



Short note [Nota corta]

EXPOSURE MALE GOAT KIDS FROM SUBTROPICAL REGIONS TO ARTIFICIAL LONG DAYS, STIMULATE A HIGHER GROWTH RATE, BETTER BODY DEVELOPMENT AND INCREASED GLUCEMIA †

[EN LOS CABRITOS MACHOS DE REGIONES SUBTROPICALES, LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES ESTIMULA UNA MAYOR TASA CRECIMIENTO, UN MEJOR DESARROLLO E INCREMENTA LA GLUCEMIA]

Alexis Adrián Vargas-Cruz¹, José Alberto Delgadillo¹, Manuel de Jesús Flores², José Alfredo Flores¹, Jesús Vielma¹, Gerardo Duarte¹, Luis Angel Zarazaga³, Omar Uriel García-Cruz¹, Gonzalo Fitz-Rodríguez¹, Juan Carlos Martínez-Alfaro¹, Leonardo Iván Vélez² and Horacio Hernández^{1*}

¹ *Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), Postgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez, Torreón, Coahuila, 27054, México. Email: hernandezhoracio@hotmail.com*

² *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo La Laguna, Blvd. José Santos Valdez No.1200 Poniente, Matamoros Coahuila, 27400, México*

³ *Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, Palos de la Frontera, 21810, Huelva, España.*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Small ruminants from subtropical regions are sensitive to respond physiologically to natural photoperiodic changes. In some subtropical goat production systems as located in semi-arid areas of México, the main objective is to obtain in the shortest possible time, males with a suitable weight and body development for sale. **Objective.** The present study determines if the exposure to artificial long day photoperiod could promote a growth rate, body development and an increased glycemia in male goat kids compared with those under natural short days. **Methodology.** Starting on late September, 21 creole male goat kids (13 ± 0.1 week aged; mean \pm SEM) were assigned to one of the two experimental groups. In the natural short days group, males remain under natural short days from autumn-winter (GDC, $n = 10$). In the artificial long days group, males were exposed to artificial photoperiod consisting in 16 h light and 8 h darkness (GDL, $n = 11$). The study lasted until the animals had 35 weeks of age. All animals were fed according their nutritional requirements. **Results.** During the study, the body weight of the GDL animals was higher than that of the GDCN males ($P < 0.05$). Due to this, the daily weight gain (GDP) obtained at 23 weeks of age was higher in the GDL males (165 g/day) than that registered in the GDC males (143 g/day; $P < 0.05$). In some periods, the males of the GDL had higher body mass index (IMC) than the males of the GDC ($P < 0.05$). Thoracic perimeter at week 32 was greater in the GDL males than in the GDC males ($P < 0.05$). The height at the withers did not reach significant differences in the comparisons between groups in the different weeks measured ($P > 0.05$). However, the total height at the withers gained during the study was significantly higher in the GDL males than in the GDC males ($P < 0.01$). Under fasting conditions, GDL males had higher levels ($P < 0.05$) of blood glucose in some periods than GDC males. **Implications.** The present study demonstrate that artificial long days stimulates growth in goats as occurs in other ruminants. **Conclusion.** Exposure of the male goat kids from subtropical regions to artificial long days, promotes a higher growth rate, better body development and increased glycemia compared to kids maintained under natural short-day photoperiods. **Key words:** growth rate; body development; body weight; photoperiod; male goat kids

RESUMEN

Antecedentes. Los pequeños rumiantes de regiones subtropicales son sensibles y responden fisiológicamente a los cambios en el fotoperiodo. En algunos sistemas de producción caprina del subtropico, como los que existen en áreas semi-áridas de México, el principal objetivo es obtener, en el menor tiempo posible, machos con un adecuado

† Submitted October 13, 2021 – Accepted April 30, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4045>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = H. Hernández: <https://orcid.org/0000-0002-0569-8888>

peso y desarrollo corporal para la venta. **Objetivo.** Investigar si en cabritos machos, la exposición a días largos artificiales resulta en un mayor incremento de peso corporal y de la glucemia que en los animales mantenidos en fotoperiodo natural corto. Iniciando a finales de septiembre, 21 cabritos macho (13 ± 0.1 semanas de edad; promedio \pm EEP) fueron asignados a uno de 2 grupos experimentales. En el grupo días cortos naturales, los machos fueron mantenidos bajo los días cortos del otoño-invierno (GDC, $n = 10$). En el grupo días largos artificiales, los machos fueron expuestos a un fotoperiodo de días largos artificiales que consistió de 16 h luz y 8 h de oscuridad (GDL, $n = 11$). El estudio duró hasta que los machos alcanzaran 35 semanas de edad y fueron alimentados en acuerdo a sus requerimientos nutricionales. **Resultados.** Durante el estudio, el peso corporal de los machos del GDL fue mayor que el de los machos del GDC ($P < 0.05$). Por ello, la ganancia diaria de peso (GDP) obtenida a las 23 semanas de edad fue mayor en los machos del GDL (165 g/día) que la registrada en los machos del GDC (143 g/día; $P < 0.05$). En algunos periodos los machos del GDL presentaron mayor IMC que los machos del GDC ($P < 0.05$). El perímetro torácico a la semana 32 fue mayor en los machos del GDL que en los machos del GDC ($P < 0.05$). La altura a la cruz no alcanzó diferencias significativas entre grupos en las comparaciones de las diferentes semanas ($P > 0.05$). Sin embargo, el total de altura a la cruz ganada durante el estudio fue significativamente mayor en los machos del GDL que en los machos del GDC ($P < 0.01$). Las concentraciones de glucosa en sangre en el ayuno en algunos periodos fueron mayores ($P < 0.05$) en los machos del GDL que en los del GDC. **Implicaciones.** El presente estudio demuestra que los días largos artificiales estimulan el crecimiento en cabras como ocurre en otros rumiantes. **Conclusión.** Se concluye que la exposición de los cabritos machos de regiones subtropicales a un fotoperiodo de días largos artificiales promueve un mayor peso corporal, un mejor crecimiento y eleva la glucemia comparado con los animales mantenidos en el fotoperiodo corto natural. **Palabras clave:** tasa de crecimiento; desarrollo corporal; peso corporal; fotoperiodo; machos cabríos.

