

Original

Comportamiento de crecimiento y reproductivo en hembras bovinas Romosinuano

Ricardo Martínez-Rocha¹  M.Sc; Rodolfo Ramírez-Valverde^{1*}  Ph.D; Rafael Núñez-Domínguez¹  Ph.D; José G. García-Muñiz¹  Ph.D; Gaspar M. Parra-Bracamonte²  Ph.D.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Producción Animal, Km 38.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo, México.

²Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Boulevard del Maestro SN. Esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México. CP 88710.

*Correspondencia: rv33@hotmail.com

Recibido: Mayo 2020; Aceptado: Agosto 2020; Publicado: Noviembre 2020.

RESUMEN

Objetivo. Caracterizar las curvas de crecimiento y el comportamiento reproductivo de vacas Romosinuano en México. **Materiales y métodos.** Se analizaron 928 registros de peso y edad de 127 hembras para características de crecimiento, y 459 registros de partos de 113 vacas para características reproductivas. Se ajustaron cuatro modelos no lineales mixtos para describir la curva de crecimiento, y se estimaron los indicadores de edad al 50% de madurez (E50M) y porcentaje de madurez a los 18 meses de edad (PM18). Para evaluar el comportamiento reproductivo se estimó la edad al primer parto (EPP), intervalo entre partos (IEP), y tasa de pariciones (TP). **Resultados.** El modelo de Brody fue el que mejor ajustó la curva de crecimiento. El parámetro A , que estima el peso maduro, osciló entre 430.2 y 466.2 kg; el b entre 0.94 y 5.45; y el k entre 0.001 y 0.002; dependiendo del modelo utilizado. La E50M varió entre 20 y 21 meses, y el PM18 entre 44.5 y 45.5%. Las medias de EPP, IEP, y TP a los 550 d fueron 1059 ± 282 d, 553 ± 68 d, y $74 \pm 19\%$, y mejorando ($p < 0.05$) cuando las hembras presentan mayor porcentaje de su peso maduro, dependiendo de la época de parto. **Conclusiones.** El peso maduro estimado indica que el ganado Romosinuano puede considerarse como una raza de tamaño pequeño o mediano, con aceptable aptitud reproductiva. Las hembras con menor tamaño maduro estimado presentaron edades al primer parto más temprano que vacas más pesadas.

Palabras clave: Edad al primer parto; intervalo entre partos; modelos de crecimiento; peso vivo; recursos genéticos (*Fuente: CAB*).

ABSTRACT

Objective. To characterize growth curves and reproductive performance of Romosinuano cows in Mexico. **Materials and methods.** Weight and age records (928) of females (117) for growth traits and calving records (459) of cows (113) for reproductive traits were analyzed. Four non-linear mixed models were adjusted to describe the growth curves. Indicators of age at 50% of maturity

Como citar (Vancouver).

Martínez-Rocha RE, Ramírez-Valverde R, Núñez-Domínguez R, García-Muñiz JG, Parra-Bracamonte GM. Growth and reproductive performance in females of Romosinuano cattle. Rev MVZ Córdoba. 2021; 26(1):e2033. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2033>



©El (los) autor (es), Revista MVZ Córdoba 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

(A50M), and percentage of maturity at 18 months of age (PM18) were estimated. The reproductive performance was evaluated through the age at first calving (AFC), the calving interval (CI), and calving rate (CR). **Results.** The Brody model showed the best adjustment to the growth curve. The *A* parameter, which estimates maturity weight, fluctuated within 430.2 and 466.2 kg; the *b* parameter within 0.94 and 5.45; and the *k* parameter within 0.001 and 0.002; depending on the used model. The A50M varied from 20 to 21 months, and the PM18 from 44.5 to 45.5%. The means for AFC, CI, and CR at 550 d were 1059 ± 282 d, 553 ± 68 d, and $74 \pm 19\%$; those indicators improved ($p < 0.05$) when cows have a higher percentage of their maturity weight, depending on calving season. **Conclusions.** The estimates of maturity weight indicate that Romosinuano cattle could be considered as a breed of small or medium size, with an acceptable reproductive ability. The females with small estimated maturity size aged at first calving earlier than cows with high weights.

Keywords: Age at first calving; calving interval; genetic resources; growth models; liveweight (*Source: CAB*).

INTRODUCCIÓN

La producción del ganado bovino en las regiones tropicales cálidas se caracteriza por tener un bajo nivel técnico de manejo y un sistema de producción tradicional basado en una baja calidad de praderas, escaso uso de tecnología y limitados recursos genéticos adaptados al trópico (1). La producción bovina en zonas tropicales está afectada por varios factores, siendo los climáticos los principales que afectan el crecimiento animal (2). Los bovinos criollos son animales que surgen del aislamiento y adaptación de ganado desde su llegada al continente americano, originando diferentes razas que se desarrollaron en ambientes hostiles de América (3). Los bovinos Romosinuano son animales criollos adaptados a condiciones de clima adverso, lo cual sugiere que su crecimiento y comportamiento reproductivo es aceptable considerando las contingencias que conllevan los ambientes tropicales.

