento propio + lactancia), fenómeno documentado en sistemas extensivos donde el pastoreo no cubre requerimientos simultáneos (Mpofu *et al.*, 2022).



Caracterización del Comportamiento de las Variables Condición Corporal y Peso Vivo en las Vacas a través del Año

En la Gráfica 6 se presentan de manera descriptiva el peso vivo promedio por mes y el porcentaje de vacas con condición corporal adecuada (≥ 4.5), a través de fechas de medición en los tres años de estudio. En cuanto al PV, se puede ver un incremento de peso del inicio al final del 2022, mientras que en 2023 y 2024 se observa una disminución en los pesos posterior a los meses de mayo y junio, que corresponde con el inicio de los partos. En general, la raza HA presentó los mayores valores promedio, especialmente en 2023 y 2024, donde superaron los 400 kg en varios meses. Como reporta Duarte *et al.* (2018), el tamaño corporal materno determina demandas nutricionales diferenciadas: vacas pesadas (HA en nuestro estudio) consumen 17-20% más nutrientes que vacas ligeras (CR), lo que explica su mayor sensibilidad a fluctuaciones ambientales, por lo tanto la variabilidad extrema en ciertos meses del año. Las vacas AC mostraron pesos similares a HA y relativamente consistentes entre años, con menor variabilidad estacional. Por otro lado, CR registró valores más bajos de peso, lo que es coherente con su genética característica para menor tamaño corporal y mayor rusticidad.

Respecto a la CC, en 2022 las tres razas mostraron bajos porcentajes de vacas con CC adecuada ($CC \geq 4.5$), particularmente en los primeros meses de evaluación. En 2023 se observaron porcentajes más altos de vacas con $CC \geq 4.5$ desde marzo, con valores superiores al 90%, aunque se presenta una caída en los grupos AC y HA para el mes de julio, lo cual



Gráfica 6. Peso vivo y probabilidad una condición corporal (CC) ≥ 4.5 para las vacas a través de los meses por grupo racial (AC, Angus x Criollo; CR, Criollo; HA, Hereford x Angus) y año (a) 2022, b) 2023 y c) 2024).



coincide con una buena proporción de vacas entradas en su lactancia y limitada precipitación pluvial durante ese mes en 2023. En 2024, HA presentó un desplome en el porcentaje de animales con CC adecuada de mayo hacia julio, lo cual corresponde con retraso en las precipitaciones pluviales en el caso del bloque 1 del área de estudio, que después se recuperó, elevándose el porcentaje de vacas con CC aceptable hacia agosto y septiembre, cuando los tres grupos raciales alcanzaron o se acercaron al 100 % de animales en condición corporal mínima aceptable.

Los incrementos en CC estuvieron generalmente acompañados de PV más altos, especialmente en 2023 y 2024. Este patrón sugiere una mejora en las condiciones nutricionales y de manejo en comparación con 2022, con la implementación de la suplementación con bloques nutricionales. Williams *et al.* (2018) reportan que vacas con alta eficiencia mostraron 35% mayor ingesta relativa de suplemento (2.87 vs. 2.12 g/kg PV; $p < 0.10$), coincidiendo con la rápida recuperación de CC en CR y AC en 2024. Se evidencia que HA alcanzan mayores pesos, mientras que CR mantiene una CC más estable, lo que reafirma su valor adaptativo bajo condiciones extensivas. La estabilidad en CC de CR, a pesar de menores pesos vivos, refleja su alta eficiencia adaptativa: como se reporta en razas autóctonas (Mpopfu *et al.*, 2022), estas vacas satisfacen sus necesidades nutricionales con menor ingesta absoluta, optimizando recursos en ambientes fluctuantes. En el caso de las vacas AC, a pesar de que presentaron pesos vivo similares a las HA, su CC se comportó más estable durante los tres ciclos de estudio.



Evaluación de Variables Relacionadas con el Estatus de la CC y el Desempeño Productivo de las Madres

Para las variables analizadas relacionadas con el estatus de la condición corporal y el desempeño productivo materno de las vacas: Condición corporal al empadre (CCe), Peso de la vaca (PV), Tasa de Gestación (TG) y Producción de leche por día (PrL); las medias de los cuadrados mínimos por raza y año se presentan en el Cuadro 7. La interacción de raza x año tuvo influencia ($p < 0.05$) sobre el PV, CCe y PrL. Esta interacción no afectó ($p > 0.05$) a la condición corporal de la madre al momento del parto (CCp) en la comparación HA y AC vs CR, pero si cuando se comparó AC vs HA en 2022 ($p < 0.05$), la CCp de HA aumentó para el 2023 con mejores condiciones de suplementación y ambientales, sin embargo, para 2024 observamos nuevamente una disminución en comparación a AC. Estos resultados son comparables a lo reportado por Lepe-Anasagasti *et al.* (2025), en donde animales de razas más grandes lograron destetar becerros con mejores pesos cuando se encontraban bajo condiciones ambientales óptimas para ellos, pero las razas más pequeñas lograron mejores pesos al destete bajo condiciones difíciles. Lo que refleja diferencias genéticas de adaptación a las variaciones de factores ambientales interanuales. Estos resultados reflejan cómo la respuesta materna a variaciones anuales está modulada por el componente genético, como reportan Reis *et al.* (2023) en sistemas de carne tropicales, donde la calidad forrajera interanual impacta desproporcionadamente la eficiencia metabólica según la raza. Moriel *et al.* (2024) corroboran que razas con mayor adaptación metabólica exhiben menor fluctuación productiva al



Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos para las variables analizadas en vacas por grupos raciales y año