INTRODUCCIÓN

En producción animal, el crecimiento Hamond (1966) lo define como el aumento de peso del animal hasta que alcanza el tamaño adulto. Este proceso de transformación incluye una multiplicación de las células (hiperplasia), diferenciación, aumento del tamaño (hipertrofia) y formación de órganos y tejidos (Bavera *et al.*, 2005). En la especie caprina, los factores que afectan el crecimiento pre-destete son: genotipo, peso al nacimiento, tamaño de la camada, sexo, nutrición, edad de la madre, y la época de parto (Marai *et al.*, 2002; Meza *et al.*, 2008; Balogun *et al.*, 1992; Caro-Petrovic *et al.*, 2012).

La variación del fotoperiodo (número de horas luz/día) a través de las épocas del año es la principal señal ambiental utilizada por caprinos y ovinos en regiones templadas y subtropicales para modificar sus respuestas fisiológicas a los cambios ambientales (adaptación) (Gwinner, 1986; Chemineau *et al.*, 2007). Dentro de los efectos que ejerce el fotoperiodo en esos animales podemos mencionar: la regulación de la reproducción, la estimulación de la producción de leche y la estimulación del crecimiento (Tucker *et al.*, 1984; Chemineau *et al.*, 2007). Por ejemplo, Gould y Whiteman (1971) reportaron que los corderos nacidos en la primavera y por ello durante los días crecientes, pesaron 2.5 kg más a los 70 días de vida que aquellos nacidos en los días decrecientes del otoño. De manera artificial se ha podido estimular una mayor ganancia diaria de peso al someter corderos macho de cuatro meses de edad a un fotoperiodo de día largo (16 h de luz; 260 g) que en los mantenidos bajo un fotoperiodo de día corto (8 h de luz; 157 g; Forbes *et al.*, 1975). Asimismo, se ha reportado que la ganancia diaria de peso en corderas es mayor cuando se exponen a partir de los 50 días de edad a días largos artificiales (16 h de luz; 0.358 kg) que en aquellas sometidas a

un fotoperiodo natural (0.310 kg; Deacon *et al.*, 2015). Es importante mencionar que muchos de los estudios sobre el efecto de la exposición a días largos en la ganancia de peso de animales jóvenes o para adelantar la edad a la pubertad han sido desarrollados en las especies ovina y bovina (Forbes *et al.*, 1975; Spicer *et al.*, 2007). Por el contrario, pocos trabajos se han llevado a cabo para aclarar el efecto de la exposición a días largos sobre el crecimiento en caprinos jóvenes.

Existen algunos trabajos que indican que, en pequeños rumiantes, la estimulación del peso y el crecimiento son asociados a elevadas concentraciones séricas del factor de crecimiento similar a insulina 1 (IGF-1; Pehlivan, 2019). Por ejemplo, en los cabritos del subtrópico sometidos a días largos artificiales desde el día 4 de vida se indujo mayores concentraciones plasmáticas de IGF-1 y de glucosa que en aquellos expuestos a días cortos decrecientes (Flores *et al.*, 2018). Archer *et al.* (2004), demostraron que en carneros adultos alimentados a libre acceso y animales con alimentación restringida mantenidos en un fotoperiodo de días largos artificiales tuvieron mayores niveles de glucosa en sangre a las 12 semanas del experimento, que los animales mantenidos en un fotoperiodo de días cortos. Estos últimos autores sugirieron que estos mayores niveles de ese metabolito indicaron un estado anabólico inducido por la exposición de los días largos. En efecto, también en ovejas mantenidas en un balance positivo de energía presentan mayores concentraciones de glucosa en ayuno que los animales que se encuentran en un estado energético pobre (Hart *et al.*, 1985). En cuanto a otras hormonas, Schanbacer y Crouse (1980) observaron que las concentraciones séricas de prolactina (PRL) fueron más elevadas en los corderos jóvenes intactos y castrados expuestos a días largos (16 h luz, 190 y

178 ng/mL, respectivamente) que en aquellos expuestos a días cortos (8 h luz (43 y 27 ng/mL, respectivamente).

En algunas regiones semi-desérticas, como es el subtrópico mexicano, es común encontrar la crianza de caprinos para producir carne y leche para venta y/o para autoconsumo. De este modo, por ejemplo, existen regiones en las que se produce carne de animales jóvenes y adultos bajo condiciones de pastoreo extensivo (Aréchiga *et al.*, 2008). De hecho, en 2020, los registros del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera indicaron que de estas regiones semiáridas se aporta el 11% del ganado caprino que se consume en el país. Como se mencionó anteriormente, la exposición a días largos en cabritos poco después del nacimiento provocó un mayor peso vivo al mes de edad. Hasta hoy en caprinos machos se desconoce si aplicar este tratamiento lumínico a partir de los 3 meses de vida puede estimular el peso y crecimiento durante los siguientes 5 meses. El presente estudio, se llevó a cabo con el objetivo de investigar si en cabritos machos, la exposición a días largos artificiales resulta en un incremento de peso corporal y de las concentraciones de glucosa que en los animales mantenidos en fotoperiodo natural corto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en el municipio de Matamoros, Coahuila México (26° de latitud norte). El estudio se llevó a cabo a partir del 27 de septiembre (otoño) hasta el final del mes de febrero (finales del invierno).

