



CURVA DE CRECIMIENTO Y TASAS DE CRECIMIENTO ABSOLUTO Y RELATIVO DE CABRITOS LOCALES EN EL NORTE DE MÉXICO †

[GROWTH CURVE AND RATES OF ABSOLUTE AND RELATIVE GROWTH OF LOCAL KID GOATS IN NORTHERN MÉXICO]

Jorge Alonso Maldonado-Jáquez^{1,2}, Vielka Jeaneth Castañeda-Bustos³,
Lorenzo Danilo Granados-Rivera⁴, Homero Salinas-González⁵,
Francisco Javier Pastor-López² and Glafiro Torres-Hernández^{2*}

¹ INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah., CP 27440. E-mail: maldonado.jorge@inifap.gob.mx; pastor.francisco@inifap.gob.mx

² Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Montecillo, Edo. de México, CP. 56230. E-mail: * glatohe@colpos.mx

³ Iniciativa Privada, San Luis Potosí, S.L.P. CP. 78000. E-mail: iazvielkajcb@yahoo.com.mx

⁴ INIFAP-Campo Experimental General Terán. General Terán, N.L. CP. 67400. E-mail: granados.danilo@inifap.gob.mx

⁵ Lincoln University, Cooperative Extension and Research. Jefferson City, MO, USA. PC. 65101. E-mail: salinas-gonzalez@lincolnu.edu

*Corresponding author

SUMMARY

Background. A growth curve allows us to identify the potential of animals to gain live weight. The growth curve of local goat kids in northern Mexico is unknown. **Objective.** Characterize the growth curve of local kids using two non-linear models and estimate the absolute and relative growth rates. **Methodology.** The Gompertz and Logistic models were used to characterize the growth curve and absolute and relative growth rates of the kids. The models were compared using four goodness-of-fit criteria. **Results.** The growth curve was similar with both models, the kids had mature weights of 62.5 and 58.3 kg with Gompertz and Logistic, respectively, although their maturation rate was slow. The Gompertz model slightly outperformed the Logistic in the goodness of fit. Both models were similar in estimating absolute and relative growth rates. **Implications.** The high mature weights obtained by the kids suggest a potential to start a dual-purpose production system in the region, which will result in higher income for producers. **Conclusion.** Local goat kids from northern Mexico mature slowly but reach a high mature weight.

Keywords: Live weight; maturation rate; meat production; arid zones.

RESUMEN

Antecedentes. Una curva de crecimiento permite identificar el potencial de los animales para ganar peso vivo. La curva de crecimiento de cabritos locales del norte de México es desconocida. **Objetivo.** Caracterizar la curva de crecimiento de cabritos locales utilizando dos modelos no lineales, y estimar las tasas de crecimiento absoluto y relativo. **Metodología.** Se utilizaron los modelos Gompertz y Logístico para caracterizar la curva de crecimiento y tasas de crecimiento absoluto y relativo de los cabritos. Los modelos se compararon mediante cuatro criterios de bondad de ajuste. **Resultados.** La curva de crecimiento fue similar con ambos modelos, los cabritos tuvieron pesos maduros de 62.5 y 58.3 kg con Gompertz y Logístico, respectivamente, aunque su tasa de maduración fue lenta. El modelo Gompertz superó ligeramente al Logístico en su bondad de ajuste. Ambos modelos fueron similares en la estimación de las tasas de crecimiento absoluto y relativo. **Implicaciones.** Los altos pesos maduros que obtuvieron los cabritos sugieren un potencial importante para iniciar un sistema de producción doble propósito en la región, que redundará en mayores ingresos para los productores. **Conclusión.** Los cabritos locales del norte de México tienen una maduración lenta, pero alcanzan un peso maduro alto.

Palabras Clave: Peso vivo; tasa de maduración; producción de carne; zonas áridas.

† Submitted October 22, 2020 – Accepted February 8, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los animales se define como el incremento corporal por unidad de tiempo y es una de las características más importantes que se deben medir en los animales domésticos (Bathaei and Leroy, 1998). En el crecimiento influyen diversos factores genéticos y no genéticos, como sexo, tipo de nacimiento, año de nacimiento, rebaño, edad, peso de la madre, entre otros (Iqbal *et al.*, 2018). Su mejor evaluación es a través de la tasa de crecimiento, o por los incrementos en peso y tamaño durante las diferentes etapas de la vida, debido a que es una función continua durante la vida de un animal, desde las primeras etapas embrionarias hasta que alcanza su peso maduro (Arango and Van Vleck, 2002). La tasa de crecimiento está relacionada con la tasa de maduración y el peso maduro, y se ha sugerido que estas variables están relacionadas con parámetros de la productividad total (de por vida) en los animales (Pala *et al.*, 2005). Asimismo, una tasa de crecimiento lenta incide en un bajo peso de mercado y se ha identificado como uno de los factores limitantes en la rentabilidad de los sistemas de producción (Abegaz *et al.*, 2010), incluido el extensivo en caprinos que se encuentran en áreas rurales con alta marginación.

Para conocer el comportamiento del crecimiento se utilizan herramientas conocidas como curvas de crecimiento, que incluyen el peso y edad (Waheed *et al.*, 2016; Gautam *et al.*, 2019). Una curva de crecimiento típica se divide en dos fases: una fase temprana en donde se incrementa la tasa de ganancia de peso, y otra fase tardía en donde la tasa de ganancia de peso disminuye (Trangerud *et al.*, 2007). De modo general, las curvas de crecimiento sintetizan información de todo el periodo de vida en un conjunto pequeño de parámetros matemáticos con interpretación biológica; además, permite evaluar el efecto de tratamientos a largo plazo, estudiar las interacciones entre subpoblaciones y tratamientos, e identificar en grandes grupos de animales a los individuos más pesados a edades más tempranas (Freitas, 2005; Figueiredo *et al.*, 2012). Las curvas de crecimiento pueden utilizarse para preseleccionar animales y proveer una predicción del crecimiento futuro a cualquier edad, por ello, su uso ha aumentado en diferentes ambientes y estrategias de mejoramiento (Waheed *et al.*, 2011). Para obtener curvas de crecimiento en diferentes especies domésticas existen varios modelos matemáticos. Estos modelos son atractivos debido a que incluyen efectos fijos y aleatorios, por tener una estructura de covarianza

flexible y hacer ajustes adecuados, aún en situaciones de datos desbalanceados (Barboza *et al.*, 2018).