Año	Raza ^a	n	Variables ^b			
			PV, kg	CCp	CCe	PrL
2022	CR	46	369.24±5.72	3.84±0.10	4.44±0.10	3.67±0.68
	AC	36	431.36±6.24	4.07±0.10	4.65±0.11	8.45±0.73
	HA	36	476.41±6.05	3.78±0.11	3.96±0.11	6.32±0.74
2023	CR	38	313.54±5.43	4.76±0.11	5.30±0.11	3.81±0.84
	AC	42	383.74±5.23	4.64±0.10	4.88±0.09	7.14±0.72
	HA	34	399.03±5.69	4.72±0.11	4.67±0.10	4.70±0.66
2024	CR	25	318.74±6.85	4.59±0.12	6.06±0.11	3.55±0.70
	AC	33	408.36±6.51	4.72±0.11	5.56±0.10	7.61±0.74
	HA	30	428.91±5.98	4.42±0.12	5.06±0.11	5.34±0.67
			Estimaciones interacción raza x año			
[0.5(AC+HA) - CR] 22 vs 23			25.98±8.99**	0.16±0.15 ^{n.s.}	0.56±0.14**	1.74±0.55**
[0.5(AC+HA) - CR] 23 vs 24			-20.16±8.62*	-0.06±0.16 ^{n.s.}	0.08±0.14 ^{n.s.}	-1.08±0.57 ^{n.s.}
HA-AC 22 vs 23			17.20±11.14 ^{n.s.}	-0.36±0.18*	-0.33±0.17*	0.48±0.61 ^{n.s.}
HA-AC 23 vs 24			5.82±10.04 ^{n.s.}	0.37±0.18*	0.30±0.16 ^{n.s.}	-0.37±0.61 ^{n.s.}

^a CR = Criollo; AC = Angus x Criollo; HA = Hereford x Angus

^b PV = Peso corporal de la vaca; CCe= Puntaje de condición corporal al empadre (1 a 9); PrL= Producción de Leche por día; TG= Tasa de gestación.

*, **, n.s. Las estimaciones dentro de filas con superíndices indican que fueron diferentes de cero [* , (p < 0.05); **, (p < 0.01)] o no diferentes (^{n.s.}, p > 0.05)



demostrar que vacas *Bos indicus* mantienen mejor la CcE y PrL en años secos. Sin embargo, como enfatiza Reis *et al.* (2023), la resiliencia tiene límites biológicos, pues en eventos climáticos extremos incluso genotipos adaptados muestran reducciones en PV y PrL, aunque en menor magnitud que razas especializadas.

El análisis de las interacciones probadas para raza x año mostró que AC y HA presentaron en promedio peso significativamente mayor que CR en los tres ciclos de estudio, pero en 2022 HA presentó un peso significativamente mayor que AC. La diferencia entre las cruzas y CR varió entre 2022 y 2023 ($p>0.05$), y entre 2023 y 2024 ($p>0.05$); sin embargo la diferencia entre HA y AC no mostró cambios entre años ($p>0.05$), lo que sugiere que las cruzas mantienen consistentemente un peso materno superior a CR, pero la magnitud de esa diferencia depende del año. Para la CcE, AC y CR presentan una condición superior a HA ($p<0.05$) en 2022, pero esta diferencia no se mantuvo en los años posteriores ($p>0.05$). Existe un cambio estadísticamente significativo en la magnitud de la diferencia entre razas de 2022 a 2023 y de 2023 a 2024 ($p<0.05$).

En el caso de la PrL, en 2022 AC y HA produjeron más leche que CR ($p<0.05$), así mismo, esta diferencia no cambió ($p>0.05$) del 2023 al 2024. La magnitud de la diferencia entre las cruzas y CR varió entre años, siendo particularmente mayor en 2022. Windig *et al.* (2006) reportan que las razas especializadas expresan un mayor potencial productivo, pero son más susceptibles a problemas de salud y fertilidad, CR produjo menos leche, alcanzó tasas de gestación más elevadas y mantuvo una buena CC. Esto es consistente con lo reportado por Lepe-Anasagasti *et al.* (2025), quienes



encontraron que vacas más ligeras mostraron mayor eficiencia relativa, al destetar crías proporcionalmente más pesadas respecto a su peso corporal. Mientras mayor PrL en AC y HA mejora el PD, simultáneamente incrementa la demanda energética que puede comprometer la recuperación postparto y la TG (Reis *et al.*, 2023), explicando por qué CR mantuvo altas TG a pesar de su menor PrL. Esta ventaja adaptativa puede deberse a una mejor conversión de los recursos alimenticios hacia la cría, especialmente bajo restricciones ambientales. La superioridad de HA y AC es consistente con estudios que asocian alta índice de peso al destete con mayor producción láctea ajustada por peso vivo (Williams *et al.*, 2018), aunque nuestro trabajo amplía este principio al mostrar que AC logró alcanzar una buena producción láctea, buenos índices de fertilidad y mantenimiento de la CC. Esto se le puede atribuir a la heterosis y al aprovechamiento de la complementariedad entre razas divergentes, por lo que estos individuos presentan mejores medias que la de los parentales que les originan, como es el caso de la Angus y la Criolla, explotando las mejores características de cada raza (NBCEC, 2023).

Las diferencias ($P < 0.05$) en la TG se determinaron con base en los intervalos de confianza al 95 % de los *odds ratio* (Cuadro 8). El grupo racial HA presentó de forma consistente un menor desempeño reproductivo, con menores probabilidades de gestación en los tres años que los otros dos grupos raciales, mientras AC fue mejor que HA en 2022 y 2024 ($p > 0.05$), pero sin diferencia clara frente a CR ($p > 0.05$). En general, sus TG fueron altas y estables en los tres ciclos evaluados: 74.35, 80.55 y 93.33 %. Como evidencia Duarte *et al.* (2018), vacas ligeras (CR) logran mayores tasas de



Cuadro 8. Comparaciones de tasa de gestación entre pares de razas dentro de cada año

Año	Comparación	Tasa Gestación (%)		Odds Ratio	Intervalo de Confianza (95%)
		Raza 1	Raza 2		
2022	AC vs CR	74.35	63.07	1.86 ^{n.s.}	(0.700–4.954)
	AC vs HA	74.35	37.09	5.14*	(1.833–14.41)
	CR vs HA	63.07	37.09	2.76*	(1.092–6.977)
2023	AC vs CR	80.55	97.06	0.13 ^{n.s.}	(0.015–1.077)
	AC vs HA	80.55	62.22	2.72 ^{n.s.}	(0.938–7.863)
	CR vs HA	97.06	62.22	21.36*	(2.569–177.5)
2024	AC vs CR	93.33	95	0.56 ^{n.s.}	(0.047–6.609)
	AC vs HA	93.33	49.74	13.11*	(2.586–66.42)
	CR vs HA	95	49.74	23.40*	(2.752–198.89)