La evaluación del crecimiento de los animales es una práctica importante para evaluar la rentabilidad y la eficiencia en la producción de carne. El crecimiento corporal se ha representado mediante modelos no lineales, que describen el crecimiento a lo largo del tiempo en función de un número reducido de parámetros (4). Por otro lado, un factor que restringe la productividad de la ganadería tropical es la baja eficiencia reproductiva. Ossa et al (5) mencionan que una característica sobresaliente del ganado Romosinuano es su adaptación a condiciones tropicales, lo cual se refleja en excelentes índices de fertilidad.

Desde hace dos décadas, productores mexicanos establecieron hatos de bovinos Romosinuano (3), cuya población ha ido en aumento (6), por

lo que es conveniente la evaluación productiva y reproductiva de este recurso genético. El objetivo de este estudio fue caracterizar el crecimiento y la actividad reproductiva de hembras Romosinuano en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la información. Los datos provinieron de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Romosinuano y Lechero Tropical, particularmente de una unidad de producción localizada en el municipio de Tihuatlán, Veracruz. El rancho está ubicado en un área tropical de México (Noreste del país), en donde los animales eran alimentados con base en pastoreo, principalmente *Brachiaria brizantha* y *Cynodon plectostachyus*. El sitio presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 24 y 26°C, y un rango de precipitación de 1100 a 1300 mm (7).

Se estimaron las curvas de crecimiento de hembras Romosinuano, mediante información que provino de 127 animales nacidos entre 2001 y 2018, considerando un total de 928 registros de peso vivo y edad. Los registros de peso vivo y edad se realizaban a lo largo de la vida de los animales: al momento del nacimiento y destete de las becerras (aproximadamente a los ocho meses de edad) (8), y durante las palpaciones para verificar gestación posterior al empadre y previo a cada parto. Las hembras consideradas tuvieron en promedio 7.3 registros por animal y al menos tres registros.

La información para realizar los análisis reproductivos provino de 113 vacas con registros de parto entre 2004 y 2019, considerando un total de 459 registros. Las variables reproductivas

consideradas fueron la edad al primer parto (EPP), el intervalo entre partos (IEP) y la tasa de pariciones (TP), y en los análisis finales sólo se consideraron registros de animales dentro de $\pm 3\sigma$ de la media. Para el análisis de la EPP se utilizaron registros de 113 vacas, agrupadas en 31 grupos contemporáneos (año y estación de parto). Se definieron dos estaciones de parto, lluvias (junio a noviembre) y secas (diciembre a mayo). Para los análisis de IEP y TP, se utilizaron 346 registros de partos en 81 vacas, agrupados en 28 grupos contemporáneos (año-estación de parto), con lo que se tuvo un promedio de 4.3 partos por vaca. Los números de registros para calcular los intervalos entre partos fueron 74 del primero al segundo, 70 del segundo al tercero, 53 del tercero al cuarto, 48 del cuarto al quinto, y 101 intervalos con vacas de quinto parto o más.

Análisis de crecimiento. Los análisis estadísticos para ajustar las curvas de crecimiento fueron realizados mediante los modelos no lineales mixtos siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Brody: } y_{ij} &= f(t_{ij}; \varphi_i) + \varepsilon_{ij} = A_i(1 - be^{-kt}) + \varepsilon_{ij} \\ \text{Logístico: } y_{ij} &= f(t_{ij}; \varphi_i) + \varepsilon_{ij} = A_i / (1 + be^{-kt}) + \varepsilon_{ij} \\ \text{Von Bertalanffy: } y_{ij} &= f(t_{ij}; \varphi_i) + \varepsilon_{ij} = A_i(1 - be^{-kt})^3 + \varepsilon_{ij} \\ \text{Gompertz: } y_{ij} &= f(t_{ij}; \varphi_i) + \varepsilon_{ij} = A_i(e^{-be^{-kt}}) + \varepsilon_{ij} \end{aligned}$$

Las suposiciones en los modelos fueron: $\varphi_i = \varphi_p + \eta_i$, $\eta_i \sim N(0, \Omega)$, $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$, donde y es el peso corporal del animal en kilogramos, t es la edad del animal en días, e es la base del logaritmo natural, A es el peso maduro o asintótico en kilogramos, b es una constante de integración, k es la tasa de madurez del animal, φ_p y η_i son los vectores de efectos fijos y aleatorios respectivos en los parámetros A y k , Ω es la matriz de (co)varianzas de los efectos aleatorios, ε_{ij} es el residual, y σ_ε^2 es la varianza del residual.