Condiciones generales

Se utilizaron 21 cabritos machos intactos Criollos, cuya fecha de nacimiento promedio fue el 26 de junio, ± 3 días. Cuando los machos cumplieron en promedio 13 ± 0.1 semanas de edad fueron alojados cada uno en un corral individual de 1×2.8 m en donde fueron alimentados durante el estudio con una ración completa acorde a su demanda nutricional. La dieta base consumida por los machos cabríos a través de todo el estudio estuvo compuesta por alfalfa (56%), Soya (12%), Maíz roado (30%), Minerales (1%) y carbonato de sodio (1%). Estos ingredientes aportaron 177 g de PC/kg de MS con 2.5 Mcal de EM/kg de MS. Las sales minerales en polvo se adicionaron mezclándose con los ingredientes de la dieta que se ofreció diariamente. En cada corral, se dispuso un bebedero automático y diariamente se supervisó que no fallaran para la disposición de agua a libre acceso.

Diseño del experimento

Antes del experimento todos los animales estuvieron bajo el fotoperiodo natural. El día 22 de septiembre del 2019 los machos fueron asignados, con base a ciertas características (Tabla 1) a uno de dos grupos experimentales. En el grupo GDC, los machos permanecieron bajo los días cortos naturales ($n=10$). Esto es, en promedio la salida del sol fue a las 07:24 horas, mientras que la metida del sol fue a las 18:36 horas, resultando en una duración del día promedio de 11 horas con 12 minutos. En el grupo GDL, los machos fueron sometidos durante todo el estudio a un tratamiento fotoperiódico de 16 h luz y 8 h oscuridad ($n=11$). En este grupo, para proporcionar los días largos artificiales se utilizaron lámparas de luz de día. Así, utilizando un temporizador automático (TEMP 08E, Steren, Cd. de México, México) las luces se encendían a las 06:00 h del día y se apagaban a las 09:00 h. Posteriormente las lámparas se volvían a encender a las 18:00 h y se apagaban a las 22:00 h. En los corrales del GDL se llevaron a cabo mediciones con un luxómetro teniendo en promedio al nivel de los ojos de los animales una intensidad de 300 lux. Con la luz artificial y la luz natural, se proporcionaba en total 16 h de luz por día. El tratamiento lumínico culminó el 28 de febrero del siguiente año.

Tabla 1. Edad y características fisiológicas y corporales (promedio \pm error estándar del promedio) de los cabritos machos de ambos grupos experimentales al inicio del estudio.

Características	Grupos	
	GDC	GDL
Edad (semanas)	13 ± 0.5	13 ± 0.5
Peso (kg)	14.6 ± 0.8	14.6 ± 0.8
Glucosa (mg/dL)	69 ± 2.1	68 ± 1.5
Mediciones corporales (cm)		
Largo del cuello	19 ± 0.5	19 ± 0.4
Circunferencia del cuello	25 ± 0.6	24 ± 0.7
Perímetro torácico	58 ± 1.4	58 ± 1.0
Altura a la cruz	54 ± 0.7	54 ± 0.7
Largo del cuerpo	49 ± 1.1	50 ± 1.0

VARIABLES ESTUDIADAS

Peso corporal y tasa de crecimiento

Esta variable se determinó previo al tratamiento en todos los machos a las 7, 9 semanas de vida. Además, esta variable fue evaluada una vez por semana durante 23 semanas (hasta las 35 semanas de edad). En cada ocasión el peso corporal de los machos se determinó por las mañanas en ayuno utilizando una báscula móvil con una capacidad de 100 kg y una precisión de 0,05 kg. En el presente estudio, la tasa de crecimiento se refirió como la ganancia diaria de peso promedio (GDP). Esta GDP al final de las 23

semanas del estudio se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$GDP = \frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{161}$$

Donde el peso final, se refiere al peso registrado al final de las 23 semanas de estudio. El peso inicial sería el peso registrado al inicio del estudio. El divisor 161 fue constante y refiere a los días de estudio.

Mediciones corporales e índice de masa corporal

En todos los animales se determinaron las siguientes mediciones corporales: largo del cuello, circunferencia del cuello, perímetro torácico, altura a la cruz y largo del cuerpo, las cuales fueron medidas utilizando los procedimientos descritos previamente en caprinos, por Chacón *et al.* (2011) y Arias *et al.* (2012). Estas mediciones se tomaron en los animales de ambos grupos en las semanas 13, 16, 20, 22, 24, 26, 30 y 32 de edad durante el estudio. Con algunos de estos datos se obtuvo el índice de masa corporal (IMC) mediante el procedimiento descrito en esta especie por Tanaka *et al.* (2002) de la siguiente manera.

$$IMC = [\text{peso corporal, kg} / \text{altura de la cruz, m} / \text{longitud del cuerpo, m} \times 10]$$

Niveles de glucosa en sangre

Las concentraciones de glucosa en sangre se determinaron durante el estudio en cada uno de los cabritos de ambos grupos experimentales en las semanas 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 y 35 de edad. Para ello, en ayuno a las 09:00 h del día mediante venopunción yugular se obtuvieron 2 gotas de sangre e inmediatamente éstas se colocaron en una tira reactiva para determinar las concentraciones de glucosa usando un glucómetro de uso en humanos (Accu Chek Sensor Comfort, Roche, México). El rango de determinación del glucómetro usado fue de 20 a 600 mg de glucosa/dL de sangre.

