

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EN LOS MACHOS CAPRINOS DEL SUBTRÓPICO EN CRECIMIENTO,
NACIDOS EN EL VERANO, LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES
ESTIMULA EL INCREMENTO DE PESO Y LOS NIVELES DE GLUCOSA.

Tesis

Que presenta ALEXIS ADRIAN VARGAS CRUZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

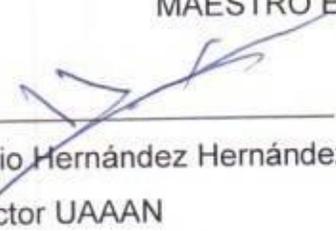


EN LOS MACHOS CAPRINOS DEL SUBTRÓPICO EN CRECIMIENTO,
NACIDOS EN EL VERANO, LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES
ESTIMULA EL INCREMENTO DE PESO Y LOS NIVELES DE GLUCOSA.

Tesis

Que presenta ALEXIS ADRIAN VARGAS CRUZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



Dr. Horacio Hernández Hernández
Director UAAAN



Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Director Externo

Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

EN LOS MACHOS CAPRINOS DEL SUBTRÓPICO EN CRECIMIENTO,
NACIDOS EN EL VERANO, LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES
ESTIMULA EL INCREMENTO DE PESO Y LOS NIVELES DE GLUCOSA.

Tesis

Elaborada por ALEXIS ADRIAN VARGAS CRUZ como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del comité de asesoría



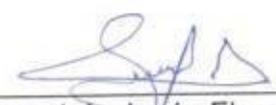
Dr. Horacio Hernández Hernández
Asesor Principal



Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor



Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Asesor



Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Asesor



Dra. Leticia Romána Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Diciembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por darme la oportunidad de cumplir una meta más y por siempre estar a mi lado y escucharme en los momentos más difíciles.

A mis padres **Adrián Vargas Escamilla y Araceli Cruz Tovar**, a mis hermanos **Erika Liseth Vargas Cruz, Iván Vargas Cruz y Keyli Loreto Vargas Cruz**, por tenerme paciencia y por qué sé que siempre voy a contar con ustedes.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme de nuevo la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias, mi Alma Mater.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de postgrado.

Al **Dr. Horacio Hernández Hernández**, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por el apoyo que me brindó a lo largo de estos cuatro semestres, gracias por la confianza, por abrirme las puertas de su casa y conocer parte de su familia, gracias por su valiosa amistad y por motivarme en todo momento.

A cada uno de los doctores del Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA)

Dr. José Alfredo Flores Cabrera, Dr. Jesús Vielma Sifuentes, Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez y al Dr. Gerardo Duarte Moreno, por tenerme la paciencia necesaria y por la confianza que me brindaron desde el primer día que llegué a este Centro de Investigación, y sobre todo por compartirme sus conocimientos.

A la alumna, amiga y compañera **María del Rosario López Solano** por haberme apoyado siempre y estar conmigo desde el principio hasta el final de mis estudios.

A mis compañeros y amigos **Omar García, Luis Sifuentes, Francisco González Romero, Víctor Daniel Ortiz**.

DEDICATORIA

A mis padres

Adrián Vargas Escamilla y Araceli Cruz Tovar

Agradecerles por las enseñanzas, el apoyo emocional y por esos consejos tan sabios que me impartieron en mi vida. Agradecer por los valores y por qué gracias a ellos hoy parte de lo que soy es gracias a su esfuerzo.

A mis hermanos

Erika Liseth Vargas Cruz, Iván Vargas Cruz y Keyli Loreto Vargas Cruz, Jesús Misael Crisóstomo Cruz, quiero darles las gracias por todo el apoyo que siempre me han brindado, por todas esas veces que siempre me escuchan, dándome sus consejos y opiniones, por motivarme y estar juntos en las buenas y en las malas.