*, n.s. *Las estimaciones de odds ratio dentro de filas con superíndices indican que fueron diferentes de uno ($P < 0.05$) o no diferentes (n.s., $P \geq 0.05$).*

Odds Ratio > 1 indica mayor probabilidad de gestación en la raza listada primero.



preñez (67.6 vs. 61.2 % en pesadas) con menor estrés metabólico, explicando su TG estable. La disminuida eficiencia reproductiva de HA concuerda con McCosker *et al.* (2022), quienes reportan que razas europeas en ambientes tropicales tienen 18 a 24 % menor TG debido a estrés térmico y Lepe-Anasagasti *et al.* (2025) refuerzan la idea de que un mayor tamaño materno no siempre implica mayor eficiencia reproductiva. Nuestros resultados amplían esta evidencia al sugerir que el mayor tamaño corporal y requerimientos de mantenimiento de HA pueden incrementar su vulnerabilidad durante estrés nutricional, tal como se observa en modelos de eficiencia relativa en sistemas semiáridos (Scasta *et al.*, 2015). La caída en CC de HA en julio coincide con el pico de lactancia, factor que Reis *et al.* (2023) identifican como crítico para la probabilidad de preñez debido a su efecto inhibitorio sobre la ovulación, esto explica parcialmente la menor TG de HA en años secos. La superioridad de CR se vincula a su adaptación metabólica y resiliencia, su baja PrL pero alta TG refleja un equilibrio adaptativo: al consumir menos recursos absolutos (kg MS/día) que vacas grandes (Williams *et al.*, 2018), destina energía prioritaria a la reproducción bajo estrés ambiental, patrón observado en estudios de eficiencia relativa (Mpofu *et al.*, 2022), mientras AC optimiza ambos rasgos mediante heterosis. Moriel *et al.* (2024) reportaron que las cruces de *Bos taurus* y *Bos indicus* tuvieron 40% menos pérdidas embrionarias que *B. taurus* puros bajo estrés nutricional. Reis *et al.*, (2023) demuestran que un intervalo extendido entre parto y empadre incrementa la posibilidad de preñez, sin embargo, nuestro hallazgo de que vacas HA con partos tempranos (Gráfica 4) mostraron TG menores y CR con partos más tardíos en 2022 presenta



mayores TG, pone en evidencia nuevamente la resiliencia de las razas adaptadas.

La raza ejerce una alta influencia sobre el PV, PrL y TG ($p < 0.05$), debido probablemente a las diferencias fisiológicas y metabólicas de cada grupo racial (Bonekamp *et al.*, 2025). En nuestro estudio, vacas CR con menor PV mostraron TG consistentemente más altas, mientras que HA con mayor PV y mayor PrL que CR presentaron menores TG en los tres años (entre 37 y 62 %). Esto concuerda con lo señalado por Dinkel & Brown (1978) quienes encontraron que el tamaño corporal no determina la eficiencia del sistema, ya que puede ser funcional o no según el ambiente en el que se desarrollen. El año, por otro lado, afectó ($p < 0.05$) a todas las variables analizadas para las madres. Las condiciones ambientales y el manejo propio de cada ciclo productivo tuvieron un efecto directo, por la distribución de las precipitaciones y las temperaturas (Gráfica 7), características ampliamente discutidas en investigaciones sobre la plasticidad fenotípica como lo reportado por Rovelli *et al.* (2020), Ramos-Castillo (2021) y Strandén *et al.* (2022), en términos de la capacidad de adaptación de las razas autóctonas a los cambios ambientales bruscos. Las fluctuaciones en el peso de las madres parecen corresponder a la tendencia en disponibilidad de alimento observadas en el NDVI (Gráfica 5), viéndose disminuidos para los tres grupos raciales hacia el 2023 y que logró una ligera recuperación hacia el 2024. Se integró la suplementación alimenticia luego de ver la baja tasa de fertilidad y la mortalidad de animales adultos en el primer año de estudio, gracias a esto, la CC y la TG mejoraron a lo largo de los años de estudio.