Para definir qué modelo de crecimiento utilizar en el cálculo de indicadores del crecimiento, se realizaron pruebas de bondad de ajuste utilizando el criterio de información de Akaike (AIC), el criterio de información Bayesiano (BIC), y el logaritmo de máxima verosimilitud (logL), escogiendo el mejor modelo como aquél con menores valores de AIC y BIC, y con mayor valor de logL. En los cuatro modelos de crecimiento comparados en este estudio, los parámetros relacionados con el peso asintótico (A) y la tasa de madurez (k) se ajustaron como efectos aleatorios, dada la consideración de la parte fija más la aleatoria. Las estimaciones de parámetros y componentes de (co)varianza se estimaron mediante máxima verosimilitud, utilizando el procedimiento nlme (9) en el software R (10). Con los parámetros estimados del mejor modelo, se calcularon los indicadores de crecimiento de edad (EPI) y peso (PPI) al punto de inflexión (con excepción del modelo de Brody), edad al 50% de madurez (E50M) y porcentaje de madurez a los 18 meses de edad (PM18) (Tabla 1).

Análisis reproductivo. Las variables de edad al primer parto (EPP), intervalo entre partos (IEP) y tasa de pariciones (TP) fueron evaluadas como características reproductivas de las vacas. Para el análisis de EPP se consideraron los efectos de grupo contemporáneo (clases formadas con año y estación de parto) y la covariable del peso estimado al parto (generado a partir del modelo de Brody). Para el análisis de IEP se consideraron los efectos incluidos en EPP, además del número de parto como covariable, y los efectos aleatorios de semental y vaca. Para ambas variables de respuesta se evaluó la significancia de los efectos fijos considerados en los modelos ($p < 0.05$), con el propósito principal de ajustarlas por esos efectos ambientales. Los modelos se ajustaron por máxima verosimilitud restringida mediante el paquete de R lme4 (11).

Tabla 1. Indicadores de crecimiento a partir de los modelos no lineales evaluados para el crecimiento de vacas de la raza Romosinuano.

Modelo ^a	EPI ^b	PPI ^c	E50M ^d	PM18 ^e
Brody	-	-	$\ln(0.5/b)/-k$	$1 - be^{-k(547)}$
Logístico	$(\ln b)/k$	$A/2$	$\ln(1/b)/-k$	$1/(1 + be^{-k(547)})$
Von Bertalanffy	$(\ln 3b)/k$	$28A/27$	$\ln((\sqrt[3]{0.5} - 1)/-b)/-k$	$(1 - be^{-k(547)})^3$
Gompertz	$(\ln b)/k$	Ae^{-1}	$\ln(\ln(0.5)/-b)/-k$	$e^{-b(e^{-k(547)})}$

^aA= peso maduro del animal; b = constante de integración; k = tasa de madurez del animal. ^bEPI= edad al punto de inflexión. ^cPPI= peso al punto de inflexión. ^dE50M= edad al 50% de madurez. ^ePM18= porcentaje de madurez a los 18 meses.

Para estimar la TP, se generó una variable con distribución binaria, codificando como uno cuando la hembra parió, dado que había estado en empadre, y como cero en caso contrario; con el fin de estimar la probabilidad que una vaca esté parida en determinado día después del nacimiento. Para lo anterior, se utilizó un modelo de regresión logística múltiple, usando la función siguiente:

$$E(y) = 1 / (1 + \exp\{\beta_0 - x_1\beta_1 - x_2\beta_2 - x_3\beta_3\})$$

Donde β_0 es el intercepto de la regresión, β_1 es el parámetro relacionado con la época de parto (lluvias y secas), β_2 es el parámetro relacionado con el número de parto (primero, segundo, tercero, cuarto y cinco+ partos), y β_3 es el parámetro relacionado con la covariable del día después del parto. La estimación de los parámetros se realizó mediante la metodología de máxima verosimilitud, utilizando el paquete glm2 (12) del software R (10).

Para tener puntos de comparación entre diferentes épocas del año y números de partos de las vacas, y para comparar con lo obtenido en estudios similares, se generaron indicadores reproductivos complementarios, estableciendo puntos de corte fijados a momentos específicos. Considerando que el periodo más largo de un animal en este ható para alcanzar el primer parto fue aproximadamente dos años y la expresión de indicadores reproductivos usados para otros estudios, se establecieron los indicadores (usando las probabilidades de vacas paridas a los 550 d y del número de días transcurridos hasta que en el ható ocurría el 50% de los partos): tasa de pariciones a los 550 días (TP550), y días al 50% de partos (D50P).

