



Curvas de crecimiento en bovinos Limousin de raza pura y cruzados



Joel Domínguez-Viveros ^a

Antonio Reyes-Cerón ^b

Carlos Enrique Aguirre-Calderón ^{c*}

Ricardo Martínez-Rocha ^d

Carlos Luna-Palomera ^e

Nelson Aguilar-Palma ^a

^a Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua, México.

^b Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin. Zacatecas, México.

^c Instituto Tecnológico de México. Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, Durango, México.

^d Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Ciudad de México, México.

^e Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: carlos.ac@salto.tecnm.mx

Resumen:

El objetivo fue el ajuste de un modelo no lineal (MNL) para evaluar la curva de crecimiento en bovinos Limousin, en pureza de raza (PRZ) y cinco grados de cruzamiento (GPZ; 1/2, 3/4, 7/8, 15/16, 31/32 de Limousin). Se analizó el peso vivo, el intervalo de peso al nacer a 500 días de edad. Se evaluaron cuatro MNL: Brody, Bertalanffy, Gompertz y logístico. Se

estimaron parámetros de crecimiento: peso adulto (PAD); tasa de crecimiento (TAC); edad (EPI; meses) y peso (PPI; kg) al punto de inflexión; edad (meses; E50M) para alcanzar 50% de madurez y madurez a 15 meses (GM15). Con el MNL seleccionado en PRZ se caracterizó la curva de crecimiento en GPZ. El modelo de mejor ajuste fue Bertalanffy. El PAD para machos PRZ fue 566.1, para GPZ estuvo en el intervalo de 446.9 a 527.4; para hembras, en GPZ estuvo en el intervalo de 374.5 a 419.9, en PRZ fue 443.0. Los MNL presentaron correlaciones por debajo de -0.75 entre PAD y TAC. En vaquillas de PRZ, EPI se estimó a 3.7 con 131.2 para PPI; en GPZ, EPI y PPI estuvieron en los intervalos de 2.9 a 3.7 y 110.9 a 124.4, respectivamente. E50M para hembras, en PRZ fue a 10.6 y para GPZ en el intervalo de 8.9 a 10.5. GM15 para hembras, en GPZ el promedio fue 90.5 % en PRZ fue de 87.9 %. Los machos en PRZ alcanzan E50M a partir de 13 meses.

Palabras clave: Modelos no lineales, Parámetros de crecimiento, *Bos Taurus*, Cruzamiento, Heterosis.

Recibido: 10/07/2022

Aceptado: 07/11/2022

La raza Limousin, originaria de Francia, como raza pura o en esquemas de cruzamiento^(1,2) presenta cualidades productivas, reproductivas y de adaptación que han permitido su distribución en gran cantidad de países y de sistemas de producción^(3,4,5); además, se ha utilizado en el desarrollo de razas sintéticas⁽⁶⁾. A México llegó por importaciones de Canadá y Estados Unidos que datan de la década de 1970; la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin (AMCGL) se constituyó en 1989^(7,8). Actualmente se distribuye en 17 estados como raza pura especialmente; aunque también es utilizada en esquemas de cruzamiento abierto y como base para la conformación de razas sintéticas, tales como Limousan (5/8 Limousin y 3/8 Angus)⁽⁹⁾ y Brahmousin (5/8 Limousin y 3/8 Brahman)⁽¹⁰⁾.

La AMCGL coordina el registro genealógico de pureza de raza y grados de pureza, así como los registros productivos que definen los criterios y objetivos de selección de la raza⁽⁷⁾. Los datos productivos asociados al crecimiento incluyen el peso vivo al nacer, a 120, 210 y 365 días de edad, con mediciones en el intervalo de más o menos 45 días a la edad especificada. Las mediciones de peso vivo generan una distribución de observaciones a través de la vida del animal, que en su conjunto se pueden utilizar para caracterizar y evaluar la curva de crecimiento. Los modelos no lineales (MNL) caracterizan y analizan la curva de crecimiento animal con base en la interpretación biológica y aplicaciones de los coeficientes de regresión, así como parámetros de crecimiento derivados de los coeficientes de regresión^(11,12,13). Los coeficientes de regresión y parámetros de crecimiento son de trascendencia en la toma de

decisiones para los programas de manejo, nutrición, reproducción y mejora genética^(14,15,16,17). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue la selección y ajuste de un MNL para describir y evaluar la curva de crecimiento en bovinos Limousin de México.