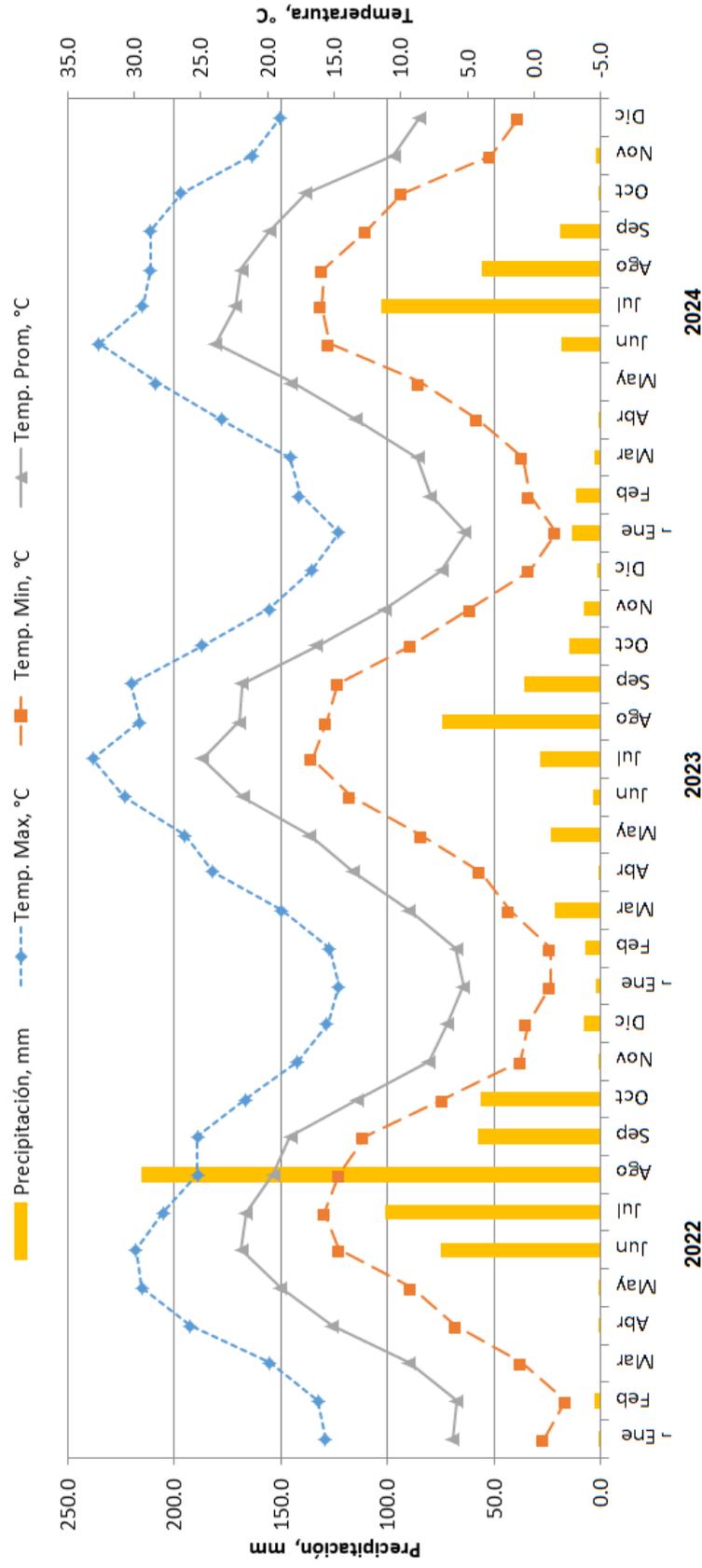


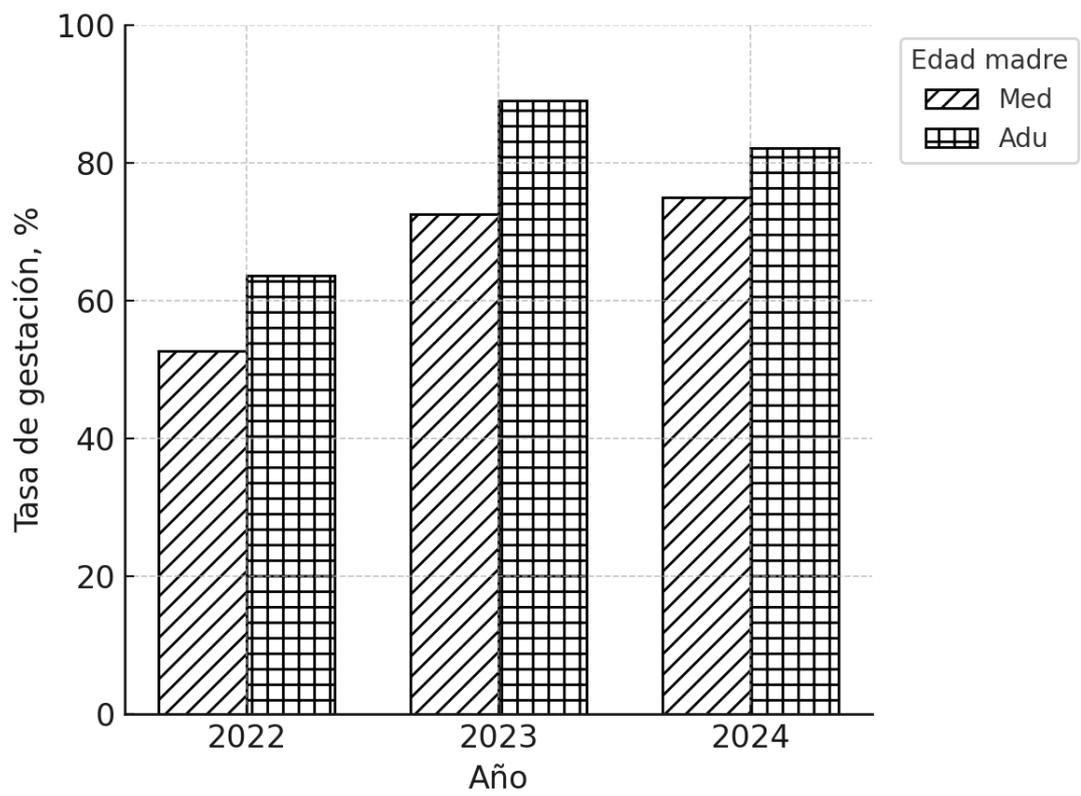
Gráfico 7. Distribución de precipitaciones, temperatura máxima, media y mínima mensual a través de los años de estudio.

Fuente: NASA.,2025 (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/index.html>), consultado y descargado 21



El momento del parto (Gráfica 3) tiene una gran influencia ($p < 0.05$) sobre PV, CCp y CCE, resultado que corresponde con lo observado por Martínez & Szczurek (2014) quienes confirman que el ambiente temporal, especialmente la disponibilidad de forraje y las condiciones climáticas, influyen en la capacidad de las vacas para conservar su condición corporal.

La edad de la madre no parece influenciar muchos de los factores, pero si presenta efecto sobre PV y TG ($p < 0.05$), hallazgos que concuerdan con lo reportado por Amen (2004), quien indica que las vacas adultas, al haber terminado su desarrollo, destinan mejor los recursos energéticos para el mantenimiento y reproducción. Cuando las vaquillas se vuelven reproductivamente activas, sus cuerpos aún no terminan de desarrollarse por completo, por lo que vacas de una edad más avanzada, clasificadas como Adultas en este caso, con edades de 6 años o más, tienden a presentar pesos más altos y tasas de gestación más elevadas (Gráfica 8).