En la Comarca Lagunera, en el norte de México, la producción de cabras es muy importante por su aportación de volumen de leche a nivel nacional, principalmente bajo un sistema de manejo extensivo. En esta región, tiene una mayor relevancia la producción de leche que la carne, lo que ocasiona que los cabritos se vendan a edades tempranas, por lo tanto, se desconoce la velocidad de crecimiento y comportamiento de la curva de crecimiento de los cabritos. Esta falta de información se acentúa tanto por la pobre asistencia técnica como por los registros de producción inexistentes por parte de los productores (Maldonado-Jáquez *et al.*, 2018). Por lo anterior, el conocimiento de la curva de crecimiento de los cabritos, tanto individual como a nivel de la población, es una oportunidad para generar información del potencial de crecimiento hasta la edad adulta. Por otro lado, permite identificar animales sobresalientes para su incorporación como reproductores en programas de mejoramiento genético. Dados estos antecedentes, en este estudio se plantearon los siguientes objetivos: 1) Caracterizar la curva de crecimiento de cabritos posterior al destete utilizando dos modelos no lineales, 2) Determinar la bondad de ajuste de los modelos utilizando cuatro criterios, y 3) Estimar las tasas de crecimiento absoluto y relativo de los cabritos con los mismos modelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio y animales

El estudio se llevó a cabo utilizando 1,596 observaciones de pesos vivos de 93 cabritos locales de 28 rebaños procedentes de 8 comunidades de los municipios de Viesca y Matamoros, Coahuila, México. Esta región se ubica entre las coordenadas 24° 22' y 26° 23' Latitud Norte y 102° 22' y 104° 47' Longitud Oeste, a 1100 msnm. El clima corresponde a BWhw y se caracteriza por ser muy seco o desértico, semicálido con invierno fresco, una precipitación media anual de 240 mm, la temperatura media anual a la sombra es de 25°C, con rangos de -1°C en invierno a 44°C en verano (García, 2004). La alimentación de las cabras está basada en especies de plantas nativas de los agostaderos, como pastos (*Sporobolus spp.* y *Muhlenbergia spp.*), arbustos (*Acacia spp.* y *Prosopis spp.*); además, en forma ocasional los

rebaños tienen acceso a residuos agrícolas de especies como melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*), avena forrajera (*Avena sativa*) y sorgo (*Sorghum halepense*).

Debido a que los productores en esta región no conservan los machos, los cabritos utilizados fueron seleccionados de un núcleo de 1,749 hembras, en donde el criterio de selección fue que estos cabritos fueran hijos de hembras con producciones de leche superiores al promedio del rebaño de procedencia (producción promedio superior a 1.0 kg d⁻¹ cabra⁻¹). Los machos permanecieron con sus madres desde el nacimiento hasta el destete, efectuado a una edad promedio de 74 d. Después del destete se trasladaron al módulo caprino del CIRNOC-INIFAP-C.E. La Laguna, Matamoros, Coahuila. Los machos se manejaron bajo condiciones intensivas, alojados en corrales grupales de 225 m². Todos los animales se alimentaron *ad libitum* con una dieta con 16% de proteína cruda a base de heno de alfalfa, avena, pasto ryegrass y siempre tuvieron libre acceso a agua limpia y bloques de sales minerales. Se desparasitaron interna y externamente, se vacunaron y se les aplicó el complejo de vitaminas ADE. El peso vivo (PV) de todos los cabritos se registró semanalmente desde su llegada al módulo caprino hasta la edad de 1,100 días, por lo que el período efectivo de la prueba fue de 1,026 días. La longitud de esta prueba fue a propósito, precisamente para conocer el potencial de crecimiento que podrían tener estos animales para considerar su posible utilización en sistemas de producción para carne en esta región. El PV se midió con una báscula electrónica colgante (Rhino, Guadalajara, México) con capacidad de 300 kg ± 100 g. El cuidado y manejo de los animales se llevó a cabo de acuerdo con las normas del Consejo Mexicano para el Cuidado de los Animales (NOM-062-ZOO-1999).

Análisis estadístico

Para ajustar la curva de crecimiento se utilizaron los dos siguientes modelos no lineales, en donde el cabrito se consideró como efecto aleatorio: 1) Gompertz (Freitas, 2005): $y(t) = A \exp [-b \exp (-kt)] + \varepsilon$, donde **y**: peso vivo a la edad “**t**”, **A**: peso asintótico, interpretado como el peso adulto, **b**: es un parámetro de integración relacionado con el peso corporal inicial, que queda definido por los valores iniciales tanto de “**y**” como de “**t**”, **k**: tasa de maduración, interpretada como el cambio de peso en relación al peso maduro, indicando qué tan rápido el animal alcanza su peso adulto, **ε**: error aleatorio, normalmente distribuido con

media cero y varianza constante; 2) Logístico (Freitas, 2005): $y_t = A(1 + be^{-kt})^{-1} + \varepsilon$, donde **y**, **t**, **A**, **b**, **k**, y **ε** quedan definidos igual que en el modelo Gompertz, mientras que “**e**” es la base del logaritmo natural. La mayor efectividad de los modelos no lineales, en comparación con los lineales, radica en que la curva de crecimiento tiene una forma sigmoidea (Tariq *et al.*, 2013). Se hizo la suposición de que el peso inicial de la prueba no tenía un efecto materno, el que podría interferir en el análisis de las curvas de crecimiento (Onogi *et al.*, 2019). Los parámetros de ambos modelos se estimaron utilizando el PROC NL MIXED del SAS (SAS, 2015).