La base de datos estuvo conformada por mediciones de peso vivo, en el intervalo de peso al nacer a 500 días de edad en bovinos Limousin (PRZ; pureza de raza). Para definir la curva de crecimiento se evaluaron cuatro MNL: Brody (BRO), von Bertalanffy (BER), Gompertz (GOM), y logístico (LOG); todos conformados por tres coeficientes (β_1 , β_2 y β_3) de regresión^(12,13,18). En las ecuaciones de los MNL (Cuadro 1), y_i representa el peso vivo (kg) medido al tiempo t ; β_1 , es el valor asintótico cuando t tiende a infinito, interpretado como el parámetro de peso adulto (PAD); β_2 , es un parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ y $t \neq 0$; y β_3 , es la tasa de crecimiento (TAC), expresando la ganancia de peso como proporción del peso total. Los modelos BER, GOM y LOG se caracterizan por describir el crecimiento con base en una curva sigmoide, para los cuales se calculó la edad (EPI; meses) y el peso (PPI; kg) al punto de inflexión. El modelo BRO presenta una curva de crecimiento con TAC constante sin punto de inflexión. Con los coeficientes de regresión se estimaron la edad para alcanzar el 50 % de madurez (E50M), la madurez obtenida a los 15 meses (GM15) de edad^(19,20), así como la correlación (r_{ac}) entre TAC y PAD.

Cuadro 1: Modelos no lineales evaluados en bovinos Limousin de raza pura y cruzados

Modelo	Ecuación
Logístico	$y_i = \beta_1 / (1 + \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t))) + e_i$
Bertalanffy	$y_i = \beta_1 * ((1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))^{*3}) + e_i$
Gompertz	$y_i = \beta_1 * (\exp(-\beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))) + e_i$
Brody	$y_i = \beta_1 * (1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t))) + e_i$

y_i = peso vivo en kg, medido al tiempo t ; β_1 = valor asintótico; β_2 = constante de integración; β_3 = pendiente de la curva o tasa de crecimiento.

Los análisis se realizaron para cada sexo, con el método de Gauss-Newton del procedimiento NLIN del programa para análisis estadístico SAS⁽²¹⁾. La selección del modelo con mejor ajuste se realizó en función de^(18,19): criterio de información Akaike [$AIC = n * \ln(sce/n) + 2k$]; criterio de información Bayesiano [$BIC = n * \ln(sce/n) + k * \ln(n)$]; coeficiente de determinación [$R^2 = (1 - (sce/sct))$]; y, error estándar general o del modelo ($EEG = \sqrt{\frac{sce}{n-p-1}}$).

Donde: n = número total de datos; sce = suma de cuadrados del error; sct = suma de cuadrados total; k = número de parámetros en el modelo; \ln = logaritmo natural. Para AIC y BIC, el modelo con el menor valor se consideró como de mejor ajuste.

La AMCGL administró un registro genealógico con diferentes grados de pureza (GPZ) con el objetivo de incrementar la población de bovinos Limousin a través de cruzamiento absorbente, con base en vacas cruzadas y sementales de PRZ. Con el modelo seleccionado como de mejor ajuste en la población de PRZ se caracterizó la curva de crecimiento en poblaciones definidas por cinco GPZ o generaciones: primera (PG) con 1/2 de Limousin; segunda (SG) con 3/4 de Limousin; tercera (TG) con 7/8 de Limousin; cuarta (CG) con 15/16 de Limousin; y, quinta (QG) con 31/32 de Limousin. En el Cuadro 2 se describe la base de datos analizada en PRZ y GPZ.