Al Dr. **Horacio Hernandez Hernandez,** gracias por el apoyo incondicional durante mi preparación profesional quien más que un asesor se ha convertido en un gran amigo junto a su calidad y agradable familia. Gracias por los consejos que me dio y por cada momento compartido.

A la señorita **María del Rosario López Solano,** a quien me faltarían palabras para describir el gran aprecio incondicional que le tengo y agradecerle al apoyo que recibí durante estos dos años. Momentos llenos de felicidad y alegría. Gracias, por tanto y por cada bello momento a tu lado.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS	vii
ABSTRACT	3
I. INTRODUCCIÓN	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1. Principios de crecimiento y desarrollo de los caprinos.....	7
3.2. Definición de crecimiento	7
3.3. Definición de desarrollo	8
3.4. Curva de crecimiento o de ganancia de peso acumulativa	8
3.5. Modelos matemáticos en el crecimiento animal.....	8
3.6. Crecimiento compensatorio	11
3.7. Influencias propias del animal en el crecimiento y composición del cuerpo de los machos cabríos	12
3.7.1. Edad y estado de madurez.....	12
3.7.2. Factores que afectan la tasa de crecimiento en rumiantes	13
3.7.2.1. Raza de los animales.....	13
3.7.2.2. Tipo de nacimiento	14
3.7.2.3. Edad de la madre.....	15
3.7.3.4. Época de nacimiento y crecimiento	15
3.7.3.5. Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento	17
III. OBJETIVOS	18
IV. HIPÓTESIS	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1. Localización del estudio	19
6.2. Condiciones generales del estudio.....	19
6.3. Diseño del experimento.....	20
6.4. Variables estudiadas.....	20
6.4.1. Peso corporal y tasa de crecimiento	21
6.4.2. Mediciones corporales e índice de masa corporal.....	21

6.4.3. Niveles de glucosa en sangre	23
6.4.4. Consumo voluntario de alimento	23
6.5. Análisis estadísticos.....	24
VI. RESULTADOS	25
7.1. Peso corporal y tasa de crecimiento	25
7.2. Consumo voluntario de alimento.....	26
7.3. Índice de masa corporal (IMC)	27
7.4. Mediciones corporales.....	28
7.5. Concentraciones de glucosa en sangre completa	29
VII. DISCUSIÓN	31
VIII. CONCLUSIÓN	35
IX. BIBLIOGRAFÍA	36

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1** Curva de crecimiento para corderos que muestran una forma sigmoidea característica, a) concepción, b) nacimiento, c) fase de aceleración, d) punto de inflexión a menudo asociado con la pubertad, e) fase de desaceleración, y f) madurez (tamaño adulto). Modificado de Batt (1980). 9
- Figura 2** Curva de crecimiento y ganancia de peso diario proyectado en llamas no castrados GMDT= Ganancia Media Día Total; PV= Peso Vivo. Tomada de Condori et al. (2018). 10
- Figura 3** Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de cabritos Locales en el norte de México, obtenida de los modelos logístico y Gompertz. Tomado de Maldonado -Jáquez et al. (2021). 11
- Figura 4** Esquema que muestra las partes del cuerpo en dónde se realizaron las diferentes mediciones corporales en los machos cabríos de ambos grupos experimentales. Modificado de Chacón et al. (2011). 22
- Figura 5** Evolución promedio (\pm SEM) del peso corporal de los 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 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (\circ , n =11). Los asteriscos denotan diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$). 25
- Figura 6** Medición del consumo promedio (\pm SEM) de alimento ofrecido a un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC \bullet , n = 10) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL \circ , n =11). El modelo estadístico no mostró diferencias significativas entre grupos ($P > 0.05$). 26
- Figura 7** Variaciones promedio (\pm SEM) del Índice de Masa Corporal (IMC) registrado en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; \bullet , n = 10) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a 27

un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, n =11). Los asteriscos denotan diferencia entre grupos (P < 0.05).