Para determinar la bondad de ajuste de los modelos se utilizaron cuatro criterios. El criterio 1 fue el CME (cuadrado medio del error) = SCE/n-k, donde SCE: suma de cuadrados del error, n: número de observaciones, k: número de parámetros del modelo (Posada y Noguera, 2007); el criterio 2 fue el CIB (criterio de información Bayesiano) = -2 * log Lik + log (n) * k, donde log Lik: logaritmo de máxima verosimilitud, n: número de observaciones, k: número de parámetros del modelo (Posada y Noguera, 2007); el criterio 3 fue el R² (coeficiente de determinación) = 1 - (SCE/SCT), donde SCE: suma de cuadrados del error, SCT: suma de cuadrados total (Posada y Noguera, 2007); y el criterio 4 fue la tasa de convergencia (TC, Agudelo-Gómez *et al.*, 2009), que se calculó como el porcentaje de animales con curvas individuales convergentes (Nocedal y Wright, 2006; Viguera, 2016). En el estudio de curvas de crecimiento también es importante conocer el punto de inflexión, el cual se refiere al punto donde la curva pasa de ser cóncava a convexa (Gaddour and Najari, 2008), es decir, el punto en donde la tasa de crecimiento cambia de una función creciente a otra decreciente (Cak *et al.*, 2017). Una vez conocidos los valores de los parámetros “**A**”, “**b**”, y “**k**”, se calcularon el día (DPI) y peso vivo al punto de inflexión (PVPI) como $\ln(b/k)$ y $A/\ln(b/k)$, respectivamente (Lupi *et al.*, 2016; Ghiasi *et al.*, 2018).

Para el cálculo de las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR) se utilizaron las siguientes fórmulas: $TCA = (PV_{tf} - PV_{ti}) / (t_f - t_i)$; $TCR = (\ln PV_{tf} - \ln PV_{ti}) / (t_f - t_i)$. En estas fórmulas, PV: peso vivo, tf: tiempo final, ti: tiempo inicial, ln: logaritmo natural (Ghafouri-Kesbi and Rafiei-Tari, 2015; Pires *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de crecimiento y parámetros de los modelos

La curva de crecimiento fue similar y coincidió con ambos modelos, y desde el inicio de la prueba se observó un crecimiento gradual y sostenido (Figura 1). El valor obtenido del parámetro A (peso maduro) en el presente estudio, tanto del modelo Gompertz (62.5) como del Logístico (58.3) es mayor al que se ha encontrado en otros caprinos locales, como en Túnez (Najari *et al.*, 2007), Cuba (La O Arias *et al.*, 2013) y Nigeria (Raji *et al.*, 2015), aunque el periodo de las pruebas en esos casos fue menor (rango: 240-600 días), comparado con el del presente estudio que fue de 1026 días. El parámetro b obtenido por La O Arias *et al.* (2013) con el modelo Gompertz fue mayor (3.32) al obtenido con el mismo modelo en el presente estudio (1.72), mientras que en el caso del parámetro k, Najari *et al.* (2007) obtuvieron con el modelo Gompertz el mayor valor (38.15). Abegaz *et al.* (2010) y Cak *et al.* (2017) indicaron que existe una correlación negativa entre los parámetros A y k, lo que indica que animales que maduran rápidamente tendrán menor peso maduro que aquellos cuya tasa de maduración es más lenta.

Las diferencias en los resultados de estos estudios en lo referente a los parámetros A y k se pueden atribuir a factores como: modelo utilizado,

genotipo del animal, ambiente agroclimático, manejo de los animales (con énfasis en la alimentación), y selección (Özdemir and Dellal, 2009; Ghaderi-Zefrehei *et al.* (2018), aunque otro factor puede ser la longitud del periodo de la prueba. EL resultado del parámetro b no se discute debido a que no tiene una interpretación biológica (Ariff *et al.*, 2010; Adenaik *et al.*, 2017). Los parámetros de la curva de crecimiento son altamente heredables, por lo que pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de selección genéticas (Mignon-Grasteau *et al.*, 2000; Lewis *et al.*, 2002). Por otra parte, los parámetros de la curva de crecimiento proporcionan criterios útiles para alterar la relación entre peso corporal y edad a través de selección (Kachman and Gianola, 1984) y así, por selección, puede obtenerse una curva óptima de crecimiento para valores deseados de los parámetros de la curva de crecimiento (Bathaei and Leroy, 1998).

Bondad de ajuste de los modelos

Las curvas de crecimiento con ambos modelos fueron similares, lo que está evidenciado por los valores tanto de los parámetros como por los valores de los criterios utilizados para medir la bondad de ajuste de cada modelo (Tabla 1). Resultados similares son reportados en las curvas obtenidas por Pires *et al.* (2017) en un estudio con cabras Repartida de Brasil y donde utilizaron los mismos modelos.

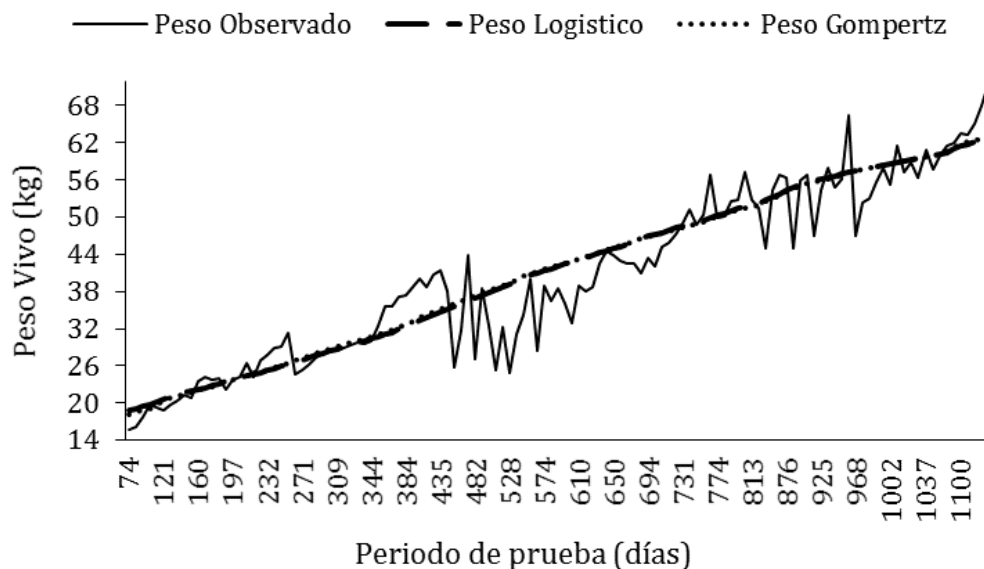


Figura 1. Curva de crecimiento de cabritos locales en el norte de México obtenida de los modelos Logístico y Gompertz.