RESULTADOS

Análisis de crecimiento. En la tabla 2 se presentan las estimaciones de los parámetros y componentes de (co)varianza para el análisis de crecimiento en los cuatro modelos no lineales mixtos estudiados. Con base en las estimaciones de los parámetros de crecimiento y los componentes de (co)varianza aleatorios, se ajustaron los modelos para predecir y describir el peso de los animales a través del tiempo, para cada uno de los modelos evaluados (Figura 1). En general, los cuatro modelos describieron de forma apropiada las curvas de comportamiento del crecimiento a través del tiempo.

Tabla 2. Parámetros^a (Parám) estimados para los modelos no lineales evaluados en el ganado Romosinuano.

Parám	Brody	Logístico	Gompertz	Von Bertalanffy
A	466.16 ±6.48	430.17 ±5.75	441.46 ±5.73	447.15 ±5.80
b	0.94 ±0.006	5.45 ±0.200	2.14 ±0.420	0.53 ±0.008
K	0.001 ±0.00	0.002 ±0.00	0.001 ±0.00	0.001 ±0.00
σ_A^2	4.81	4.90	4.66	4.62
σ_K^2	0.0002	0.0005	0.0003	0.0003
σ_ϵ^2	2.92	3.09	2.96	2.92

^aA = peso maduro del animal (kg); b = constante de integración; k = tasa de madurez del animal; σ_A^2 = varianza del peso asintótico (maduro) del animal; σ_K^2 = varianza de la tasa de madurez del animal; σ_ϵ^2 = varianza residual.

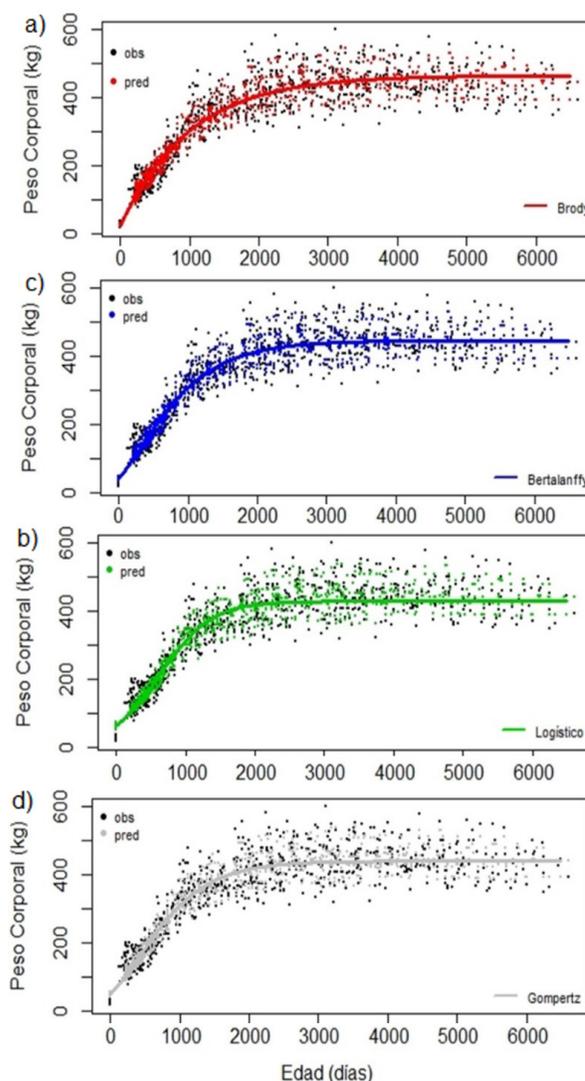


Figura 1. Ajuste de diferentes modelos no lineales para curvas de crecimiento en ganado Romosinuano (a) Brody, b) Logístico, c) Gompertz, y d) Von Bertalanffy).

En la tabla 3 se describen los resultados para los indicadores de bondad de ajuste utilizados en la selección del mejor modelo. Con base en los valores de los criterios de información de Akaike, Bayesiano (el menor es mejor) y el logaritmo de máxima verosimilitud (el mayor es mejor), el modelo que presentó mejor ajuste fue el modelo de Brody, seguido de los modelos Logístico y Gompertz, y por último Von Bertalanffy.

Tabla 3. Pruebas de ajuste para los modelos seleccionados de curvas de crecimiento en hembras Romosinuano.

Modelo	AIC ^a	BIC ^b	logL ^c
Brody	9233.71	9267.54	-4609.85
Von Bertalanffy	9350.88	9384.71	-4668.44
Logístico	9239.51	9273.34	-4612.75
Gompertz	9265.53	9299.36	-4625.76

^aAIC= Criterio de Información de Akaike. ^bBIC= Criterio de Información Bayesiano. ^clogL= Logaritmo de Máxima Verosimilitud.