Consumo voluntario de alimento

En el presente estudio se realizaron 4 mediciones del consumo voluntario de alimento durante el experimento. Para ello, se determinó el consumo diario (durante 24 h), mediante el uso de una báscula digital, es decir, se suministró una cantidad de alimento previamente pesada por la mañana (08:00 h) y al día siguiente a la misma hora se pesó el sobrante de alimento por cada animal.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial con un modelo lineal de efectos fijos para evaluar al factor tratamiento (dos niveles: días cortos naturales (GDC) y días

largos artificiales (GDL) y el factor tiempo que fueron 23 niveles para el peso corporal, 8 niveles para IMC, 13 niveles para las concentraciones de glucosa y otras mediciones corporales. De este modo, para cada variable analizada se basó en el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + e_{(ijk)}$$

dónde: Y_{ijk} = Variable respuesta, μ = Media general, T_i = Efecto del Tratamiento, β_j = Efecto de la edad, $(T\beta)_{ij}$ = interacción entre el tratamiento y la edad, $e_{(ijk)}$ = Error experimental.

Todas las variables dependientes fueron incluidas en el modelo como medidas repetidas. Posteriormente, se realizaron pruebas de *t* de student independientes para comparar entre grupos en un tiempo determinado. La significancia de los factores y sus interacciones fueron establecidas con una $P \leq 0.05$. Los resultados fueron expresados en medias \pm error estándar de la media (\pm SEM). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico Systat 13 (Systat Software, San Jose, CA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso corporal promedio de los machos de ambos grupos registrado durante el estudio se muestra en el panel inferior de la Figura 1. En ella se observa que de manera general existió un evidente incremento del peso de los machos conforme avanzó la edad de los mismos (efecto del tiempo de estudio; $P < 0.0001$). De igual manera, el modelo estadístico reveló una interacción significativa entre el grupo experimental \times factor tiempo de estudio ($P < 0.0001$). Lo anterior nos indica que, durante el estudio, el peso corporal de los animales del GDL fue superior al registrado en los machos del GDC. Debido a ello, la GDP obtenida a las 23 semanas de estudio fue mayor ($P < 0.05$) en los machos del GDL (165 g/día) que la registrada en los machos del GDC (143 g/día). Este resultado concuerda con los estudios llevados a cabo en carneros y en corderas jóvenes (Forbes *et al.*, 1975; Schanbacher y Crouse, 1980; Deacon *et al.*, 2015). En efecto, en el estudio de Forbes *et al.* (1975) se encontró que los corderos expuestos a 16 h de luz/día ganaron peso más rápido que los corderos expuestos 8 h de luz/día. Está documentado que en carneros castrados y en algunos rumiantes silvestres los días largos naturales o artificiales pueden incrementar la tasa de ganancia de peso de los animales indirectamente al estimular un mayor apetito y consumo de alimento (Schanbacher y Crouse, 1980; Argot *et al.*, 1999; Archer *et al.*, 2004). Sin embargo, en el presente trabajo no se encontraron diferencias importantes en los datos de consumo voluntario de alimento entre los 2 grupos de machos (Figura 1, panel superior). Previamente, en vaquillas se demostró que los días largos no necesariamente se asocian con elevado consumo voluntario de alimento (Enright *et al.* 1995; Phillips *et al.* 1997).