Tabla 1. Resultados de los criterios de bondad de ajuste utilizados en los modelos Logístico y Gompertz, utilizados para determinar la curva de crecimiento de cabritos locales en el norte de México.

Criterio	Modelo	
	Gompertz	Logístico
CME	21.1512	21.5066
CIB	9661.4	9687.9
R ²	88.17	84.74
TC	86.76%	86.69%

CME: cuadrado medio del error; CIB: criterio de información Bayesiano; R²: coeficiente de determinación; TC: Tasa de convergencia.

Sin embargo, el modelo Gompertz tuvo una ligera ventaja sobre el Logístico en cuanto al ajuste de la curva de crecimiento al tener valores menores del CME y CIB, pero mayores en R² y TC (Tabla 2). Gaddour and Najari (2008) y Gaddour *et al.* (2012) probaron cinco modelos no lineales y obtuvieron el mejor ajuste con el modelo Gompertz en cabras Alpinas, Damasco y sus cruces, tomando como único criterio de bondad de ajuste el valor de R². En cabritos mestizos de Brasil, Figueiredo *et al.* (2012) encontraron el mejor ajuste con el modelo Gompertz con base en los criterios CME y R², pero fue similar al modelo Logístico usando el criterio TC. Resultados distintos reportan La O Arias *et al.* (2013) en cabritos locales cubanos al comparar los modelos Gompertz y Logístico, en donde resultó mejor el Logístico, debido a que tuvo el mayor valor en R² y menor en CME, tanto en machos como en hembras. De igual forma, Özdemir and Dellal (2009) compararon los modelos Gompertz y Logístico en cabras Angora utilizando como criterio de bondad de ajuste el valor de R², encontrando que no hubo diferencias entre estos modelos, ya que tuvieron un valor similar de R² al comparar los modelos Gompertz y Brody en curvas de crecimiento de cabras Beetal, y tomando como único criterio de bondad de ajuste el valor de R². Waheed *et al.* (2011) concluyeron que estos mismos modelos se comportaron de la misma manera, al obtener el mismo valor de R². Otros estudios también han encontrado que el modelo Gompertz es apropiado para ajustar curvas de crecimiento en cabras (Sghaier *et al.*, 2007; Kume and Hajno, 2010; Ghiasi *et al.*, 2018). Los valores obtenidos del día (DPI) y peso vivo al punto de inflexión (PVPI) en el presente estudio fueron 22.8 d y 11.1 kg y 21.6 d y 11.9 kg para los modelos Logístico y Gompertz, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Día (DPI) y peso vivo al punto de inflexión (PVPI) y promedios de las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR) de los modelos Logístico y Gompertz en el crecimiento de cabritos locales en el norte de México.

Modelo	DPI* (d)	PVPI** (kg)	TCA (kg d ⁻¹)	TCR (g kg ⁻¹ d ⁻¹)
Logístico	478.6	36.7	0.041	0.0012
Gompertz	353.3	31.1	0.043	0.0013

Utilizando el modelo Gompertz se han reportado valores de DPI y PVPI, respectivamente, de 38.1 d y 5.9 kg en caprinos locales (Najari *et al.*, 2007), 47 d y 9.0 kg en caprinos Alpinos (Kume and Hajno, 2010), 10 d y 5.7 kg en caprinos Alpinos, Damasco y sus cruces (Gaddour *et al.*, 2012), 62 d y 3.0 kg en caprinos locales (Raji *et al.*, 2015), 53 d y 6.6 kg en caprinos Raeini Cashmere (Ghiasi *et al.*, 2018). Con el modelo Logístico estos valores han sido 100 d y 15.1 en caprinos Mambrina (Carneiro *et al.*, 2009), 70 d y 11.8 kg en caprinos Repartida (Pires *et al.* (2017). Entre otros, estas diferencias entre los valores citados se pueden explicar por factores como genotipo, modelo utilizado, longitud de la prueba y ambiente. El valor de PVPI es el peso maduro (parámetro A) que alcanzan los animales, que es el peso indicado para el sacrificio. Sin embargo, Brown *et al.* (1976) mencionaron que el parámetro A no representa necesariamente el mayor peso que el animal puede alcanzar, sino que es el peso promedio que tiene en la madurez, en forma independiente de las variaciones estacionales. Las poblaciones de cabritos locales de la Comarca Lagunera representan poblaciones altamente heterogéneas en su composición racial, razón por la que se les ha denominado “mosaico lagunero” (Montaldo *et al.*, 2010), por lo que, debido a esta alta variación genética, existe la posibilidad de que estos cabritos puedan alcanzar todavía mayores pesos en su madurez, intentando de esta manera iniciar en estas poblaciones un sistema de doble propósito, carne y leche, que signifique mayores ingresos para los productores.