Los parámetros estimados sirvieron para calcular indicadores como EPI y PPI de la función, los cuales fueron de 628 d y 215 kg, 309 d y 132 kg, y 418 d y 162 kg para los modelos Logístico, Von Bertalanffy y Gompertz, respectivamente. La E50M y el PM18 estimados para las hembras Romosinuano fueron muy similares en los modelos estudiados, con valores de 634 d y 45.42%, 628 d y 44.54%, 619 d y 45.54%, y 620 d y 45.31%, para los modelos de Brody, Logístico, von Bertalanffy y Gompertz, respectivamente.

Análisis reproductivo. Las medias de EPP e IEP fueron 1059 (± 282) y 553 (± 68) días. Como era de esperarse, los grupos contemporáneos afectaron a ambas variables ($p < 0.05$). El peso al parto de la vaca afectó la EPP e IEP ($p < 0.05$). Las vacas con menor peso maduro fueron más precoces (1.8 d/kg) y presentaron EPP más temprana. Para IEP, un mayor número de partos significó menores valores para esta variable (-11.23 d por cada parto); mientras que un menor peso estimado al momento del parto significó un mayor IEP (-0.10 d/kg).

Las estimaciones de los parámetros para la regresión logística múltiple en tasa de pariciones resultaron significativas ($p < 0.01$) y los valores se presentan en la tabla 4. Los indicadores reproductivos TP550 y D50P se dividieron para los grupos de época de lluvias y secas, así como para los grupos de número de parto (tabla 5). En general, cuando los partos se presentaron en

temporada de lluvias, las hembras mostraron de 5.5 a 12.3% mejor desempeño reproductivo en la variable TP550, dependiendo el número de parto que presentaba la hembra. La variable D50P se redujo 34 días por cada aumento en el número de parto de la hembra, y 32 días si se presentaba el parto anterior en temporada de lluvias.

Tabla 4. Parámetros estimados para regresión logística múltiple en tasa de pariciones de hembras Romosinuano.

Parámetro	Estimación	p-valor
Intercepto	-8.3920 \pm 0.038	<0.001
Día	0.0014 \pm 0.000	<0.001
Época	0.0498 \pm 0.014	<0.001
Número de parto	0.4773 \pm 0.005	<0.001

Tabla 5. Tasa de parición a los 550 días (TP550) y número de días al 50% de pariciones (D50P) en hembras Romosinuano.

Partos	TP550 (%)		D50P (d)	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
1	45.1	33.3	563	597
2	57.0	44.6	531	565
3	68.1	56.5	499	533
4	77.5	67.7	467	501
5+	84.8	77.1	435	469

La TP promedio a los 550 d fue 74 \pm 19%. La TP fue afectada ($p < 0.05$) por la época de parto anterior (Figura 2), siendo mayores TP cuando el parto anterior fue en lluvias. Las diferencias de la TP entre diferentes números de parto se muestran en la Figura 3, siendo las TP mayores conforme aumentó el número de parto ($p < 0.05$).

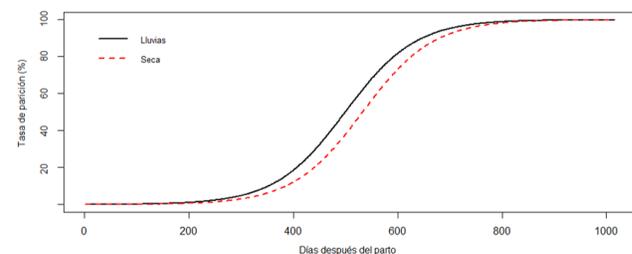


Figura 2. Tasa de pariciones de hembras Romosinuano con partos en diferente época.

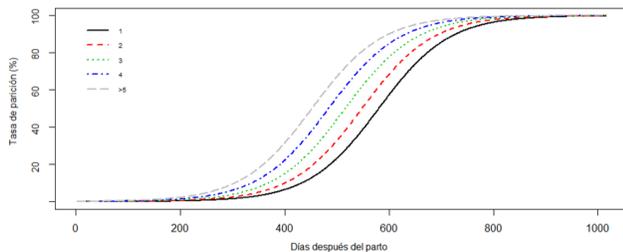


Figura 3. Tasa de pariciones en hembras Romosinuano con diferente número de partos.

DISCUSIÓN

La caracterización de la curva de crecimiento en las hembras Romosinuano usando modelos no lineales, presentó un mejor ajuste cuando se incluyó en su estructura los efectos aleatorios de peso maduro y de la tasa de madurez. Otros estudios relacionados con el ajuste de modelos no lineales en la producción animal, también han presentado mejor ajuste cuando se incluyen efectos aleatorios al modelo, tanto en modelos de curvas de crecimiento (13) como de lactancia (14). Esto indica la importancia del efecto individual de los animales en la expresión de su producción.