Gráfica 8. Tasa de gestación por edad clasificatoria de la madre y año.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio permitió identificar diferencias importantes en el desempeño productivo y reproductivo de los tres grupos raciales bajo un sistema extensivo en montaña con condiciones semiáridas. Los resultados obtenidos evidencian que las cruzas AC y HA presentaron ventajas en variables como PN, PD, GDP y PrL; sin embargo, fue AC la que logró una combinación más equilibrada entre productividad y eficiencia reproductiva. No obstante, estas ventajas se vieron influenciadas por las condiciones ambientales interanuales, reflejando la susceptibilidad de las cruzas a la variabilidad climática, especialmente en años con menor precipitación y reducida cobertura vegetal.

En contraste, el ganado CR demostró una mayor resiliencia frente a las condiciones ambientales restrictivas, manteniendo tasas de gestación aceptables, buena condición corporal y una respuesta reproductiva superior. Estos hallazgos respaldan su papel estratégico como recurso zoogenético con potencial para ser utilizado en cruzamientos dirigidos a la combinación de rusticidad y productividad.

Además, se observó que la CC y TG mejoraron a lo largo del tiempo, en paralelo a la suplementación alimenticia y una mejor programación de empadres para sincronizar los partos con los meses en que se presentan las mejores condiciones ambientales y de disponibilidad de alimento de calidad que ayuden a cubrir niveles altos de requerimientos nutricionales.

Por otro lado, el uso de herramientas tecnológicas de libre acceso como los datos satelitales de NDVI y las series climáticas de NASA POWER



permitió comprender mejor la relación entre las condiciones ambientales y las respuestas productivas de los animales, por lo que su integración en el monitoreo y toma de decisiones en los hatos ganaderos se considera altamente recomendable.

Finalmente, se destaca la importancia de continuar evaluando el desempeño de éstos grupos raciales a largo plazo, incorporando indicadores económicos, sanidad e impacto en los recursos con el objetivo de fortalecer los indicadores de sostenibilidad de los sistemas de producción extensivos en regiones de alta variabilidad ambiental como la del sitio de estudio.



LITERATURA CITADA

- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Alcalá-Galván, C. H., Barraza-Guardado, R. H., Ayala-Álvarez, F., & Rueda-Puente, E. O. (2018). Uso sustentable de agostaderos y el sistema vaca-cría en el noroeste de México. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 433–446. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29185>
- Alders, R. G., Campbell, A., Costa, R., Guèye, E. F., Ahasanul Hoque, M., Perezgrovas-Garza, R., Rota, A., & Wingett, K. (2021). Livestock across the world: Diverse animal species with complex roles in human societies and ecosystem services. *Animal Frontiers*, 11(5), 20–29. <https://doi.org/10.1093/af/vfab047>
- Amen, T. S. (2004). Birth, weaning, carcass, and meat traits in *Bos indicus*–*Bos taurus* reciprocal backcross calves produced through embryo transfer (Tesis de maestría, Texas A&M University).
- Anderson, D. M., Estell, R. E., Gonzalez, A. L., Cibils, A. F., & Torell, L. A. (2015). Criollo cattle: Heritage genetics for arid landscapes. *Rangelands*, 37(2), 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2015.01.006>



Armstrong, E., Rodriguez Almeida, F. A., McIntosh, M. M., Poli, M., Cibils, A. F., Martínez-Quintana, J. A., Félix-Portillo, M., & Estell, R. E. (2022). Genetic and productive background of Criollo cattle in Argentina, Mexico, Uruguay and the United States. *Journal of Arid Environments*, 200, Article 104722. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104722>

Banda-Villanueva, I., Mendoza-González, G., Abad-Cuevas, N., Garza-Sánchez, A., & Díaz-Hernández, A. (2022). Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Chihuahua, México. Agencia Francesa de Desarrollo & Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.

Bautista-Martínez, Y., Granados-Zurita, L., Joaquín-Cancino, S., Ruiz-Albarrán, M., Garay-Martínez, J. R., Infante-Rodríguez, F., & Granados-Rivera, L. D. (2020). Factores que determinan la producción de becerros en el sistema vaca-cría del estado de Tabasco, México. *Nova Scientia*, 12(25), 1–23. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2117>

Bocchi, A., & Albuquerque, L. (2005). Efeito da idade da vaca e da data juliana de nascimento sobre o ganho médio diário de bezerros de corte no período pré-desmame. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia*, 57(4), 524-532. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352005000400014>



- Bonekamp, G., Schoon, M. A., Hiemstra, S., Hoving-Bolink, R. A. H., Napel, J. T., & Windig, J. J. (2025). Breed–environment interaction of native Dutch cattle breeds in agroecological context. *Journal of Dairy Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25802>
- Callejas-Juárez, N., Aranda-Gutiérrez, H., Rebollar-Rebollar, S., & de la Fuente-Martínez, M. L. (2014). Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 133–139. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14213>
- Cavallotti-Vázquez, B. A. (2014). Ganadería bovina de carne y leche: Problemática y alternativas. *El Cotidiano*, 188, 95–101. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32532787008>
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, 13(1), Article 140. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>
- Cibils, A. F., Estell, R. E., Spiegel, S., Nyamuryekung'e, S., McIntosh, M. M., Duni, D. M., Herrera Conegliano, O. A., Rodríguez Almeida, F. A., Roacho, O., Blanco, L. J., Duniway, M. C., Utsumi, S. A., & González, A. L. (2023). Adapting to climate change on desert rangelands: A multi-site comparison of grazing behavior plasticity of heritage and improved beef cattle. *Journal of Arid*



Environments, 209, Article 104886.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104886>

National Beef Cattle Evaluation Consortium. (2010). Manual de Selección de Sementales Bovinos, Segunda Edición.

Córdova Izquierdo, A., Rodríguez, G., Córdova, M., Córdova, C., & Pérez, J. (2005). Ganancia diaria y peso al destete en becerros de cruza *Bos taurus* con *Bos indicus* en trópico húmedo [Daily gain and weight in weaned crossed calves *Bos taurus* with *Bos indicus* in humid tropic]. *Revista MVZ Córdoba*, *10*(1), 589–592.