Tasa de crecimiento absoluto

La TCA con el modelo Gompertz fue mayor al inicio de la prueba con un valor de 0.042 kg d⁻¹, alcanzando un pico (0.047 kg d⁻¹) aproximadamente en el día 350, y terminando la prueba con 0.030 kg d⁻¹ (Figura 2). Con el modelo

Logístico esos valores fueron 0.037, 0.048, y 0.026 kg d⁻¹, respectivamente. Carneiro *et al.* (2009) utilizando el modelo Logístico en caprinos Mambрина encontraron en TCA un pico de 140 g d⁻¹ a una edad de 100 días, pero fue nula al acercarse a los 460 días de edad. También con el modelo Logístico, Pires *et al.* (2017) encontraron en caprinos Repartida un pico en TCA de 930 g d⁻¹ a los 2 meses de edad, pero a partir de los 7 meses de edad casi no ganaron peso, concluyendo que los cabritos pueden sacrificarse a 210 días de edad, resultado que los autores atribuyeron a un manejo muy pobre, en particular en la alimentación. Con el modelo Gompertz, Figueiredo *et al.* (2012) en caprinos mestizos Boer x Nubia obtuvieron una curva de TCA con un pico de 180 g d⁻¹ que ocurrió a los 35 días de edad, pero a partir de allí la curva fue decreciendo en forma gradual hasta los 200 días de edad, en donde se hizo asintótica. En caprinos Markhoz de Irán, Kheirabadi and Rashidi (2019) utilizaron el modelo de Brody para estimar la TCA, obteniendo en sus resultados que los valores declinaron gradualmente con el tiempo, obtenciéndose un pico de 220 g d⁻¹.

La diferencia en la forma de la curva de TCA del presente estudio con respecto a los encontrados en la literatura puede explicarse principalmente por el genotipo de los animales, ya que, a pesar de que los cabritos del presente estudio se alimentaron con una dieta de buena calidad nutritiva (15% PC

y 1.5 Mcal EM), no lograron siquiera llegar a los 100 g de ganancia diaria de peso durante toda la prueba, lo que refleja un valor genético bajo para ganancia de peso. Para mejorar la TCA de los cabritos locales del norte de México sería recomendable efectuar una selección para TCA entre el destete y 12 meses de edad y entre el destete y 18 meses de edad, de acuerdo a valores de h² de moderados a altos obtenidos en corderos (Stobart *et al.*, 1986).

Tasa de crecimiento relativo

La TCR al inicio de la prueba tuvo un valor ligeramente mayor con el modelo Gompertz (0.0024 g kg⁻¹ d⁻¹) respecto al Logístico (0.0020 g kg⁻¹ d⁻¹) (Figura 3).

Sin embargo, las curvas de TCR con ambos modelos tuvieron un descenso gradual casi lineal y a partir del día 350 coincidieron en su descenso hasta el final de la prueba, en donde la TCR fue similar con ambos modelos, teniendo un valor de 0.0005 g kg⁻¹ d⁻¹. Kumar *et al.* (2001) llevaron a cabo un estudio con cabritos F₁ Beetal x Black Bengal para evaluar la TCR del peso vivo en los períodos de 0-4, 4-8, 8-12, y 0-12 semanas de edad, encontrando que la variación en el peso vivo durante 0-4 semanas de edad debida al peso al nacimiento y tipo de nacimiento resultó significativa (p<0.01). En cabritos Black

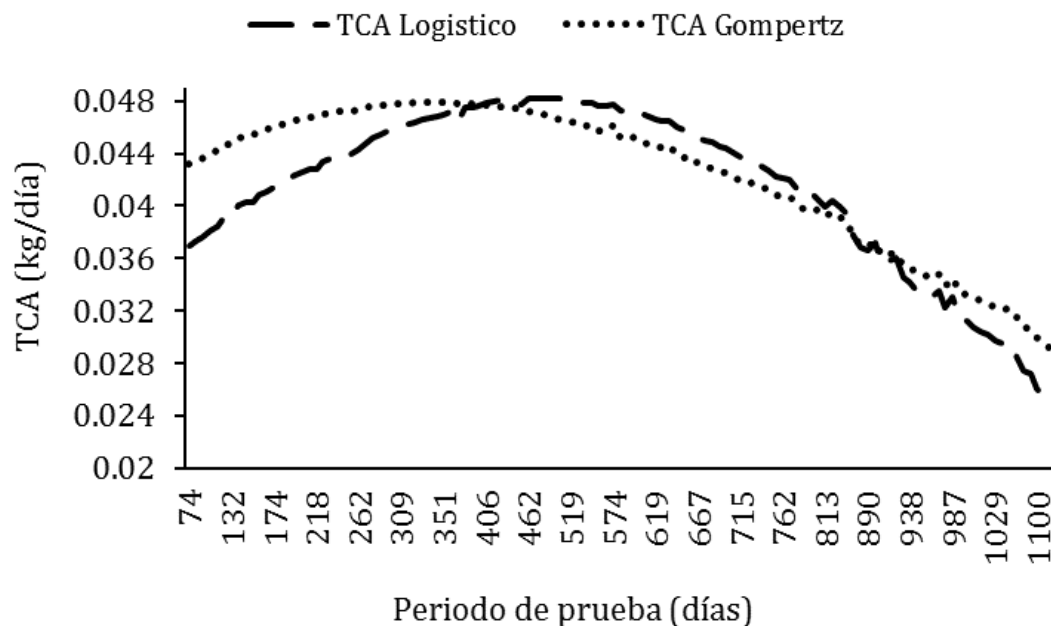


Figura 2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de cabritos locales en el norte de México, obtenida de los modelos Logístico y Gompertz.