Con base en los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, el mejor modelo para describir la curva de crecimiento en hembras Romosinuano fue el modelo de Brody. En otros estudios con ganado bovino, el modelo de Brody también ha sido el más apropiado para ajustar su patrón de crecimiento (15,16,17). El modelo de Brody ha sido el más frecuentemente utilizado para caracterizar el crecimiento de ganado bovino, debido, en parte, a que posee una interpretación biológica que facilita la descripción del crecimiento de los animales.

La comparación directa de los valores en los parámetros de crecimiento obtenidos con los diferentes modelos no es posible, dado que miden aspectos ligeramente diferentes; sin embargo, el parámetro para estimar el peso maduro considera una interpretación biológica similar. A pesar de la gran variabilidad entre las estimaciones de EPI y PPI en los modelos estudiados, las estimaciones de peso maduro variaron poco entre los modelos (430 a 466 kg), lo que indica cierta constancia en cercanía del valor estimado con el real, independientemente del modelo utilizado. El valor estimado de A , relativamente pequeño, sugiere que la madurez de las hembras de esta raza podría ubicarse en

edades tempranas de la vida de los animales. Los valores estimados en el presente estudio para peso maduro fueron similares a los reportados por Ramírez et al. (18) para seis grupos de hembras bovinas cruzadas (incluyendo el F1 Romosinuano-Cebú) en condiciones tropicales. Los valores de peso maduro estimados concuerdan con la ubicación de Romosinuano como una raza de talla pequeña a mediana. Esta característica en razas criollas y nativas indica que son animales de menores requerimientos nutricionales comparado con razas de tallas mayores, lo que podría representar también ventajas en características reproductivas para sistemas de producción con restricciones alimenticias (19,20). En este estudio, los componentes de varianza de peso maduro oscilaron entre 61.2 y 62.2% de la varianza total, siendo mayor con el modelo de Brody. La varianza de la tasa de madurez no sobrepasó el 0.06% de la varianza total en todos los modelos.

El modelo de Brody, que produjo el mejor ajuste entre los modelos estudiados, no permite estimar la EPI y PPI, debido a que no tiene punto de inflexión. La alta variabilidad en las estimaciones de estos indicadores dependiendo el modelo utilizado, evidencia la necesidad de utilizar la información del mejor modelo. En los tres modelos donde sí se puede calcular la EPI se obtuvieron edades mayores a las de la edad al destete común de la raza en México (240 d) (8), a diferencia de lo observado en la raza Tropicarne, y en ganado Cebú (16,21). Esto sugiere que el destete en los animales Romosinuano no cesa significativamente la aceleración del crecimiento alrededor de esta edad. La E50M estimada entre 20 y 21 meses y el PM18 cerca del 45%, ubican a este recurso genético como tardío en alcanzar la madurez, comparado con otros recursos genéticos tropicales. Domínguez-Viveros et al. (16) estimaron la E50M y el PM18 de bovinos Tropicarne en México aproximadamente al año de edad y 65%, respectivamente. En general, estos valores relativamente bajos indican que los bovinos en el trópico tienen bajas tasas de madurez.

La media estimada para EPP en este estudio (35.3 meses) fue menor en aproximadamente tres meses a las estimaciones reportadas (22,23) para Romosinuano en Colombia, y mayor en tres meses a la reportada para esta raza en México (24). Sin embargo, contrastando con otras razas en México, fue similar al reportado para la raza Tropicarne (25), y de uno a tres meses menor que los reportados por otros autores con

ganadería tropical (26,27). Vera (28) menciona que se debe procurar que las novillas mantengan bajas ganancias de peso vivo para reducir la edad al primer parto. Por otra parte, Núñez-Domínguez et al. (25) encontraron que vacas de tamaño mediano en la raza Tropicarne eran más precoces que las de tamaño pequeño o grande.

El IEP estimado en este estudio (18.4 meses) fue entre cuatro y cinco meses mayores que los publicados para ganado Romosinuano de Colombia y México (23,24,29), y que los publicados para otras razas bovinas tropicales en México (26,30,31). Para esta variable, es posible que las vacas Romosinuano de este estudio no pudieron satisfacer sus requerimientos nutricionales en el postparto temprano, provocando retrasos en el reinicio de la actividad ovárica postparto; y consecuentemente, generando aumentos en el IEP. Para IEP y TP, el comportamiento de las vacas Romosinuano fue afectado por el número de partos y la época de partos. Los mayores valores de IEP en los primeros partos podría deberse a que se presentan en edades donde las vacas no habían alcanzado su madurez en peso (sólo 67.3 % del peso maduro de la hembra al primer parto). Ossa et al (22,29) estimaron una tendencia a disminuir el IEP cuando se incrementó el número de partos en vacas Romosinuano de Colombia. Asimismo, Mejía-Baustista et al (26) reportaron menores IEP a medida que aumentó el número de partos en animales *Bos taurus*, *Bos indicus* y sus cruza, en condiciones tropicales de México.