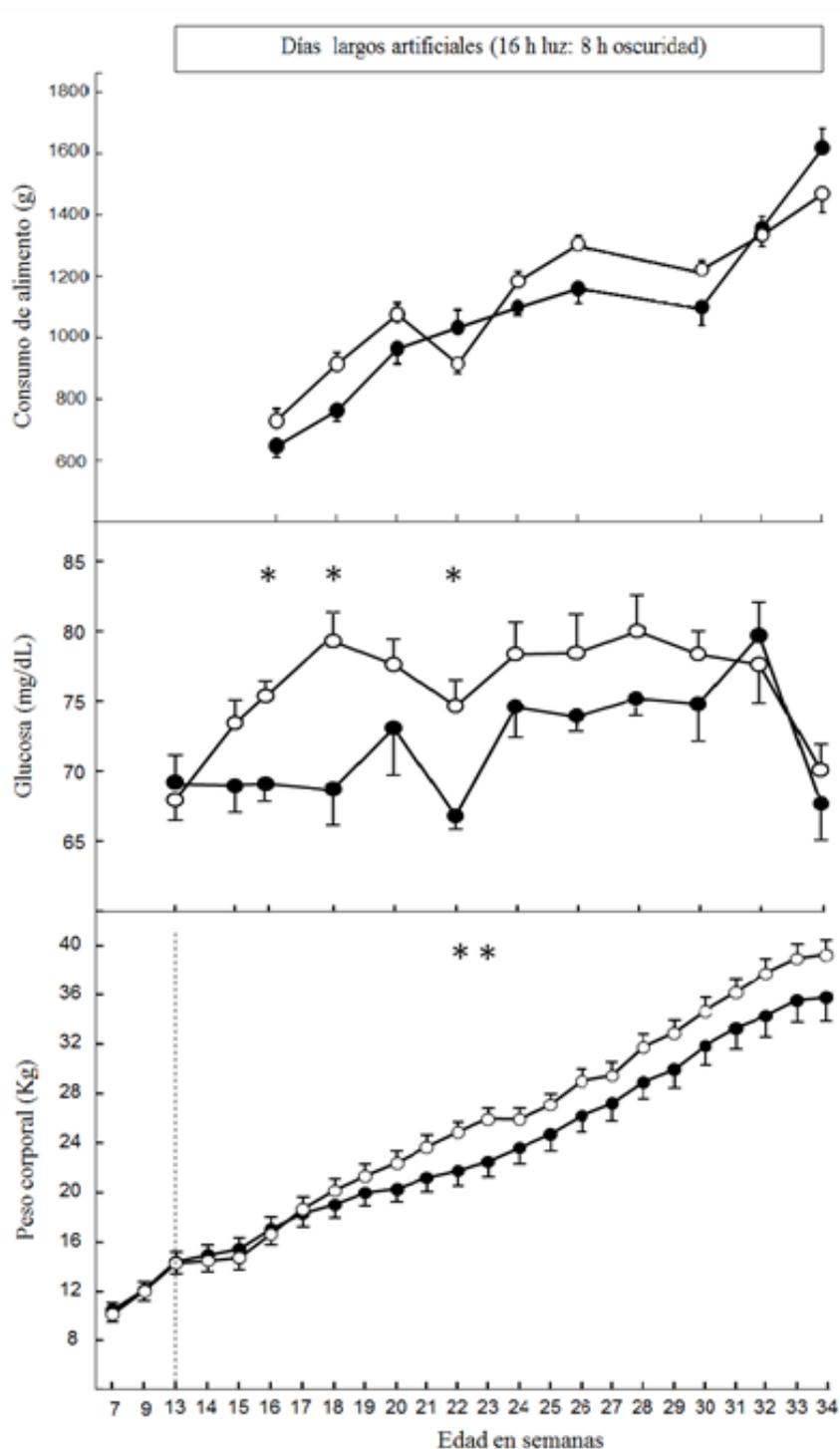


Figura 1. Evolución promedio (\pm SEM) del peso corporal (panel inferior), del promedio de consumo voluntario de alimento (panel superior) y de las concentraciones de glucosa en sangre completa en ayuno (glucemia; panel medio) de los cabritos machos del subtropical mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (\bullet , $n = 10$) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 34 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (\circ , $n = 11$). Los asteriscos denotan diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

Con respecto al IMC, el modelo estadístico indicó que esta variable se incrementó conforme avanzó la edad de los machos de ambos grupos experimentales (efecto tiempo; $P < 0.0001$). Además, en esta variable la interacción tiempo \times grupo resultó significativa (Figura 2, panel superior; $P < 0.0001$), por lo cual se observó que en algunos periodos los machos del GDL tuvieron mayor IMC que los

machos del GDC ($P < 0.05$). El IMC en esta especie fue descrita previamente por Tanaka *et al.* (2002), quienes señalaron que este índice es un predictor de las reservas de energía corporal. En vaquillas, los días largos estimulan la masa muscular, mediado muy probablemente por un incremento en la deposición de proteína corporal (Tucker *et al.*, 1984). Además, se ha reportado en ovejas que existe

una correlación positiva entre el IMC y la profundidad del músculo *longissimus dorsi* torácico. De manera que por cada punto de incremento de IMC aumentó 1.3 mm la profundidad muscular (Ptáček *et al.*, 2018). Sería interesante en estudios futuros estudiar si la exposición a días largos artificiales pudiera influir sobre las características de calidad de la carne de esos animales.

En la Tabla 2 se muestran las diferentes mediciones corporales de los machos cabríos de ambos grupos experimentales. Solo la altura a la cruz fue mostrada en el panel inferior de la Figura 2. De manera general, el modelo estadístico reveló un efecto del transcurso de la edad de los animales sobre esas variables ($P < 0.05$), excepto el largo del cuello cuyo incremento no fue significativo. Estos resultados son similares a los reportados en cabritos machos White (cruzas entre Saanen y cabras Kilis) y en los de la raza Angora en los que se observó un incremento importante en la altura a la cruz y en el largo del

cuerpo de la semana 13 a la semana 20 de vida (Pehlivan, 2019). En el presente estudio, en la mayoría de estas mediciones corporales no existió diferencia significativa entre los 2 grupos ($P > 0.05$). Solo el perímetro torácico que la semana 32 fue mayor en los machos del GDL que en los del GDC (Tabla 3; $P < 0.05$). Asimismo, en la altura a la cruz (Figura 2, panel inferior) no mostró diferencias significativas en las comparaciones de las diferentes semanas medidas ($P > 0.05$). Sin embargo, la altura total a la cruz ganada durante el estudio fue significativamente mayor en los machos del GDL que en los del GDC ($P < 0.01$; Figura 2, panel inferior derecho). Estos resultados concuerdan con los reportados en vaquillas lecheras que fueron sometidas a aproximadamente a los 90 días de edad (antes de la pubertad) a días largos artificiales, en las que se observó que antes del parto la altura a la cruz y la altura a la cadera fueron mayores que las vaquillas expuestas a días cortos artificiales (Rius y Dahl, 2006).