- Figura 8** Evolución promedio (\pm SEM) de la altura a la cruz registrada en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; ●, n = 10) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, n =11). Al lado derecho, aparece el promedio de la altura a la cruz total ganada durante todo el estudio. Los asteriscos denotan diferencia significativa entre grupos (P < 0.001). 29
- Figura 9** Variaciones promedio (\pm SEM) de los niveles de glucosa en sangre completa en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; ●, n = 10) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, n =11). Los asteriscos denotan diferencia significativa entre grupos (P < 0.05). 30

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Edad, tipo de nacimiento y características fisiológicas y corporales (promedio \pm error estándar del promedio) de los cabritos machos de ambos grupos experimentales al inicio del estudio.	20
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) los machos se mantuvieron bajo los días cortos naturales. En el grupo GDL (n = 11) los machos fueron expuestos desde las 13 semanas de edad a un fotoperiodo artificial de 16 h de luz y 8 horas de obscuridad.	28

I. RESUMEN

EN LOS MACHOS CAPRINOS DEL SUBTRÓPICO EN CRECIMIENTO,
NACIDOS EN EL VERANO, LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES
ESTIMULA EL INCREMENTO DE PESO Y LOS NIVELES DE GLUCOSA

ALEXIS ADRIAN VARGAS CRUZ

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

Dr. Horacio Hernández Hernández
Director de Tesis

Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Co-director de Tesis

El objetivo de esta tesis fue determinar si la exposición a un fotoperiodo de días largos incrementa el peso corporal y las concentraciones de glucosa, en cabritos macho comparado con aquellos bajo los días cortos naturales. En septiembre, 21 cabritos macho (13 semanas de edad) fueron asignados a uno de 2 grupos. En el grupo días cortos, 10 machos estuvieron bajo los días cortos del otoño-invierno (GDC). En el grupo días largos, 11 machos percibieron días largos artificiales (16 h luz y 8 h de oscuridad; GDL). Los animales recibieron una ración completa. El peso corporal de los machos del GDL fue mayor que los del GDC ($P < 0.05$). La ganancia diaria de peso obtenida durante las 23 semanas de estudio fue mayor en los machos del GDL que los del GDC ($P < 0.05$). Los machos del GDL presentaron mayor IMC que los machos del GDC ($P < 0.05$). La altura a la cruz no fue diferente entre grupos en las diferentes semanas ($P > 0.05$). Sin embargo, el total de altura a la cruz ganada durante el estudio fue mayor en los machos del GDL que en los machos del GDC ($P < 0.01$). Las concentraciones de glucosa en el ayuno fueron mayores ($P < 0.05$) en los machos del GDL que en los del GDC. Se concluye que la exposición de los cabritos machos de

regiones subtropicales nacidos en el verano a un fotoperiodo de días largos estimula el desarrollo corporal y los niveles de glucosa en sangre.

Palabras clave: tasa de crecimiento; desarrollo corporal; peso corporal; fotoperiodo; machos cabríos

ABSTRACT

**EXPOSURE MALE GROWING GOAT KIDS FROM SUBTROPICAL REGIONS
TO ARTIFICIAL LONG DAYS, STIMULATES THEIR INCREASES IN BODY
WEIGHT AND BLOOD GLUCOSE LEVELS**

ALEXIS ADRIAN VARGAS CRUZ

MASTER IN AGRARY SCIENCES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

Dr. Horacio Hernández Hernández
Tesis Advisor

Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Tesis Co-advisor

The objective of the present study was to determine if the exposure to artificial long day photoperiod could promote a high body weight and increased metabolite glucose in male goat kids compared with those under natural short days. On September, 21 criollo male goat kids (13 week aged) were assigned to one of the two experimental groups. In natural short days group, males remain under natural short days from autumn-winter (GDC, n = 10). In artificial long days group, males were exposed to artificial photoperiod consisting in 16 h light and 8 h darkness (GDL, n = 11). All animals were fed according their nutritional requirements. During the study, the body weight of the GDL animals was higher than that of the GDC males ($P < 0.05$). The daily weight gain during the 23 weeks of study was higher in the GDL males than that registered in the GDC males ($P < 0.05$). Males from GDL had higher IMC than the males of the GDC ($P < 0.05$). The height at the withers did not reach differences between groups in the different weeks ($P > 0.05$). 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 than GDC males. It was concluded, that exposure the male goat kids from subtropical

regions to artificial long days, stimulate their body weight and blood glucose levels.