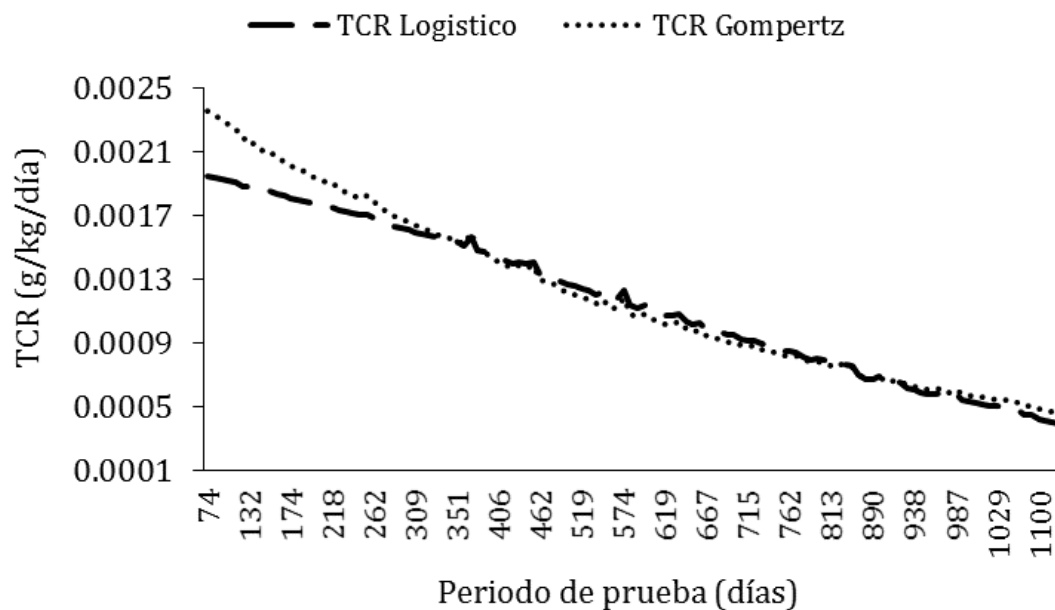


Figura 3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de cabritos locales en el norte de México obtenida de los modelos Logístico y Gompertz.

Bengal, Singh (2002) analizó la TCR en el peso vivo de 0-4, 4-8, 8-12, y 0-12 semanas de edad, y encontró que la TCR en el período 0-4 semanas tuvo un efecto positivo ($P < 0.01$) y una correlación fenotípica positiva ($r = 0.65$, $P < 0.01$) con la TCR durante 0-12 semanas de edad. Por otra parte, Sharma and Pathodiya (2006) estimaron en un periodo de 3 años la heredabilidad (h^2) de la TCR de cabritos Sirohi durante 0-3 (TCR1), 3-6 (TCR2), 6-9 (TCR3), y 9-12 (TCR4) meses de edad, encontrando valores de 0.31 ± 0.12 , 0.31 ± 0.12 , 0.06 ± 0.07 , y 0.11 ± 0.08 , para TCR1, TCR2, TCR3, y TCR4, respectivamente. Stobart *et al.* (1986) analizaron la TCA y TCR en corderos Columbia, Rambouillet y Targhee en los periodos nacimiento-destete (N-D), destete a 12 meses de edad (D-12M), 12 a 18 meses de edad (12-18M), nacimiento a 12 meses de edad (N-12M), y nacimiento a 18 meses de edad (N-18M). Los valores de h^2 para TCA y TCR fueron de moderados a altos y fueron similares para los mismos intervalos de edad. Por otra parte, la TCA predestete estuvo correlacionada negativamente con la TCA postdestete. Jeichitra *et al.* (2014) analizaron las TCR de corderos Mecheri en los períodos predestete (TCR1), 3-6 meses de edad (TCR2), 6-9 meses de edad (TCR3), y 9-12 meses de edad (TCR4), obteniendo promedios de 1.38 ± 0.007 , 0.41 ± 0.006 , 0.27 ± 0.004 , y 0.17 ± 0.004 % d^{-1} , para TCR1, TCR2, TCR3, y TCR4, respectivamente. En corderos Zandi, Ghafouri-Kesbi and Rafieri-Tari (2015) estimaron

la h^2 de la TCR en 5 fases del crecimiento: nacimiento al destete (TCR1), destete a 6 meses de edad (TCR2), destete a 9 meses de edad (TCR3), destete a 1 año de edad (TCR4), y 6 meses a 1 año de edad (TCR5), siendo esos valores 0.13, 0.12, 0.15, 0.10, y 0.04 para TCR1, TCR2, TCR3, TCR4, y TCR5, respectivamente. Con el propósito de mejorar los pesos vivos y la TCR de los cabritos locales del norte de México se podrían considerar los resultados de algunos de los anteriores estudios. Por ejemplo, para mejorar la TCR sería recomendable practicar una selección del destete a 12 meses de edad y del destete a 18 meses de edad, de acuerdo a valores de h^2 de moderados a altos obtenidos en corderos (Stobart *et al.*, 1986), así como una selección para TCR predestete de acuerdo a la correlación negativa entre TCR predestete y peso al nacimiento, pero positiva entre TCR predestete y TCR entre nacimiento y destete, y entre TCR predestete y TCR entre destete y 6 meses de edad, también obtenidas en corderos (Ghafouri-Kesbi and Rafieri-Tari, 2015).

CONCLUSIÓN

La curva de crecimiento mostró un incremento gradual y sostenido hasta el final de la prueba, siendo similar en ambos modelos. Los cabritos tuvieron un peso maduro de 62.5 con el modelo Gompertz y 58.3 kg con el Logístico, aunque su tasa de maduración fue lenta. Los dos modelos

fueron similares en los criterios para medir la bondad de ajuste, aunque el modelo Gompertz fue ligeramente mejor que el Logístico, con valores menores del cuadrado medio del error y del criterio de información Bayesiano, así como mayores del coeficiente de determinación y la tasa de convergencia. Para fines prácticos, los modelos Gompertz y Logístico se comportaron de manera similar en la estimación de las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR), con promedios generales respectivos de 0.043 kg d⁻¹ y 0.0013 g kg⁻¹ d⁻¹.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los caprinocultores de los Municipios de Viesca y Matamoros, Coahuila, por su disposición y cooperación con sus animales en la realización de este estudio.

Financiamiento. Se agradece el financiamiento del INIFAP a través de fondos fiscales, como Fundación Produce Coahuila por financiamiento parcial en esta investigación.

Conflicto de intereses. Los autores declaran estar de acuerdo con el contenido de esta información, el orden en que aparecen los autores, y que no hubo conflicto de intereses en ningún aspecto relacionado con esta publicación.

Cumplimiento de estándares de ética. El uso con los animales fue efectuado de acuerdo con los lineamientos establecidos y aprobados por INIFAP y el Colegio de Postgraduados.