<https://doi.org/10.21897/rmvz.481>

De los Reyes-Patiño, R. (2018). En la frontera: Tensiones políticas y económicas de la ganadería bovina del norte de Coahuila, 1947–1982. *América Latina en la Historia Económica*, 25(3), 187–222.

<https://doi.org/10.18232/20073496.905>

Dinkel, C. A., & Brown, M. A. (1978). An Evaluation of the Ratio of Calf Weight to Cow Weight as an Indicator of Cow Efficiency. *Journal Of Animal Science*, 46(3), 614-

617. <https://doi.org/10.2527/jas1978.463614x>

Duarte FG, Cerdotés L, Zambarda VR, Restle J, Ferreira BM, Celestino AD, Luiz BI. Biological efficiency of Charolais beef cows of different body sizes. (2018). Biological efficiency of Charolais beef cows of different body sizes. *Semina Ciências Agrárias*, 39(4),

1737. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n4p1737>



- Duval, J., Cournot, S., & Hostiou, N. (2021). Livestock farmers' working conditions in agroecological farming systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), Article 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00679-y>
- Estell, R. (2021). The genesis of the Jornada Criollo cattle program. *Journal of Arid Environments*, 193, Article 104563. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104563>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1955). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, 1955: Análisis de un decenio y perspectivas* (pp. 191–196). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8e9c1061-ae49-4891-9078-913fbba4935e/content>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture assessments* (English ed.). FAO.
- Godde, C. M., Boone, R. B., Ash, A. J., Waha, K., Sloat, L. L., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2020). Global rangeland production systems and livelihoods at threat under climate change and variability. *Environmental Research Letters*, 15(4), Article 044021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7395>
- Godde, C. M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D. E., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock



food supply chain: A review of the evidence. *Global Food Security*, 28, Article 100488.

<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>

Goyache, F., Fernández, I., Royo, L. J., Álvarez, I., & Gutiérrez, J. P. (2003). Factors affecting actual weaning weight, preweaning average daily gain and relative growth rate in Asturiana de los Valles beef cattle breed. *Archives Animal Breeding/Archiv Für Tierzucht*, 46(3), 235-243. <https://doi.org/10.5194/aab-46-235-2003>

Heffernan, C., O'Callaghan, T. F., Fitzgerald, R., Serra, E., Frizzarin, M., Galvin, N., Mannion, D. T., Kilcawley, K. N., O'Mahony, J. A., & Dineen, M. (2025). Investigating the effects of concentrate supplement level and type on milk fat production and animal performance of spring-calving grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25928>

Hernández-Medrano, J. H., & Corona, L. (2018). El metano y la ganadería bovina en México: ¿Parte de la solución y no del problema? *Agroproductividad*, 11(2), 46–51.

Hernández Sandoval, R. M. (Ed.), 2012. Tipificación del ganado criollo mexicano de los Estados de Chihuahua, Baja California, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Nayarit. Asociación de Criadores de Ganado Criollo Mexicano, A.C. Chihuahua, México. 118 pp.



Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Censo agropecuario 2022: Reporte oficial (No. 01-62).

https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdNAL.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

<https://www.inegi.org.mx/investigacion/ndvi/>

Lepe-Anasagasti, I. E., Castillo-Torres, A., Mansur-Domínguez, J. A., Canseco-Sedano, R., & Vega-Murillo, V. E. (2025). Efecto del peso de la vaca sobre la eficiencia productiva al destete en vacas Brahman. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 16, 1-10.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v16s4.6725>

Márquez Godoy, J. N. (2024). Patrones de utilización e impacto en los servicios ecosistémicos por el pastoreo de tres razas de ganado (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Chihuahua).

Martínez, G., & Szczurek, A. (2014). Factores que afectan el peso al destete de becerros Senepol y sus cruces en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 40(1), 12.

http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/download/7215/6937

McCosker, K. D., Perkins, N. R., Fordyce, G., O'Rourke, P. K., & McGowan, M. R. (2022). Reproductive performance of northern Australia beef herds. 5. Factors influencing risk of non-pregnancy.



Animal Production Science, 63(4), 350-364.

<https://doi.org/10.1071/an17503>

McIntosh, M. M., Cibils, A. F., Estell, R. E., Nyamuryekung'e, S., González, A. L., Gong, Q., Cao, H., Spiegel, S. A., Soto-Navarro, S. A., & Blair, A. D. (2021). Weight gain, grazing behavior and carcass quality of desert grass-fed Rarámuri Criollo. *Livestock Science*, 249, Article 104511.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104511>

McIntosh, M. M., González, A. L., Cibils, A. F., Estell, R. E., Nyamuryekung'e, S., Rodríguez Almeida, F. A., & Spiegel, S. A. (2020). A phenotypic characterization of Rarámuri Criollo cattle introduced into the southwestern United States. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 28(3–4), 111–119.

https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/2849/1313

Mejía-Bautista, G. T., Magaña, J. G., Segura-Corea, J. C., Delgado, R., & Estrada-León, R. J. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca-cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289–301.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913070010>

Mitra, S., Bhattacharya, A., & Roy, S. (2019). The history of livestock farming and future perspective. In *Biotechnological advances for*



precision feeding (pp. 2–21). Lecture presented at ICAR Winter School. <https://www.researchgate.net/publication/347513829>

Moriel, P., Vedovatto, M., Izquierdo, V., Palmer, E., & Vendramini, J. (2024). Maternal prepartum supplementation of protein and energy and body condition score modulated the performance of Bos indicus-influenced cow-calf pairs. *Animal Reproduction Science*, 262, 107433. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107433>

Mpofu, T. J., Nephawe, K. A., Ginindza, M. M., Siwendu, N. A., & Mtileni, B. (2022). Cow Efficiency, Relative-Birth Weight and Subsequent Pre-Weaning Growth Performance of Nguni Cattle. *American Journal Of Animal And Veterinary Sciences*, 17(2), 113-121. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2022.113.121>

Mulliniks, J. T. (2012). Nutritional and metabolic factors influencing reproductive efficiency of grazing beef cattle (Tesis doctoral, New Mexico State University).