Key words: growth rate; body development; body weight; photoperiod; male goat kids

I. INTRODUCCIÓN

La actividad de la caprinocultura nacional toma relevancia ya que de ella se deriva un gran volumen de leche que en parte se destina para autoconsumo por los productores y sus familias y parte se comercializa y se lleva a la elaboración de leche ultrapasteurizada, quesos, dulces etc. En efecto, a nivel nacional anualmente se producen en promedio más de 163 millones de litros de leche de cabra (SIAP, 2020). De igual manera, de esta actividad ganadera se deriva parte de la producción de carne que se destina para la comercialización y consumo de la población. Así, anualmente se producen en promedio más de 77 mil toneladas de carne en canal de caprino (SADER, 2017).

En regiones templadas y subtropicales, los pequeños rumiantes machos y hembras muestran un patrón de reproducción estacional que se relaciona a los cambios naturales en la duración del día (Delgadillo et al., 1999; Duarte et al., 2008). En estos caprinos se puede estimular la actividad sexual al someter los animales a alternancias de días cortos (8 h de luz/día) y días largos artificiales (16 h luz/día; Delgadillo et al., 2004; Duarte et al., 2010). Además, al someter a días largos artificiales las cabras que paren en el otoño se estimula una mayor producción de leche (Flores et al., 2011; Flores et al., 2015; Hernández et al., 2016; Mendieta et al., 2018). De manera general, estas investigaciones demuestran que estos animales locales de la Comarca Lagunera son sensibles a los cambios en el fotoperiodo.

El crecimiento y desarrollo de los caprinos ocurren de manera similar en comparación con otros mamíferos (Webb et al., 2011). Hammond (1966), define el crecimiento 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: el genotipo, el peso al nacimiento, el tamaño de la camada, el sexo, la

nutrición, la edad de la madre, y la época del nacimiento (Marai et al., 2002; Meza-Herrera et al., 2008; Balogun et al., 1992; Caro-Petrovic et al., 2012). 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. En condiciones experimentales 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, hasta hoy no se ha estudiado en caprinos en crecimiento si la exposición a días largos artificiales pueda estimular el peso y el crecimiento corporal. La presente tesis fue realizada para aportar conocimiento nuevo sobre el crecimiento de caprinos jóvenes, en particular, si la exposición a días largos artificiales influye sobre la tasa de crecimiento y los niveles de glucosa en sangre comparado con animales mantenidos en fotoperiodo natural corto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Principios de crecimiento y desarrollo de los caprinos

El conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo de los animales domésticos, ha permitido poder entender y manipular los diferentes factores y eventos que suceden en estos procesos, ya que además de influir en el tiempo para alcanzar la pubertad, afectan la eficiencia productiva al tener una relación directa con la calidad de la carne (Casey y Webb, 2010).

El crecimiento y desarrollo del ganado caprino ocurren de forma similar al de otros mamíferos terrestres. Así, los genes de crecimiento quienes determinan el crecimiento (tamaño) y el desarrollo (conformación), suelen expresarse en función de los diversos factores del entorno externo e interno del animal (Webb et al., 2011). Tanto el crecimiento como el desarrollo son resultantes de una serie de cambios anatómicos y fisiológicos complejos que ocurren en el organismo. Este proceso de transformación incluye una multiplicación de las células (hiperplasia), diferenciación, aumento del tamaño (hipertrofia) y formación de órganos y tejidos (Owens et al., 1993; Bavera et al., 2005).