En conclusión, los modelos no lineales mixtos utilizados permiten describir adecuadamente el crecimiento de las hembras Romosinuano en el trópico con alimentación basada en pastoreo, aunque el modelo de Brody es más apropiado que los otros. En las condiciones ambientales de la unidad de producción estudiada, esta

población de hembras presenta una tasa de crecimiento lenta, por lo que puede considerarse como raza de tamaño pequeño o mediano; con una aceptable eficiencia reproductiva, considerando las restricciones ambientales y genotipos disponibles en zonas tropicales. La actividad reproductiva es mejor cuando las hembras tienen un mayor porcentaje de peso maduro y se tienen partos en épocas de lluvias. Las hembras Romosinuano con menor tamaño maduro presentan edades al primer parto más temprano que vacas más pesadas.

En general, la caracterización del crecimiento y la aptitud reproductiva de hembras Romosinuano en las condiciones tropicales del hato en estudio, dan una idea de la situación que ocurre en los otros hatos similares que utilizan esta raza en el país, y es complementaria a las estimaciones realizadas con Romosinuano en otros países. Sin embargo, una mayor recolección de información permitiría una caracterización más precisa y representativa del potencial productivo de los hatos Romosinuano en México.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Agradecimientos

Se agradece a la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Romosinuano y Criollo Lechero Tropical, A. C. (AMCROLET) por facilitar la información de sus bases de datos para el presente estudio. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado al primer autor para realizar estudios de Doctorado en Ciencias en la Universidad Autónoma Chapingo.

REFERENCIAS

1. Estrada-León RJ, Magaña-Monforte JG, Segura-Correa JC. Estimation of genetic parameters for preweaning growth traits of Brahman cattle in Southeastern Mexico. *Trop Anim Health Prod.* 2014; 46(5):771-776. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0563-z>
2. Renaudeau D, Collin A, Yahav S, de Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal.* 2012; 6(5):707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>

3. De Alba MJ. El Libro de los Bovinos Criollos de América. Distrito Federal, México: Biblioteca Básica de Agricultura (BBA); 2011.
4. Domínguez-Viveros J, Ortega-Gutiérrez JA, Rodríguez-Almeida FA, Callejas-Juárez N, Aguilar-Palma NG, Santillán-Moreno E. Ajuste de modelos no lineales para caracterizar el crecimiento de bovinos Hereford y Salers. *Rev Científ FCV-LUZ*. 2014; 24(5):436-442. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/11802/11792>
5. Ossa SGA, Narváez PHJ, Noriega MJG, Pérez GJE, Vergara GOD. Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento en una población de ganado criollo Romosinuano. *Livest Res Rural Develop*. 2014; 26:10. <http://www.lrrd.org/lrrd26/10/ossa26191.html>
6. Núñez-Domínguez R, Martínez-Rocha RE, Hidalgo-Moreno JA, Ramírez-Valverde R, García-Muñiz JG. Evaluation of the Romosinuano cattle population structure in Mexico using pedigree analysis. *Rev Colomb Cienc Pec*. 2020; 33(1):44-59. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n4a05>
7. INEGI. Mapas de climatología de México. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: 2019. [Consultado 15 oct 2019]. <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>
8. Martínez RRE, Ramírez VR, Núñez DR, García MJG. Parámetros y tendencias genéticas de variables de crecimiento para bovinos Romosinuano en México. *Nova Scientia*. 2018; 10(2):310-325. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1595>
9. Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D. (2016). R Core Team (2016) nlme: Linear and nonlinear mixed effects models R package version 3.1-127. Vienna Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
10. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014. <https://www.R-project.org/>
11. Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*. 2015; 67(1):1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
12. Marschner IC. glm2: Fitting generalized linear models with convergence problems. *The R Journal*. 2011; 3(2):12-15. https://journal.r-project.org/archive/2011-2/RJournal_2011-2_Marschner.pdf
13. Domínguez-Viveros J, Urbina-Valenzuela AR, Palacios-Espinosa A, Callejas-Juárez N, Ortega-Gutiérrez JA, Espinoza-Villavicencio JL et al. Caracterización del crecimiento de bovinos Cebú en pruebas de comportamiento en pastoreo. *Ecosist Rec Agropec*. 2017; 4(11):341-348. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n11.1149>
14. Palacios-Espinosa A, Domínguez-Viveros J, Padrón-Quintero Y, Rodríguez-Castro M, Rodríguez-Almeida FA, Espinoza-Villavicencio JL et al. Caracterización de la curva de lactancia de bovinos Siboney con modelos no lineales mixtos. *Rev Mex Cienc Pecu*. 2016; 7(2):233-242. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4176/3437>
15. Posada OS, Rosero NR, Rodríguez N, Costa CA. Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nellore criado en confinamiento. *Rev MVZ Córdoba*. 2011; 16(3):2701-2710. <https://doi.org/10.21897/rmvz.271>
16. Domínguez-Viveros J, Rodríguez-Almeida FA, Núñez-Domínguez R, Ramírez-Valverde R, Ortega-Gutiérrez JA, Ruíz-Flores A. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos Tropicarne. *Agrociencia*. 2013; 47(1):25-34. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/999>
17. Rincón FJC, Quintero PJF. Comparación de modelos no lineales para describir el crecimiento en ganado Blanco Orejinegro (BON). *Rev CES Med Zootec*. 2015; 10(1):31-37. <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/3472>