Cuadro 2: Base de datos de peso vivo, analizada a través de grupos genéticos y de sexo, con mediciones en el intervalo del nacimiento hasta 500 días de edad

Sexo / Grupo	PG	SG	TG	CG	QG	Pureza
Machos	1963	1489	1607	3428	6224	31784
Hembras	2220	2296	2449	4784	7382	35695

Grupos genéticos: PG, 1/2 Limousin; SG, 3/4 Limousin; TG, 7/8 Limousin; CG, 15/16 Limousin; QG, 31/32 Limousin. Pureza de raza (\geq 63/64 Limousin).

En la selección de modelos, dentro de sexo con AIC y a través de sexo con BIC, el modelo de mejor ajuste fue BER seguido de BRO y GOM; en todos los modelos el R^2 fue superior al 95 % (Cuadro 3). En el Cuadro 4 se presentan los resultados para los coeficientes de regresión y parámetros de crecimiento producto de los MNL evaluados. La estimación del PAD fue mayor para PRZ vs GPZ, en contraste, la TAC fue superior en los resultados de GPZ. El esquema de mejora genética del ganado Limousin en México incluye el peso al destete ajustado a 205 días⁽⁷⁾, con posible trascendencia en las curvas de crecimiento, dado que el punto de inflexión está ubicado en el periodo predestete. El modelo de BRO fue el segundo en la clasificación de modelos; sin embargo, presentó resultados atípicos para PAD, E50M y GM15. Todos los modelos presentaron r_{ac} debajo de -0.75 (Cuadro 4), lo cual señala que altos PAD no derivan de altas TAC. En la Figura 1 para machos y Figura 2 para hembras, se describe el crecimiento con base en el modelo BER para todos los genotipos evaluados.

Cuadro 3: Estadísticos utilizados para la selección del modelo no lineal de mejor ajuste

Estadísticos	Brody	Gompertz	Logístico	Bertalanffy
Machos				
R^2	96.7	96.7	96.6	96.7
EEG	40.3	40.3	40.9	40.3
AIC	236935.8	237022.3	237856.6	236896.4
BIC	236960.9	237047.5	237881.7	236921.2

Hembras				
R ²	96.8	96.8	96.7	96.8
EEG	35.6	35.7	36.1	35.6
AIC	255208.7	255253.0	256169.4	255127.7
BIC	255234.2	255278.4	256194.9	255153.1

AIC= criterio de información Akaike; BIC= criterio de información Bayesiano; R²= coeficiente de determinación; EEG= error estándar general o del modelo.

Cuadro 4: Coeficientes de regresión y parámetros de crecimiento derivados de los modelos no lineales evaluados en bovinos Limousin de raza pura y cruzados

ítem	β_1	β_2	β_3	r_{ac}	EPI	PPI	E50M	GM15
Machos de raza pura con todos los modelos no lineales evaluados								
Brody	1645.9	0.9778	0.000618	-0.99	--	--	36.2	26.0
Gompertz	491.0	2.5475	0.00583	-0.92	5.3	180.6	7.4	83.1
Logístico	408.2	8.8538	0.0117	-0.76	6.2	204.1	6.2	98.5
Bertalanffy	566.1	0.5949	0.00400	-0.96	4.8	167.7	13.0	81.2
Hembras de raza pura con todos los modelos no lineales evaluados								
Brody	715.1	0.9508	0.00151	-0.99	--	--	14.2	51.8
Gompertz	402.9	2.396	0.00656	-0.90	4.4	148.2	6.3	88.2
Logístico	352.3	8.0113	0.0124	-0.71	5.6	176.1	5.6	99.1
Bertalanffy	443.0	0.5666	0.00477	-0.95	3.7	131.2	10.6	87.9
Machos en grado de pureza con el modelo Bertalanffy								
PG	527.4	0.5896	0.00394	-0.97	4.8	156.3	13.1	80.7
SG	522.4	0.5858	0.00418	-0.96	4.5	154.8	12.3	83.0
TG	514.5	0.5876	0.00410	-0.96	4.6	152.4	12.6	82.3
CG	446.9	0.5705	0.00481	-0.95	3.7	132.4	10.5	88.1
QG	467.1	0.5724	0.00469	-0.96	3.8	138.4	10.8	87.3
Hembras en grados de pureza con el modelo Bertalanffy								
PG	391.4	0.5563	0.00511	-0.94	3.3	115.9	9.7	90.0
SG	374.5	0.5446	0.00563	-0.94	2.9	110.9	8.7	92.6
TG	419.9	0.5619	0.00476	-0.95	3.7	124.4	10.5	87.9
CG	399.2	0.5572	0.00509	-0.95	3.4	118.3	9.8	89.9
QG	379.9	0.5471	0.00551	-0.94	3.0	112.5	8.9	92.1