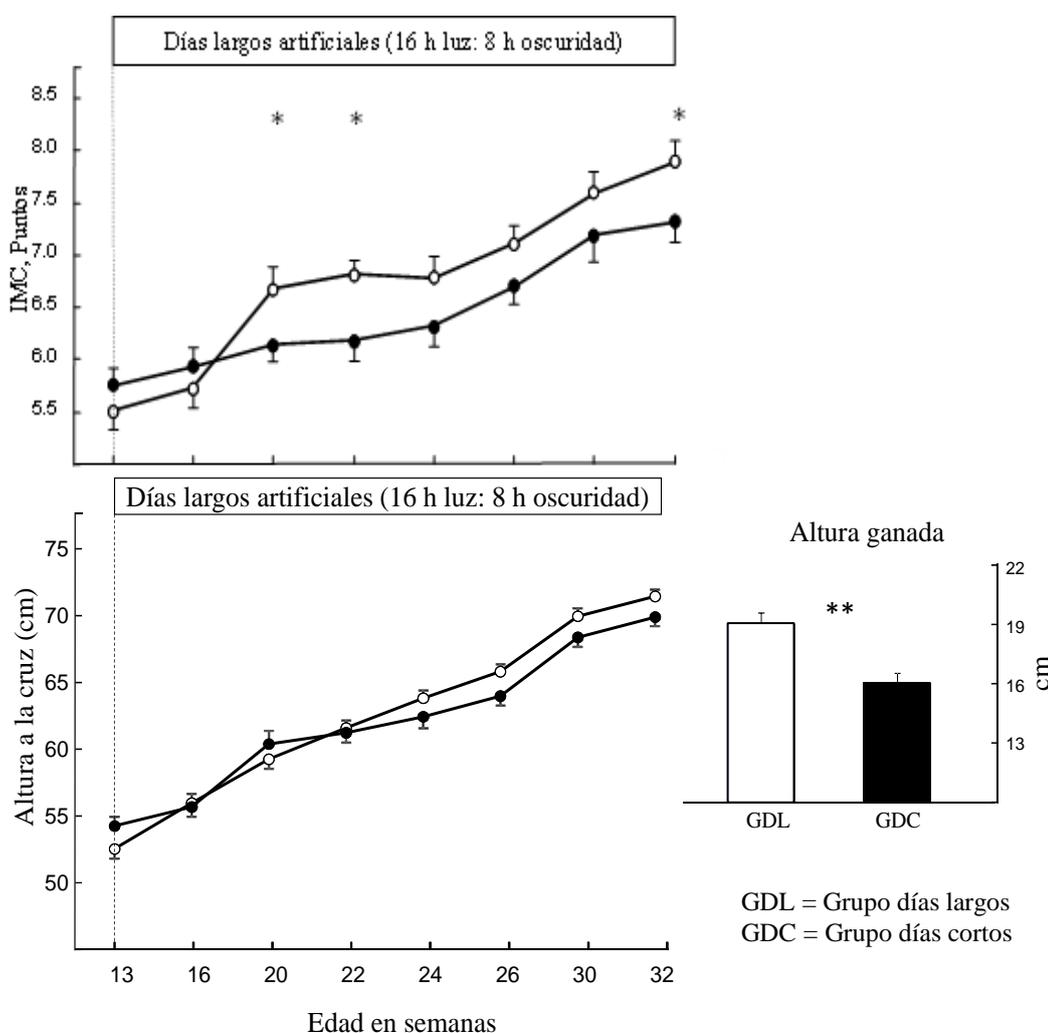


Figura 2. Variaciones promedio (\pm SEM) del Índice de Masa Corporal (IMC; panel superior) y de la altura a la cruz (panel inferior) registradas en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (\bullet , $n = 10$) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 32 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (\circ , $n = 11$). En el panel inferior, al lado derecho, aparece el promedio de la altura a la cruz total ganada durante todo el estudio. Los asteriscos denotan diferencia entre grupos ($P < 0.05$ y $P < 0.001$).

Tabla 2. Evolución promedio (\pm SEM) de las diferentes mediciones corporales de los machos de ambos grupos experimentales hasta las 32 semanas de vida. En el grupo GDC (n = 10, Grupo días cortos) los machos se mantuvieron bajo los días cortos naturales. En el grupo GDL (n = 11, Grupo días largos) los machos fueron expuestos desde las 13 semanas de edad a un fotoperiodo artificial de 16 h de luz y 8 horas de oscuridad.

Medidas corporales (cm)	Semanas de medición (edad en semanas)								P Tiempo \times grupo
	13		20		26		32		
	GDC	GDL	GDC	GDL	GDC	GDL	GDC	GDL	
Circunferencia del Cuello	25 \pm 0.6	24 \pm 0.7	29 \pm 0.8	30 \pm 0.5	34 \pm 0.6	34 \pm 0.6	37 \pm 0.6	38 \pm 0.6	< 0.05
Largo del Cuello	19 \pm 0.5	19 \pm 0.4	21 \pm 0.5	20 \pm 0.3	24 \pm 0.4	25 \pm 0.2	26 \pm 0.3	26 \pm 0.3	< 0.05
Perímetro Torácico	58 \pm 1.4	58 \pm 1	64 \pm 1.4	66 \pm 1	69 \pm 1.1	72 \pm 0.7	76 \pm 1.3	79 \pm 0.8*	< 0.001
Largo del Cuerpo	49 \pm 1.1	50 \pm 1	55 \pm 0.7	57 \pm 0.9	61 \pm 0.9	62 \pm 0.6	67 \pm 1	66 \pm 0.7	NS

* Diferencia significativa entre los 2 grupos experimentales (P < 0.05).

Una posible hormona responsable al efecto de los días largos sobre el crecimiento es la leptina. En efecto, Bocquier *et al.* (1998) demostraron en ovejas ovariectomizadas que esta hormona se incrementa durante los días largos independientemente del consumo de alimento y del nivel de gordura. También en vacas lactantes, la exposición a días largos incrementó la expresión de genes a leptina y el número de sus receptores en el tejido adiposo (Bernabucci *et al.*, 2006). Otra posible explicación del efecto estimulador de los días largos sobre el peso corporal y la GDP de los machos cabríos del presente estudio es que es bien sabido en caprinos y en ovinos que la exposición a días largos artificiales incrementa las concentraciones de la hormona del crecimiento (GH) y del factor de crecimiento similar a insulina (IGF-1; Schanbacher y Crouse, 1980; Jin *et al.*, 2013; Flores *et al.*, 2018; Pehlivan, 2019). Por lo que es probable que en los machos del GDL del presente estudio haya existido un mayor estímulo del crecimiento mediado por dichos factores hormonales. Además, esto está apoyado en parte por los niveles más altos de glucosa en sangre en los machos del GDL, comparado con los obtenidos en los machos del GDC (Figura 1, panel medio). En efecto, el modelo estadístico reveló que los niveles de glucosa variaron a través del tiempo de estudio (efecto del tiempo; P < 0.0001). Además, en los datos de la glucosa se encontró una interacción tiempo \times grupo experimental (P < 0.05). En carneros, Archer *et al.* (2004) también demostraron que en animales alimentados a libre acceso y animales con alimentación restringida mantenidos en un fotoperiodo de días largos artificiales tuvieron mayores niveles de glucosa en sangre que los animales mantenidos en un fotoperiodo de días cortos. Estos últimos autores sugirieron que estos mayores niveles de ese metabolito indicaron un estado anabólico inducido por la exposición de los días largos. En efecto, también en ovejas mantenidas