3.2. Definición de crecimiento

El crecimiento generalmente es definido como el aumento de peso del animal hasta que alcanza el tamaño adulto. Dicho proceso incluye no solo la multiplicación celular (hiperplasia) sino también el agrandamiento celular (hipertrofia). Así, la masa tisular aumenta por hiperplasia en la vida temprana y por hipertrofia más tarde, aunque la hiperplasia del tejido adiposo continúa durante toda la vida (Hammond, 1959; Owens et al., 1993). Por otro lado, Fowler (1968), considera que el crecimiento tiene dos aspectos. El primero es medido como el aumento de masa (peso) por unidad de tiempo. El segundo se refiere a los cambios en forma y composición que resultan de un crecimiento diferencial de las partes que conforman el cuerpo.

3.3. Definición de desarrollo

Hammond (1966), define al desarrollo como las modificaciones de la conformación corporal del animal, alcanzando la plenitud de sus funciones y facultades. Sin embargo, Butterfield (1988), lo describe como cambios en la forma y en las proporciones corporales asociados con el crecimiento.

3.4. Curva de crecimiento o de ganancia de peso acumulativa

La curva de crecimiento, que es la masa o el peso acumulado representado frente a la edad, es sigmoidea y consta de una fase de aceleración (autoaceleración) prepuberal más una fase de desaceleración (autoinhibida) pospuberal (Owens et al., 1993). La forma para medir el crecimiento consiste en medir durante un tiempo a diferentes intervalos el peso corporal del animal para determinar su curva del crecimiento (Lloyd et al., 1982).

3.5. Modelos matemáticos en el crecimiento animal

Los modelos matemáticos utilizados para modelar el crecimiento tienen forma sigmoidea, y constan de diferentes fases (Figura 1) siendo su evolución en el tiempo similar en las diferentes especies: 1. *Fase de aceleración*, la cual debe tener su origen en el punto (0.0), y se caracteriza porque la velocidad de crecimiento es muy rápida y ascendente llegando al máximo en el punto de inflexión de la curva. Es en este punto donde la velocidad de ganancia es mayor, inmediatamente antes de comenzar a descender, como lo indica la curva de ganancia diaria, que coincide con la pubertad. 2. *Fase de desaceleración o autoinhibición*, a partir del punto de inflexión la tasa de crecimiento comienza a disminuir; y 3. *Fase lineal*, en la que el animal deja de crecer o el crecimiento puede ser considerado como una mera reposición de tejidos (Fowler, 1968, Cicarelli et al., 2017).