Grados de pureza: PG, 1/2 Limousin; SG, 3/4 Limousin; TG, 7/8 Limousin; CG, 15/16 Limousin; QG, 31/32

Limousin. Coeficientes de regresión: β_1 , β_2 y β_3 . Donde: β_1 , es el valor asintótico, interpretado como el parámetro de peso adulto; β_2 , es un parámetro de ajuste; β_3 , es la tasa de crecimiento, expresando la ganancia de peso como proporción del peso total. Edad (EPI; meses) y el peso (PPI; kg) al punto de inflexión. E50M, edad para alcanzar el 50 % de madurez. GM15, grado de madurez (%) a 15 meses de edad. r_{ac} , correlación entre β_1 y β_3 .

Figura 1: Curvas de crecimiento para machos Limousin. Pureza, animales de raza pura; PG, 1/2 de Limousin; SG, 3/4 de Limousin; TG, 7/8 de Limousin; CG, 15/16 de Limousin; QG, 31/32 de Limousin

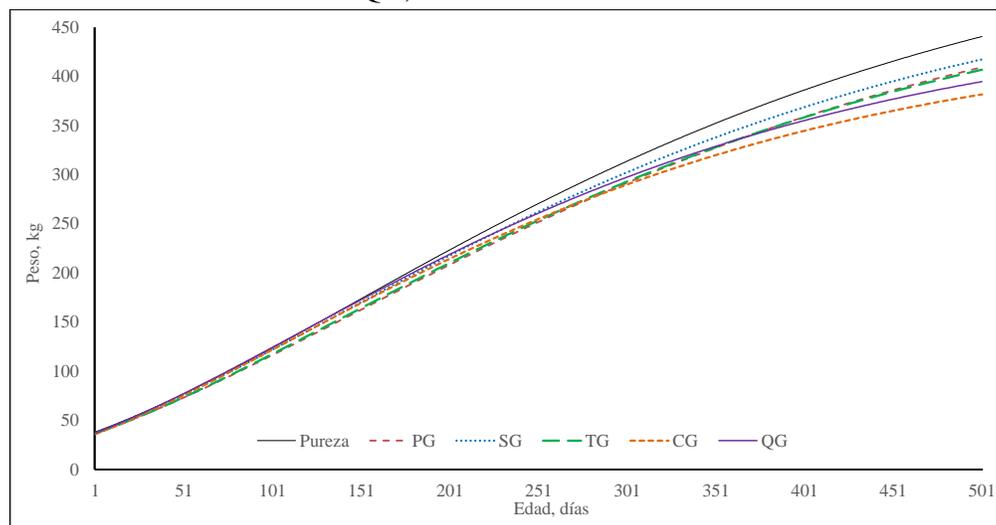
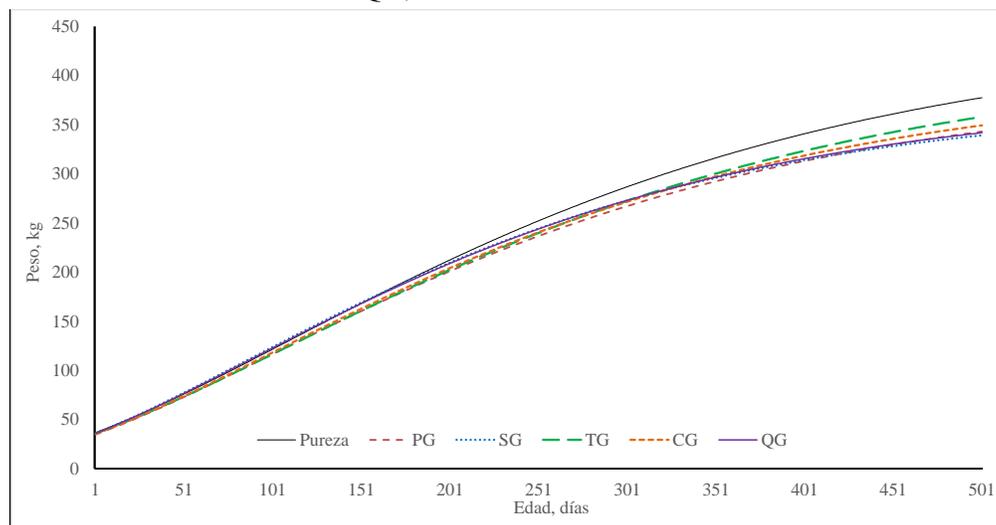