en un balance positivo de energía presentan en ayuno mayores concentraciones de glucosa que los animales que se encuentran en un estado energético pobre (Hart *et al.*, 1985). Por tanto, es muy probable que, los machos del GDL, se mantuvieron en un mayor balance energético positivo que se reflejó en mayores pesos y características corporales que los machos mantenidos bajo los días cortos naturales.

CONCLUSIÓN

Los presentes resultados llevan a la conclusión de que en los cabritos machos del subtropico la exposición a un fotoperiodo de días largos artificiales promueve un mayor peso corporal, un mejor crecimiento y eleva la glucemia comparado con los animales mantenidos en el fotoperiodo corto natural. Estos efectos del fotoperiodo de días largos servirán de base para continuar investigando si este tratamiento en combinación con otras técnicas de manejo podría estimular aún más el efecto de los días largos. Los resultados del presente podrían implementarse en algunos sistemas de producción caprina con el objetivo de adelantar el crecimiento, observar los posibles efectos en el inicio de la pubertad e incrementar la producción de los hatos caprinos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Manuel Salazar Jaramillo, por el cuidado y vigilar la alimentación de los machos cabríos. Alexis Adrián Vargas fue apoyado por una beca del CONACyT durante sus estudios de postgrado. Esta investigación fue realizada como parte de las actividades del Laboratorio Internacional Asociado CABRAA entre México (UAAAN-CIRCA) y Francia (INRA-PRC).

Funding. This research work was funded by the project 134620344 from INIFAP and in part by Investigation department from UAAAN.

Conflict of interest. Authors of the present study declare there are no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Experimental procedures of the present research compiled with the guidelines of Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments (ARRIVE; Kilkenny *et al.*, 2010) and with technical rules for animal studies declared in technical specifications regarding the production, care, and use of laboratory animals (NOM-062-ZOO-1999; SAGARPA, 2001).

Data availability. Data from the present study are available with the corresponding author (hernandezhoracio@hotmail.com) upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **A. A. Vargas-Cruz**- Conceptualization, investigation, writing original draft, writing, review and editing. **J.A. Delgadillo and L.A. Zarazaga**- Conceptualization, writing original draft, writing, review and editing. **M.J. Flores**- Conceptualization, funding acquisition. **J.A. Flores**- Conceptualization, investigation and writing original draft, writing, review and editing. **J. Vielma, G. Duarte, G. Fitz, J.C Martínez and L.I. Vélez** – Conceptualization, writing original draft, writing, review and editing.

REFERENCIAS

- Archer, Z.A., Finlay, P.A., McMillen, S.R., Rhind, S.M. and Adam, C.L., 2004. Effect of nutritional status and gonadal steroids on expression of appetite-regulatory genes in the hypothalamic arcuate nucleus of sheep. *Journal of Endocrinology*, 182, pp. 409–419. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1820409>.
- Aréchiga, C.F., Aguilera, J.I., Rincón, R.M., Méndez de Lara, S., Bañuelos, V.R. and Meza-Herrera, C.A., 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9, pp. 1-14. <https://www.veterinaria.uady.mx/publicaciones/journal/vol-9-amca/Aréchiga1.pdf>.
- Argot, C. McG., Smith, S. and Kay, R.N.B., 1999. Seasonal changes of metabolism and appetite in Soay rams. *Animal Science*, 6, pp. 191-202. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051237>.
- Balogun, R.O., Olayemi, M.E. and Osinowo, O.A., 1993. Environmental factors affecting birth weight and litter size in yankasa sheep. *Nigerian Journal of Animal Production*, 20, pp. 14-19. <https://doi.org/10.51791/njap.v20i.2096>.
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H. and Petryna, A., 2005. Crecimiento, desarrollo y precocidad. Sitio Argentino de Producción Animal. pp. 1-11. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf. Accessed: September 30, 2021.
- Bernabucci, U., Basiricò, L., Lacetera, N., Morera, P., Ronchi, B., Accorsi, P.A., Seren, E. and Nardone A., 2006. Photoperiod affects gene expression of leptin and leptin receptors in adipose tissue from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89, pp. 4678-4686. [https://doi: 10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72518-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72518-8).
- Bocquier, F., Bonnet, M., Faulconnier, Y., Guerre-Millo, M., Martin, P. and Chilliard Y., 1998. Effects of photoperiods and feeding level on perirenal AT metabolic activity and leptin synthesis in the ovariectomized ewe. *Reproduction Nutrition and Development*, 38, 489–498. [https://doi: 10.1051/rnd:19980501](https://doi.org/10.1051/rnd:19980501).
- Caro Petrović, V., Ilić, Z., Ružić Muslić, D., Petrović, M.P., Petrović, M.M., Tomić, Z. and Marinkov, G., 2012. Analysis of environmental and genetic factors in growth characteristics of balkan goat. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 28, pp. 275-282. <https://doi.org/10.2298/BAH1202275C>.
- Chemineau, P., Malpoux, B., Brillard, J.P. and Fostier, A., 2007. Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals. *Animal*, 1, pp. 419-432. <https://doi.org/10.1017/S1751731107691873>.
- Deacon, M.L., Knights, M. and Inskeep, E.K., 2015. Effects of photoperiodic manipulation on growth rate and ability to breed fall-born ewe lambs in spring. *Sheep & Goat Research Journal*. 20:30-35. https://d1cqrq366w3ike.cloudfront.net/http/DOCUMENT/SheepUSA/SGRJ_V30_30-35_Deacon_12-15.pdf.
- Enright, W.J., Zinn, S.A., Reynolds, V.S. and Roche, J.F., 1995. The effect of supplementary light on winter performance of prepubertal and postpubertal Friesian heifers. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 34, pp. 107-113. <http://www.jstor.org/stable/25562250>.
- Forbes, J.M., Driver, P.M., El Shahat, A.A., Boaz, T.G. and Scanes, C.G., 1975. The effect of daylength and level of feeding on serum prolactin in growing lambs. *Journal of Endocrinology*, 64, pp. 549-554. <https://doi.org/10.1677/joe.0.0640549>.
- Flores, M.J., Flores, J.A., Duarte, G., Vielma, J., Delgadillo, J.A., and Hernández, H., 2018. Artificial long-day photoperiod in the