18. Ramírez EJ, Cerón MMF, Herrera AC, Vergara OD, Arboleda EM, Restrepo BLF. Crecimiento de hembras cruzadas en el trópico colombiano. *Rev Colomb Cienc Pec.* 2009; 22(4):642-647. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324498/20781674>
19. Chin-Colli RC, Estrada-León R, Magaña-Monforte J, Segura-Correa J, Nuñez-Domínguez R. Genetic parameters for growth and reproductive traits of Brown Swiss cattle from Mexico. *Ecosist Rec Agropec.* 2016; 3(7):11-20. <http://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/167/689>
20. Villaseñor GF, De la Torre SJF, Martínez VG, Álvarez GH, Pérez RS, Palacios FJA et al. Caracterización de la respuesta ovárica a la superovulación en bovino Criollo Coreño utilizando dosis reducidas de FSH. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2017; 8(3):225-232. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4498/3740>
21. Herrera RAC, Vergara GOD, Cerón MMF, Agudelo-Gómez D, Arboleda ZEM. Curvas de crecimiento en bovinos cruzados utilizando el modelo de Brody. *Livest Res Rural Develop.* 2008; 20(9). <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/herr20140.htm>
22. Ossa GA, Suárez MA, Pérez JE. Factores ambientales y genéticos que influyen la edad al primer parto y el intervalo entre partos en hembras de la raza criolla Romosinuano. *Cienc Tecnol Agropecuaria.* 2007; 8(2):74-80. https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num2_art:97
23. Vergara GO, Ossa SG, Cabrera AJ, Simanca SJ, Pérez GJ. Heritabilities and genetic trends for reproductive traits in a population of Romosinuano cattle in Colombia. *Rev MVZ Córdoba.* 2016; 21(1):5250-5257. <https://doi.org/10.21897/rmvz.34>
24. Parra-Cortés RI, Magaña-Magaña MÁ. Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México. *Ecosist Rec Agropec.* 2019; 6(18):535-547. <http://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/2160>
25. Núñez-Domínguez R, Hernández-Rodríguez BA, Ramírez-Valverde R, Ruíz-Flores A, García-Muñiz JG, López-Ordaz R. Productividad de vacas Tropicarne con diferente potencial genético para peso corporal al primer servicio. *Rev Científ FCV-LUZ.* 2010; 20(6):640-648. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15610/15584>
26. Mejía-Baustista GT, Magaña JG, Segura-Correa JC, Delgado R, Estrada-León RJ. Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca:cría en Yucatán, México. *Trop Subtrop Agroecosys.* 2010; 12(2):289-301. <http://www.revista.coba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/403/375>
27. Ríos-Utrera Á, Villagómez-Amezcuca ME, Zárate-Martínez JP, Calderón-Robles RC, Vega-Murillo VE. Análisis reproductivo de vacas Suizo Pardo x Cebú y Simmental x Cebú en condiciones tropicales. *Revista MVZ Córdoba.* 2020; 25(1):e1637. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1637>
28. Vera RR. Genotipo, nutrición, reproducción del ganado de doble propósito. Una revisión selectiva de la literatura. *Arch Latinoam Prod Anim.* 1998; 6(Suplemento 1):55-70.
29. Ossa SG, Suárez TM, Pérez GJ. Factores ambientales y genéticos relacionados con el intervalo entre partos en la raza Romosinuano. *Rev MVZ Córdoba.* 2006; 11(2):799-805. <https://doi.org/10.21897/rmvz.443>
30. López OR, Díaz HM, García MJG, Núñez DR, López OR, Martínez HPA. Eventos reproductivos de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2010; 1(4):325-336. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1500/1495>
31. Arce RC, Aranda IEM, Osorio AMM, González GR, Díaz RP, Hinojosa CJA. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2017; 8(1):83-91. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4347>