Figura 2: Curvas de crecimiento para hembras Limousin. Pureza, animales de raza pura; PG, 1/2 de Limousin; SG, 3/4 de Limousin; TG, 7/8 de Limousin; CG, 15/16 de Limousin; QG, 31/32 de Limousin



En bovinos Limousin de raza pura, Igarzabal *et al*⁽³⁾ en tres sistemas de producción reportaron como modelo de mejor ajuste GOM. En esquemas de cruzamiento de Limousin con Angus, Hereford y MARC III, Zimmermann *et al*⁽¹⁷⁾ utilizaron el modelo de BRO para caracterizar la curva de crecimiento y evaluar el peso vivo a la madurez. En bovinos Limousin x Friesian, representaron el crecimiento con base en el modelo GOM⁽²²⁾. En la raza Madrasin, producto del cruzamiento de Limousin con Madura, el crecimiento presentó una curva tipo sigmoide, caracterizada con el modelo LOG⁽²³⁾. Curvas de crecimiento evaluadas con el modelo BER, fueron reportadas en bovinos Holstein⁽²⁴⁾, Pirenaica y Blonda⁽³⁾.

En México, diversos estudios han discutido contrastes en el tipo de curva de crecimiento a través de razas. Para curvas de crecimiento sin punto de inflexión, Domínguez-Viveros *et al.*⁽²⁵⁾ en cinco razas de cebú en ganadería tropical, reportaron que los MNL de mejor ajuste fueron Brody, Meloum III y Mitscherlich; caso particular del modelo BRO, fue seleccionado con mejor ajuste en vacas Romosinuano⁽²⁰⁾, en bovinos Tropicarne⁽¹⁹⁾ y Salers⁽²⁶⁾. Para curvas de crecimiento tipo sigmoide, Contreras *et al.*⁽²⁷⁾ en vacas Jersey, Holstein y cruza Jersey con Holstein los MNL seleccionados fueron GOM, LOG y BER, respectivamente; el modelo BER se ha reportado en bovinos Hereford⁽²⁶⁾.