- subtropics increases body weight in goats kids born in the autumn. *Small Ruminant Research*, 169, pp. 181-185. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.11.013>.
- Gwinner, E., 1986. *Circannual rhythms: Endogenous annual clocks in the organization of seasonal process*. Springer Verlag, New York.
- Gould, M.B. and Whiteman, J.V., 1971. Association of certain variables with the performance of spring versus fall-born lambs. *Journal of Animal Science*, 33, pp. 531-536. <https://doi.org/10.2527/jas1971.333531x>.
- Hart, I.C., Chadwick, P.M.E., Coert, A., James, S. and Simmonds A.D., 1985. Effect of different growth hormone-releasing factors on the concentrations of growth hormone, insulin and metabolites in the plasma of sheep maintained in positive and negative energy balance. *Journal of Endocrinology*, 105, pp. 113-119. <http://doi: 10.1677/joe.0.1050113>.
- Hammond, J., 1966. *Principios de la Explotación Animal. Reproducción, Crecimiento y Herencia*. Acribia, Zaragoza.
- Jin, J., Sawa, K. and Hashizume, T., 2013. Effects of photoperiod on secretory patterns of growth hormone in adult male goats. *Animal Science Journal*, 84, pp.790-797. <https://doi.org/10.1111/asj.12073>.
- Kilkenny, C., Browne, W.J., Cuthill, I.C., Emerson, M. and Altman, D.G., 2010. Animal research: reporting in vivo. *PLoS Biology*, 8, e1000412. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000412>.
- Marai, I.F.M., Abou-Fandoud, E.I., Daader, A.H. and Abu-Ella, A.A., 2002. Reproductive doe traits of the Nubian (Zaraibi) goats in Egypt. *Small Ruminant Research*, 46, pp. 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00195-5).
- Meza-Herrera., C.A., Medina-Rosales, J.M. and Gómez-González, A., 2008. Crecimiento pre y posdestete en cabras Boer x Boer y Boer x Nubia en el altiplano mexicano. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7, pp. 125-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545066015>.
- Pehlivan, E., 2019. Relationship between insulin-like growth factor-1 (IGF-1) concentrations and body trait measurements and climatic factors in prepubertal goat kids, *Archives Animal Breeding*, 62, pp. 241-248. <https://doi.org/10.5194/aab-62-241-2019>, 2019.
- Phillips, C.J.C., Jhonson, P.N. and Arab, T.M., 1997. The effect of supplementary light during winter on the growth, body composition and behaviour of steers and heifers. *Animal Science*, 65, pp. 173-181. <https://doi.org/10.1017/S1357729800016477>.
- Ptáček, M., Milerski, M., Schmidová, J., Ducháček, J., Tančín, V., Uhrinčat, M., Hakl, J. and Stádník, L., 2018. Relationship between body mass index, body energy reserves, milk, and meat production of original Wallachian sheep. *Small Ruminant Research*, 165, pp. 131-133. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.001>.
- Rius, A.G. and Dahl, G.E., 2006. Exposure to long day photoperiod prepubertally increases milk yield in primiparous heifers. *Journal of Dairy Science*, 89, pp. 2080-2083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72277-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72277-9).
- SAGARPA (Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2001. *Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones Técnicas Para La Producción, Cuidado Y Uso De Los Animales De Laboratorio*. Diario Oficial de la Federación 22 August 2001.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020., Avance Acumulado de la producción anual ganadera. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecConcentrado.jsp.
- Schanbacher, B.D. and Crouse, J.D., 1980. Growth and performance of growing-finishing lambs exposed to long or short photoperiods. *Journal of Animal Science*. 51:943-948. <https://doi.org/10.2527/jas1980.514943x>.
- Spicer, L.J., Buchanan, B.A., Chapin, L.T. and Tucker, H.A., 2007. Effect of exposure to various of light on serum insulin-like growth factor-I in prepubertal Holstein heifers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2, pp. 42-45. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2007.42.45>.
- Tanaka, T, Akaboshi, N., Inoue, Y., Kamomae, H. and Kaneda, Y., 2002. Corrigendum to "Fasting-induced suppression of pulsatile luteinizing hormone secretion is related to body energy status in ovariectomized goats". *Animal Reproduction Science*, 132, pp. 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.05.001>.
- Tucker, H.A., Petitclerc, D. and Zinn, S.A., 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake and hormone secretion. *Journal of Animal Science*, 59, pp. 1610-1620. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5961610x>.