Naranjo-Ramírez, J. F., & Ruiz-Buitrago, J. D. (2020). Sobre algunos mitos y realidades de la ganadería bovina. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1524. https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL21_NUM3_ART:1524

NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. (2024). POWER Data Access Viewer [Conjunto de datos sobre temperatura media, humedad relativa y precipitaciones]. National Aeronautics and



Space Administration (NASA). Recuperado el 21 de febrero de 2025, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

National Research Council (NRC). (2000). Nutrient requirements of beef cattle: Seventh revised edition: Update 2000. National Academies Press.

Nyamuryekung'e, S. (2020). Foraging habits, heat tolerance, and maternal behavior of heritage vs. improved beef cattle grazing desert rangeland (Tesis doctoral, New Mexico State University).

Nyamuryekung'e, S., Cibils, A. F., Estell, R. E., McIntosh, M., Steele, C., González, A. L., Spiegel, S., & Guadalupe-Continanza, F. (2021). Foraging behavior of heritage versus desert-adapted commercial rangeland beef cows in relation to dam-offspring contact patterns. *Rangeland Ecology & Management*, 74, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.11.001>

Nyamuryekung'e, S., Cibils, A. F., Estell, R. E., McIntosh, M., VanLeeuwen, D., Steele, C., González, A. L., Spiegel, S., Reyes, L. A., Rodríguez-Almeida, F. A., & Anderson, M. (2021). Foraging behavior and body temperature of heritage vs. commercial beef cows in relation to desert ambient heat. *Journal of Arid Environments*, 193, Article 104565. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104565>

Nyamuryekung'e, S., Cibils, A. F., Estell, R. E., VanLeeuwen, D., Rocho-Estrada, O., Rodríguez-Almeida, F., González, A. L., &



- Spiegel, S. (2020). Do young calves influence movement patterns of nursing Rarámuri Criollo cows on rangeland? *Rangeland Ecology & Management*, 73(1), 84–92.
<https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.08.015>
- Nyamuryekung'e, S., Cibils, A. F., Estell, R. E., VanLeeuwen, D., Spiegel, S., Steele, C., González, A. L., McIntosh, M. M., & Gong, Q. (2022). Movement, activity, and landscape use patterns of heritage and commercial beef cows grazing Chihuahuan Desert rangeland. *Journal of Arid Environments*, 199, Article 104704.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104704>
- Ochoa-García, D., Fernández, J. A., Jiménez-Hernández, V. S., Camargo-Sanabria, Á. A., Hernández-Cumplido, J., & Espinoza, J. R. (2019). Diversidad de Coleoptera (Insecta) en dos comunidades vegetales del rancho Teseachi, Chihuahua, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 35, 1–13.
- OECD & FAO. (2023). OCDE-FAO perspectivas agrícolas 2023–2032. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/2ad6c3ab-es>
- Parra Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2019). Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 1–15.
<https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>



- Parra Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2019). Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 1–15. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160>
- Passamonti, M. M., Somenzi, E., Barbato, M., Chillemi, G., Colli, L., Joost, S., Milanese, M., Negrini, R., Santini, M., Vajana, E., Williams, J. L., & Ajmone-Marsan, P. (2021). The quest for genes involved in adaptation to climate change in ruminant livestock. *Animals*, 11(10), Article 2833. <https://doi.org/10.3390/ani11102833>
- Peinetti, H. R., Fredrickson, E. L., Peters, D. P. C., Cibils, A. F., Roacho-Estrada, J. O., & Laliberte, A. S. (2011). Foraging behavior of heritage versus recently introduced herbivores on desert landscapes of the American Southwest. *Ecosphere*, 2(5), Article 58. <https://doi.org/10.1890/ES11-00021.1>
- Phocas, F., Belloc, C., Bidanel, J., Delaby, L., Dourmad, J., Dumont, B., Ezanno, P., Fortun-Lamothe, L., Foucras, G., Frappat, B., González-García, E., Hazard, D., Larzul, C., Lubac, S., Mignon-Grasteau, S., Moreno, C., Tixier-Boichard, M., & Brochard, M. (2016). Review: Towards the agroecological management of ruminants, pigs and poultry through the development of sustainable breeding programmes. II. Breeding strategies. *Animal*, 10(11), 1760-1769. <https://doi.org/10.1017/s1751731116001051>



Pinedo, A. C., Hernández, Q. N. S., Melgoza, C. A., Rentería, V. M., Vélez, S. V. C., Morales, N. C., Quintana, R. M., Santellano, E. E., & Esparza, E. (2013). Diagnóstico actual y sustentabilidad de los pastizales del estado de Chihuahua ante el cambio climático. Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16), Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

Quintana-Gallegos, B. M., Roacho-Estrada, O., Anchondo-Garay, A., Castro-Valenzuela, B. E., Quintana-Martínez, J. A., & Rodríguez-Almeida, F. A. (2016). Niveles séricos de β -hidroxibutirato en vacas Angus \times Criollo vs Angus \times Hereford durante la gestación avanzada y lactancia temprana. En H. A. Lee Rangel, H. M. Ramírez Tobías, & J. A. Roque Jiménez (Eds.), *Perspectivas y avances de la producción animal en México* (pp. 269–275). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Ramos Castillo, V. (2021). Análisis de las comunidades vegetales del Rancho Experimental Teseachi, zona de transición entre el bosque templado y el pastizal en el noroeste de Chihuahua, México [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua].

Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., & Bhatta, R. (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: An updated review. *Journal of Animal Behaviour and*



Biometeorology, 6(3), 62–71. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>

Reis, N. P., Lobato, J. F. P., Restle, J., Pacheco, R. F., Nuñez, A. J. C., Sartori, D. B. S., & Vaz, R. Z. (2023). Effect of the performance, calving date and lactation period on the probability of pregnancy in beef cows. *Scientia Agricola*, 80, Article e20220088. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2022-0088>

Ríos Flores, J. A., & Castillo Arce, M. L. (2015). Competitiveness of fresh Mexican beef in the U.S. market – La competitividad de la carne fresca de res mexicana en el mercado estadounidense. *Estudios Fronterizos*, 16(32), 221–245. <https://doi.org/10.21670/ref.2015.32.a08>

Roacho-Estrada, O., Rodríguez-Almeida, F. A., Utsumi, S. A., Fredrickson, E. L., Bezanilla-Enríquez, G. A., Cibils, A. F., Estell, R. E., & González, A. L. (2023). Foraging behavior of Rarámuri Criollo vs. commercial crossbred cows on rangelands of the southwestern United States and northern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 212, Article 104943. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104943>

Rodríguez-Carreón, V. M., García-Elizondo, R., López-Trujillo, R., & Díaz-Solís, H. (1994). Evaluación del estado nutricional de vacas charolais en apacentamiento. *Revista Agraria*, 10(1), 57-65. <https://doi.org/10.59741/agraria.v10i1.206>



Rovelli, G., Ceccobelli, S., Perini, F., Demir, E., Mastrangelo, S., Conte, G., Abeni, F., Marletta, D., Ciampolini, R., Cassandro, M., Bernabucci, U., & Lasagna, E. (2020). The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: A review. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 997–1014.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1809540>

Sangalli, J. R., Nociti, R. P., Chiaratti, M. R., Bridi, A., Botigelli, R. C., Ambrizi, D. R., De Almeida Saraiva, H. F. R., Perecin, F., Da Silveira, J. C., Ross, P. J., & Meirelles, F. V. (2024). Beta-hydroxybutyrate alters bovine preimplantation embryo development through transcriptional and epigenetic mechanisms. *Biology of Reproduction*. Advance online publication.
<https://doi.org/10.1093/biolre/ioae17>

Scasta, J. D., Henderson, L., & Smith, T. (2015). Drought effect on weaning weight and efficiency relative to cow size in semiarid rangeland1. *Journal Of Animal Science*, 93(12), 5829-5839.
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-9172>

Secretaría de Desarrollo Rural, Stock Informático, & Quinto Elemento – Gestión Ambiental y Desarrollo Sustentable. (2013). Cartografía de uso de suelo y vegetación del estado de Chihuahua: Escala 1:50,000 (Dirección de Desarrollo Forestal, Vol. 1). Secretaría de Desarrollo Rural.



Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018, abril 27). La ganadería, símbolo de fortaleza del campo mexicano. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-ganaderia-simbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Población ganadera: Información sobre el número de animales que se crían en el país con fines de producción. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762>

Silpa, M. V., König, S., Sejian, V., Malik, P. K., Nair, M. R. R., Fonseca, V. F. C., Maia, A. S. C., & Bhatta, R. (2021). Climate-resilient dairy cattle production: Applications of genomic tools and statistical models. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, Article 625189. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.625189>

Spiegel, S., Cibils, A. F., Bestelmeyer, B. T., Steiner, J. L., Estell, R. E., Archer, D. W., Auvermann, B. W., Bestelmeyer, S. V., Boucheron, L. E., Cao, H., Cox, A. R., Devlin, D., Duff, G. C., Ehlers, K. K., Elias, E. H., Gifford, C. A., Gonzalez, A. L., Holland, J. P., Jennings, J. S., ... Waterhouse, A. (2020). Beef production in the southwestern United States: Strategies toward sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 114. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00114>



Spiegel, S., Estell, R. E., Cibils, A. F., James, D. K., Peinetti, H. R., Browning, D. M., Romig, K. B., Gonzalez, A. L., Lyons, A. J., & Bestelmeyer, B. T. (2019). Seasonal divergence of landscape use by heritage and conventional cattle on desert rangeland. *Rangeland Ecology & Management*, 72(4), 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.02.008>

Strandén, I., Kantanen, J., Lidauer, M. H., Mehtiö, T., & Negussie, E. (2022). Animal board invited review: Genomic-based improvement of cattle in response to climate change. *Animal*, 16(12), Article 100673. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100673>

Tedeschi, L. O., & Beauchemin, K. A. (2023). Galyean appreciation club review: A holistic perspective of the societal relevance of beef production and its impacts on climate change. *Journal of Animal Science*, 101, 1–19. <https://doi.org/10.1093/jas/skad024>

Torell, G. L., Torell, L. A., Enyinnaya, J., Spiegel, S., Estell, R. E., Cibils, A. F., Anderson, D. M., & González, A. L. (2023). Economics of Rarámuri Criollo and British crossbred cattle production in the Chihuahuan Desert: Effects of foraging distribution and finishing strategy. *Journal of Arid Environments*, 211, Article 104922. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104922>

Turner, SP., Rutherford, KMD., Donbavand, JE., & Jack, MC. (2021). The impact of body condition in pregnant beef cows for calf



welfare and lifetime productivity. Scotland's Rural College (SRUC).

Wathes, D. C. (2022). Developmental programming of fertility in cattle— Is it a cause for concern? *Animals*, 12(19), Article 2654. <https://doi.org/10.3390/ani12192654>

Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733, Article 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>

Williams, A. R., Parsons, C. T., Dafoe, J. M., Boss, D. L., Bowman, J. G. P., & DelCurto, T. (2018). The influence of beef cow weaning weight ratio and cow size on feed intake behavior, milk production, and milk composition¹. *Translational Animal Science*, S79-S83. <https://doi.org/10.1093/tas/txy044>

Williams, A. R., Wyffels, S. A., Parsons, C. T., Dafoe, J. M., Boss, D. L., Bowman, J. G. P., Davis, N. G., & DelCurto, T. (2018). The influence of beef cow weaning weight ratio and cow size on winter



grazing and supplement intake behavior. *Translational Animal Science*, S84-S88. <https://doi.org/10.1093/tas/txy045>

Windig, J., Calus, M., Beerda, B., & Veerkamp, R. (2006). Genetic correlations between milk production and health and fertility depending on herd environment. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1765–1775. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72245-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72245-7)