La incorporación de vaquillas de reemplazo a la fase reproductiva es de trascendencia para el progreso genético y rentabilidad del hato. Este procedimiento transcurre en tres etapas⁽²⁸⁾: inicia maduración de la hipófisis detonada a cierta edad y peso; seguida con el desarrollo de los ovarios y crecimiento corporal; maduración del útero como consecuencia del desarrollo pituitario y su influencia hormonal sobre el crecimiento corporal y actividad ovárica, permite a la vaquilla el empadre y desarrollar la gestación. En diversos estudios se ha analizado la influencia de los parámetros de crecimiento sobre variables reproductivas^(20,24,29); de esta forma, el punto de inflexión se ha asociado^(13,30,31) con el inicio de la fase reproductiva. La edad al primer parto es un indicador del tiempo que tarda un animal en alcanzar su madurez sexual y reproducirse por primera vez, el empadre alrededor de los 15 meses, con edad al primer parto en torno a los 24 meses, tiene efectos positivos en la longevidad y productividad de la vaca^(32,33). Con base en el modelo BER, se observan diferencias en las hembras de GPS vs PRZ para los componentes de la curva de crecimiento (Cuadro 4), las cuales se pueden atribuir a las diferencias genéticas a través de razas y los efectos de heterosis, producto del esquema de cruzamiento. En vaquillas de PRZ, la EPI se estimó a 3.7 meses con 131.2 kg para PPI; en GPZ, la EPI y el PPI estuvieron en los intervalos de 2.9 a 3.7 meses y 110.9 a 124.4 kg, con valores promedio de 3.3 y 116.4, respectivamente. Para E50M en hembras, en PRZ se estimó a 10.6 meses y para GPZ estuvo en el intervalo de 8.9 a 10.5 meses, con un valor promedio de 9.5. Para GM15 en hembras, en GPZ el valor promedio fue de 90.5 % y la estimación en PRZ fue de 87.9 %. En contraste, para hembras de otras poblaciones y con base en el modelo BER: Contreras *et al.*⁽²⁷⁾ para Holstein, Jersey y cruza estimaron EPI (meses) y PPI (kg) en los intervalos de 7.4 a 9.8 y 115.0 a 151.7, respectivamente; Domínguez-Viveros *et al.*⁽²⁵⁾ en cinco razas de cebú, reportaron estimaciones de EPI y PPI en los intervalos de 3.9 a 11.7 y 107.2 a 230.9, respectivamente; en Romosinuano⁽²⁰⁾, Tropicarne⁽¹⁹⁾ y Siboney⁽²⁹⁾ los resultados de EPI – PPI fueron de 15.5 – 132.5, 7.7 – 180.5 y 5.9 – 152.4, respectivamente.

Con respecto a los machos, la selección de sementales se realiza en PRZ y se incorporan a la reproducción a partir del año de edad; no obstante, reducir la edad de incorporación a la reproducción reduce el intervalo generacional y trasciende en el progreso genético⁽³⁴⁾. La curva de crecimiento puede incidir en el desarrollo de la fase reproductiva; en razas *Bos taurus*, los eventos fisiológicos asociados a la reproducción inician a los seis u ocho meses;

la madurez y capacidad reproductiva se precisan por la calidad del semen, con variaciones por efectos del peso vivo, tasa de crecimiento, circunferencias escrotal, entre otros factores⁽³⁵⁾. Los resultados señalan que los machos en PRZ alcanzan el 50 % de madurez a partir de los 13 meses, con valores superiores al 80 % a partir de los 15 meses (Cuadro 4). En contraste⁽²⁶⁾, en bovinos Hereford y Salers se reportaron grados de madurez de 68.2 % y 76.6 %, al año, respectivamente. Por otro lado, los indicadores de la curva de crecimiento están asociados a la rentabilidad en la producción; la TAC tiene efecto en la edad y peso al sacrificio; grado de madurez trascendencia en la eficiencia y composición de la canal^(16,22). Diferencias y derivaciones de la curva de crecimiento con relación a la producción, para machos de raza pura y diversos cruzamientos, han sido valoradas por diversos autores^(15,36,37).

El modelo de mejor ajuste fue von Bertalanffy, el cual describió una curva de crecimiento tipo sigmoide, con diferencias en los parámetros de crecimiento a través de los genotipos evaluados. Las estimaciones del punto de inflexión están en el contexto del crecimiento predestete.

Agradecimientos

Se agradece a la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin por facilitar la base de datos analizada.