Disponibilidad de datos. Los autores declaramos que, una vez aceptado el artículo, la revista decide sobre la publicación y distribución del documento.

REFERENCIAS

- Abegaz, S., Van Wyk, J.B., Olivier, J.J. 2010. Estimation of genetic and phenotypic parameters of growth curve and their relationship with early growth and productivity in Horro sheep. *Archives of Animal Breeding*. 53: 85-94. DOI: 10.5194/aab-53-85-2010.
- Adenaike, A.S., Akpan, U., Udoh, J.E., Wheto, M., Durosaro, S.O., Sanda, A.J., Ikeobi, C.O.N. 2017. Comparative evaluation of growth functions in three broiler strains of Nigerian chickens. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 40(4): 611-620.
- Agudelo-Gómez, D., Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz, M.F. 2009. Growth curves and genetic parameters in Colombian buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 22(2): 178-188.
- Arango, J.A., Van Vleck, L.D. 2002. Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genetics and Molecular Research*. 1(1): 51-63. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub>.
- Ariff, O.M., Hifzan, R.M., Zuki, A.B.M., Jiken, A.J., Lehan, S.M. 2010. Maturing pattern for body weight, body length and height at withers of Jamnapari and Boer goats. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*. 33(2): 269-276.
- Barboza, O.R.C., Silva, L.F., Hongyu, K. 2018. Cluster analysis of the estimates from growth curves. *Biodiversity*. 17(Special Issue): 39-47.
- Bathaei, S.S., Leroy, P.L. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research*. 29(3): 261-269. DOI 10.1016/S0921-4488(97)00142-9
- Brown, J.E., Fitzhugh, Jr., H.A., Cartwright, T.C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science*. 42(4): 810-818. DOI: [org/10.2527/jas1976.424810x](https://doi.org/10.2527/jas1976.424810x).
- Cak, B., Yilmaz, O., Keskin, S., Bayril, T., Tariq, M.M. 2017. Determination of appropriate growth models for early selection possibilities in goats. *Pakistan Journal of Zoology*. 49(2): 543-547. DOI: 10.17582/journal.pjz/2017.49.2.543.547.
- Carneiro, P.L.S., Malhado, C.H.M., Affonso, P.R.A.M., Pereira, D.G., Suzart, J.C., Ribeiro Júnior, M., Rocha, J.L. 2009. Curva de crescimento em caprinos, da raça Mambрина, criados na caatinga. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 10(3): 536-545.

- <http://mc04.manuscriptcentral.com/rbspa-scielo>.
- Figueiredo, L.A., Rocha-Sarmiento, J.L., Guimarães-Campelo, J.E., da Silva-Santos, N.P., Rufino de Sousa, J.E., Biagiotti, D. 2012. Fatores ambientais e genéticos sobre a curva de crescimento de caprinos mestiços. *Comunicata Scientiae*. 3:154-161.
- Freitas, A.R. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34(3): 786-795. DOI: 10.1590/S1516-35982005000300010.
- Gaddour, A., Najari, S. 2008. Adjustment of the kid's growth curve in pure goat breeds and crosses under southern tunisian conditions. *Journal of Applied Animal Research*. 34(2): 117-120. DOI: 10.1080/09712119.2008.9706954.
- Gaddour, A., Ouni, M., Najari, S. 2012. Growth curve estimation in pure goat breeds and crosses of first and second generation in Tunisian oases. *Journal of Cell and Animal Biology*. 6(6): 99-103. DOI: 10.5897/JCAB12.018.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- García-Muñiz, J.G., Ramírez-Valverde, R., Núñez-Domínguez, R., Hidalgo-Moreno, J.A. 2019. Dataset on growth curves of Boer goats fitted by ten non-linear functions. *Data in Brief*. 23: 103672. DOI: 10.1016/j.dib.2019.01.020.
- Gautam, L., Kumar-Nagda, R.A., Ashraf-Waiz, H. 2019. Growth modeling and genetic analysis on growth traits of Sirohi goat under field conditions. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 9(1): 115-124.
- Ghaderi-Zefrehei, M., Rafeie, F., Bahreini Behzadi, M.R., Nazari, S., Muhaghegh-Dolatabady, M., Samadian, F., Maxwell, T.M.R., Amirpour Najababadi, H. 2018. Simple hierarchical and general nonlinear growth modeling in sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 42: 326-334.
- Ghafouri-Kesbi, F., Rafiei-Tari, A. 2015. Relative growth rate in sheep: heritability and relationship with absolute growth rate and body weight. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*. 37(1): 21-27.
- Ghiasi, H., Lupi, T.M., Mokhtari, M.S. 2018. The estimation of genetic parameters for growth curve traits in Raeini Cashmere goat described by Gompertz model. *Small Ruminant Research*. 165: 66-70. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.06.015.
- Iqbal, F., Eyduran, E., Ali, M., Raziq, A., Zil-e-Huma, Sevgenler, H. 2018. Comparison of the non-linear functions and MARS algorithm for defining the growth of Harnai Sheep. *Pakistan Journal of Zoology*. 45(3): 661-665.
- Jeichitra, V., Rajendran, R., Karunanithi, K., Rahumathulla, P.S. 2014. Genetic analysis of relative growth rates in Mecheri sheep. *Indian Veterinary Journal*. 91(1): 12-15.
- Kachman, S.D., Gianola, D. 1984. A Bayesian estimator of variance and covariance components in nonlinear growth models. *Journal of Animal Science*. 59(Suppl. 1): 176 (Abstract).
- Kheirabadi, K., Rashidi, A. 2019. Modelling and genetic evaluation of Markhoz goat growth curve parameters. *Small Ruminant Research*. 170: 43-50. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.11.017.
- Kumar, S., Singh, D.K., Singh, C.S.P., Singh, N.S., Shrivastava, A.K. 2001. Factors affecting pre-weaning relative growth rate (RGR) in 1/2 Beetal + 1/2 Black Bengal kids. *Journal of Research, Birsa Agricultural University*. 13(1): 85-89.
- Kume, K., Hajno, L. 2010. Study of growth curve variations for kids 0-6 months old of Alpine goat breed in Albania. *Archiva Zootechnica*. 13(2): 54-62.
- La O Arias, M.A., Guevara, F., Fonseca, N., Rodríguez, L., Pinto, R., Gómez, H., Medina, F.J., Hernández, A. 2013. Aplicación de los modelos logístico y Gompertz al análisis de curvas de peso vivo en cabritos criollos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 47(1): 1-5.
- Lewis, R.M., Emmans, G.C., Dingwall, W.S., Simm, G. 2002. A description of the growth of sheep and its genetic