Literatura citada:

1. Arango JA, Cundiff LV, Van Vleck LD. Breed comparisons of Angus, Charolais, Hereford, Jersey, Limousin, Simmental, and South Devon for weight, weight adjusted for body condition score, height, and body condition score of cows. *J Anim Sci* 2002;80(12):3123-3132.
2. Williams JL, Aguilar I, Rekaya R, Bertrand JK. Estimation of breed and heterosis for growth and carcass traits in cattle using published crossbreeding studies. *J Anim Sci* 2010;88(2):460-466.
3. Igarzabal A, Oregui LM, Mandaluniz N, Amenabar ME, Ruiz R, Neiker AB. Estudio de las curvas de crecimiento del ganado vacuno en los principales sistemas de producción del País Vasco. *ITEA* 2005;26(I):222-224.
4. Bouquet A, Venot E, Laloe D, Forabosco F, Fogh A, Pabiou T, *et al.* Genetic structure of the European Charolais and Limousin cattle metapopulations using pedigree analyses. *J Anim Sci* 2011;89(6):1719-1730.
5. Goncalves de RMP, Mendes MCH, Biffani S, Souza CPL, Carrillo JA, Bozzi R. Genotype-environment interaction for age at first calving in Limousin and Charolais cattle raised in Italy, employing reaction norm model. *Livest Sci* 2020;232:103912.

6. Sutarno S, Setyawan AD. Review: Genetic diversity of local and exotic cattle and their crossbreeding impact on the quality of Indonesian cattle. *Biodiversitas J Biol Divers* 2015;16(2):327-354.
7. Ríos-Utrera Á, Vega-Murillo VE, Martínez-Velázquez G, Montaña-Bermúdez M. Comparison of models for the estimation of variance components for growth traits of registered Limousin cattle. *Trop Subtrop Agroec* 2011;14(2):667-674.
8. AMCGL. Reglamento técnico de la asociación mexicana de criadores de ganado Limousin. Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2014.
9. AMCGL. Reglamento técnico de la asociación mexicana de criadores de ganado Limousin para el registro de ganado Limousin. Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2020.
10. AMCGL. Reglamento técnico de la asociación mexicana de criadores de ganado Limousin para el registro de ganado Brahmousin. Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Limousin. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2016.
11. France J, Dijkstra J, Dhanoa MS. Growth functions and their application in animal science. *Annales Zootech* 1996;45:165-174.
12. Ribeiro de FA. Growth curves in animal production. *Rev Brasil Zoot* 2005;34:786-795.
13. Maharani D, Amrullah AHK, Widayati DT, Sumadi S, Fathoni A, Khusnudin M. Predicting the age and weight at puberty of Ongole Grade cattle using nonlinear mathematical model in Kebumen Farmer Association. *J Indonesian Trop Anim Agric* 2017;42(4):233-239.
14. López de TG, Candotti JJ, Reverter A, Bellido MM, Vasco P, García LJ, Brinks JS. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *J Anim Sci* 1992;70(9):2668-2672.
15. Archer JA, Herd RM, Arthur PF, Parnell PF. Correlated responses in rate of maturation and mature size of cows and steers to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle. *Livest Prod Sci* 1998;54(3):183-192.
16. Agudelo GDA, Cerón MMF, Restrepo LLF. Modeling of growth functions applied to animal production. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2008;21(1):39-58.

17. Zimmermann MJ, Kuehn LA, Spangler ML, Thallman RM, Snelling WM, Lewis RM. Comparison of different functions to describe growth from weaning to maturity in crossbred beef cattle. *J Anim Sci* 2019;97(4):1523-1533.
18. Agudelo-Gómez D, Hurtado-Lugo N, Cerón-Muñoz MF. Growth curves and genetic parameters in Colombian buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Rev Colomb Cienc Pecu* 2009;22(2):178-188.
19. Domínguez-Viveros J, Rodríguez-Almeida FA, Núñez-Domínguez R, Ramírez-Valverde R, Ortega-Gutiérrez JA, Ruiz-Flores A. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos Tropicarne. *Agrociencia* 2013;47(1):25-34.
20. Martínez-Rocha R, Ramírez-Valverde R, Núñez-Domínguez R, García-Muñiz JG, Parra-Bracamonte GM. Comportamiento de crecimiento y reproductivo en hembras bovinas Romosinuano. *Rev MVZ Córdoba* 2021;26(1):e2033.
21. SAS. 2001. Statistical Analysis System Institute. User's Guide: Statistics (version 9.0). Cary NC, USA.
22. Akbas Y, Alcicek A, Onenc A, Gungor M. Growth curve analysis for body weight and dry matter intake in Friesian, Limousin x Friesian and Piemontese x Friesian cattle. *Arch Anim Breed* 2006;49(4):329-339.
23. Widias N, Prastowo S, Widi TSM, Baliarti E. Predicting Madura cattle growth curve using non-linear model. *IOP Conference Series: Earth Environment Sci* 2018;142:012006.
24. Coelho JG, Barbosa PF, Tonhati H, Ramalho de FMA. Analysis of the relationships of growth curve and productive efficiency of Holstein-Friesian cows. *Rev Brasil Zoot* 2009;38(12):2346-2353.
25. Domínguez-Viveros J, Rodríguez-Almeida FA, Aguilar-Palma GN, Castillo-Rangel F, Saiz-Pineda JF, Villegas-Gutiérrez C. Fitting of non-linear models to characterize the growth of five zebu cattle breeds. *Livest Sci* 2020;242:104303.
26. 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 Cient FCV-LUZ* 2014;24(5):436-442.
27. Contreras PS, García MJG, Ramírez VR, Núñez DR, González ACC. Comparison of equations to fit growth curves of Holstein, Jersey and Jersey x Holstein cows in a grazing system. *Rev Mex Cienc Pecu* 2021;12(4):1250-1263.

28. Hafez ESE. Reproducción e inseminación artificial en animales. 6ª edición. McGraw-Hill Interamericana de México. México, D. F. 2002.
29. Domínguez-Viveros J, González-Prieto S, Palacios-Espinosa A, Suárez-Tronco MA, Rodríguez-Almeida FA, Espinoza-Villavicencio JL, Rodríguez-Castro M. Parámetros de crecimiento y sus efectos en la edad al primer empadre de vacas Siboney. *Ecosist Rec Agrop* 2019;6(17):383-389.
30. Pittroff W, Dahm F, Blanc F, Keisler D, Cartwright TC. Onset of puberty and the inflection point of the growth curve in sheep – Brody's law revisited. *J Agric Sci* 2008;146(3):239-250.
31. Bahashwan S, Salim AA, Alfadli S, Johnson ES. Dhofari cattle growth curve prediction by different non-linear model functions. *Livest Res Rural Develop* 2015;27(12):27236.
32. Núñez-Domínguez R, Cundiff LV, Dickerson GE, Gregory KE, Koch RM. Lifetime production of beef heifers calving first at two vs three years of age. *J Anim Sci* 1991;69(9):3467-3479.
33. Cushman RA, Kill LK, Funston RN, Mousel EM, Perry GA. Heifer calving date positively influences calf weaning weight through six parturitions. *J Anim Sci* 2013;91(9):4486-4491.
34. Thundathil JC, Dance AL, Kastelic JP. Fertility management of bulls to improve beef cattle productivity. *Theriogenology* 2016;86(1):397-405.
35. Hopper RM (Ed). *Bovine Reproduction*. First edition. John Wile & Sons. Mississippi, USA. 2015.
36. Doren PE, Baker JF, Long CR, Cartwright TC. Estimating parameters of growth curves of bulls. *J Anim Sci* 1989;67(6):1432-1445.
37. Herrera RAC, Vergara GOD, Cerón MMF, Agudelo-Gómez D, Arboleda ZEM. Growth curves in crossbreed cattle using the Brody model. *Livest Res Rural Develop* 2008;20(9):20140.