- analysis. *Animal Science*. 74(1): 51-62. DOI: 10.1017/S1357729800052176.
- Lupi, T.M., León, J.M., Nogales, S., Barba, C., Delgado, J.V. 2016. Genetic parameters of traits associated with the growth curve in Segureña sheep. *Animal*. 10(5): 729-735. DOI: 10.1017/S1751731115002773.
- Maldonado-Jáquez, J.A., Salinas-González, H., Torres-Hernández, G., Becerril-Pérez, C.M., Díaz-Rivera, P. 2018. Factors influencing milk production of local goats in the Comarca Lagunera, México. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 30, Article #132. Retrieved March 8, 2020, from <http://www.lrrd.org/lrrd30/7/glat30132.html>
- Mignon-Grasteau, S., Piles, M., Varona, L., Rochambeau, H., Poivey, J.P., Blasco, A., Beamunt, C. 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *Journal of Animal Science*. 78(10): 2515-2524. DOI: 10.2527/2000.78102515x.
- Montaldo, H.H., Torres-Hernández, G., Posadas-Valencia, M. 2010. Goat breeding research in Mexico. *Small Ruminant Research*. 89: 155-163. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2009.12.039.
- Najari, S., Gaddour, A., Ben Hamouda, M., Djemali, M., Khaldi, G. 2007. Growth model adjustment of local goat population under pastoral conditions in Tunisian arid zone. *Journal of Agronomy*. 6(1): 61-67. DOI: 10.3923/ja.2007.61.67.
- Nocedal, J., Wright, S. 2006. *Numerical Optimization*. Springer. New York.
- Onogi, A., Ogino, A., Sato, A., Kurogi, K., Yasumori, T., Togashi, K. 2019. Development of a structural growth curve model that considers the causal effect of initial phenotypes. *Genetics Selection Evolution*. 51(19): DOI: 10.1186/s12711-019-0461-y.
- Özdemir, H., Dellal, G. 2009. Determination of growth curves in young Angora goats. *Tarim Bilimleri Dergisi*. 15(4): 358-362.
- Pala, A., Savas, T., Uğur, F., Daş, G. 2005. Growth curves of Turkish Saanen goats' kids grouped for weight and body mass index. *Archives of Animal Breeding*. 48(2): 185-193. DOI: 10.5194/aab-48-185-2005.
- Pires, L., Medeiros Machado, T.M., Souza Carneiro, P.L., Lopes da Silva, J.B., de Holanda Barbosa, A.D., de Almeida Torres, R. 2017. Growth curve of Repartida goats reared in the Caatinga region, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 38(2): 1041-1050. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n2p1041.
- Posada, S.L., Noguera, R.R. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 20(2): 141-148.
- Raji, A.O., Asheikh, L.G., Mohammed, I.D. 2015. Comparison of growth of male and female kids of nondescript goats in a semi arid region of Nigeria. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 5(1):115-120.
- SAS. 2015. *SAS/STAT® 14.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sghaier, N., Gaddour, A., Mabrouk, O., Mouldi, A., Mohamed, B.H. 2007. Non genetic factors affecting local kid's growth curve under pastoral mode in Tunisian arid region. *Journal of Biological Sciences*. 7(6): 1005-1016. DOI: 10.3923/jbs.2007.1005.1016
- Sharma, M.C., Pathodiya, O.P. 2006. Genetic analysis of relative growth rate in Sirohi kids under field condition. *Indian Journal of Small Ruminants*. 12(1): 56-60.
- Singh, D.K. 2002. Factors affecting pre-weaning relative growth in Black Bengal kids. *Indian Veterinary Journal*. 79(9): 948-951.
- Stobart, R.H., Bassett, J.W., Cartwright, T.C., Blackwell, R.L. 1986. An analysis of body weight and maturing patterns in western range ewes. *Journal of Animal Science*. 63(3): 729-740. DOI: 10.2527/jas1986.633729x.
- Tariq, M., Iqbal, F., Eyduran, E., Bajwa, M.A., Huma, Z.E., Waheed, A. 2013.

- Comparison of non-linear functions to describe the growth in Mengali sheep breed of Balochistan. *Pakistan Journal of Zoology*. 45(3): 661-665.
- Trangerud, C., Grøndalen, J., Indrebø, A., Tverdal, A., Ropstad, E., Moe, L. 2007. A longitudinal study on growth and growth variables in dogs of four large breeds raised in domestic environments. *Journal of Animal Science*. 85(1): 76-83. DOI: 10.2527/jas.2006-354.
- Viguera C.A. 2016. *Cálculo Numérico. Teoría, problemas y algunos programas con Máxima*. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Waheed, A., Eyduran, E., Mosood-Tariq, M., Ahmad, S., Hameed, T., Bukhari, F.A. 2016. Comparison of the non-linear models defining the growth of Thalli sheep under desert conditions. *Pakistan Journal of Zoology*. 48(2): 423-426.
- Waheed, A., Sajjad Khan, M., Ali, S., Sarwar, M. 2011. Estimation of growth curve parameters in Beetal goats. *Archives of Animal Breeding*. 54(3): 287-296.
- Waiz, H., Gautam, L., Ashraf Waiz, S. 2019. Appraisal of growth curve in Sirohi goat using non-linear growth curve models. *Tropical Animal Health and Production*. 51: 1135-1140. DOI: 10.1007/s11250-018-01794-x.