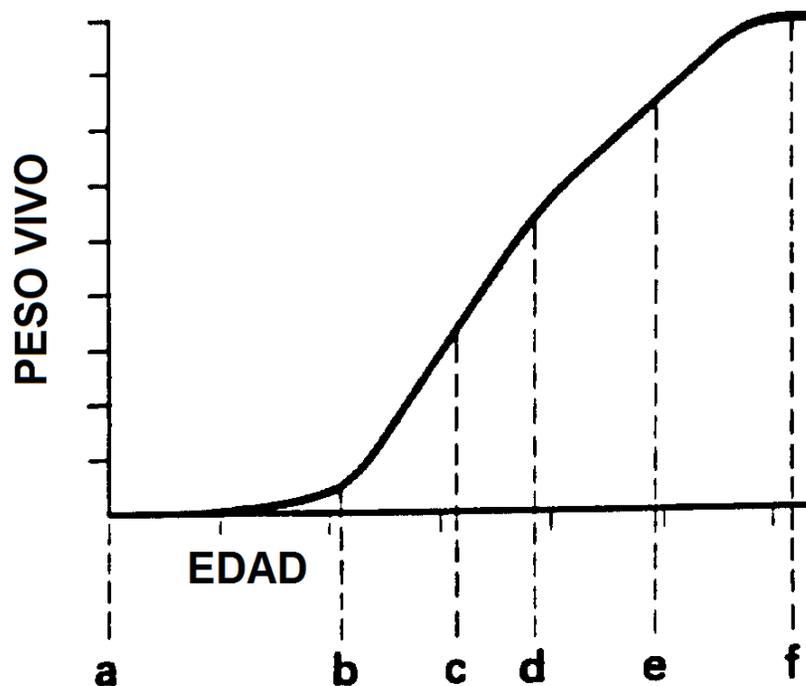


Figura 1. Curva de crecimiento para corderos que muestran una forma sigmoidea característica, a) concepción, b) nacimiento, c) fase de aceleración, d) punto de inflexión a menudo asociado con la pubertad, e) fase de desaceleración, y f) madurez (tamaño adulto). Modificado de Batt (1980).

Una curva de crecimiento típica puede dividirse 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). Así, Pires et al. (2017), reportaron en caprinos de la raza Repartida un pico en la tasa de crecimiento absoluta (TCA) de 93 g/día 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. Los autores atribuyeron el resultado de este último estudio, a un manejo muy pobre en la alimentación. De forma similar, Figueiredo et al. (2012), en caprinos mestizos Boer x Nubia obtuvieron una curva de la TCA con un pico de 180 g/día 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 otras especies, Condori et al., (2018),

reportaron en llamas no castradas productoras de carne una máxima ganancia de peso diario de 129.11 g/día a la edad de 12 meses (Figura 2).

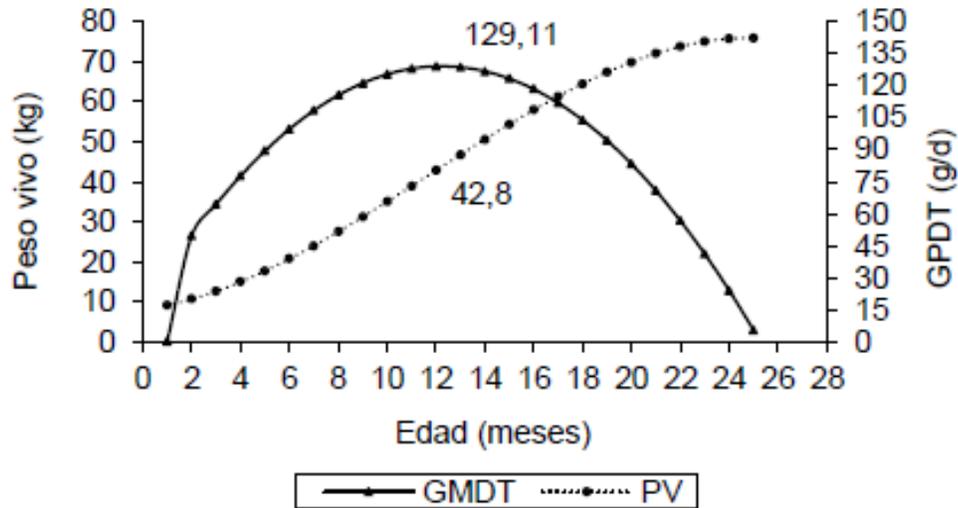


Figura 2. Curva de crecimiento y ganancia de peso diario proyectado en llamas no castradas GMDT= Ganancia Media Día Total; PV= Peso Vivo. Tomada de Condori et al. (2018).

Recientemente, en la región de la Comarca Lagunera del norte de México, Maldonado-Jáquez et al. (2021), estudiaron el comportamiento en la curva de crecimiento de cabritos locales a partir de los 76 días (destete) hasta los 1100 días de edad. En ese estudio, ellos observaron que existe un pico en la TCA de 47 g/día a los 350 días de edad y 30 g/día a los 1100 días de edad (Figura 3).

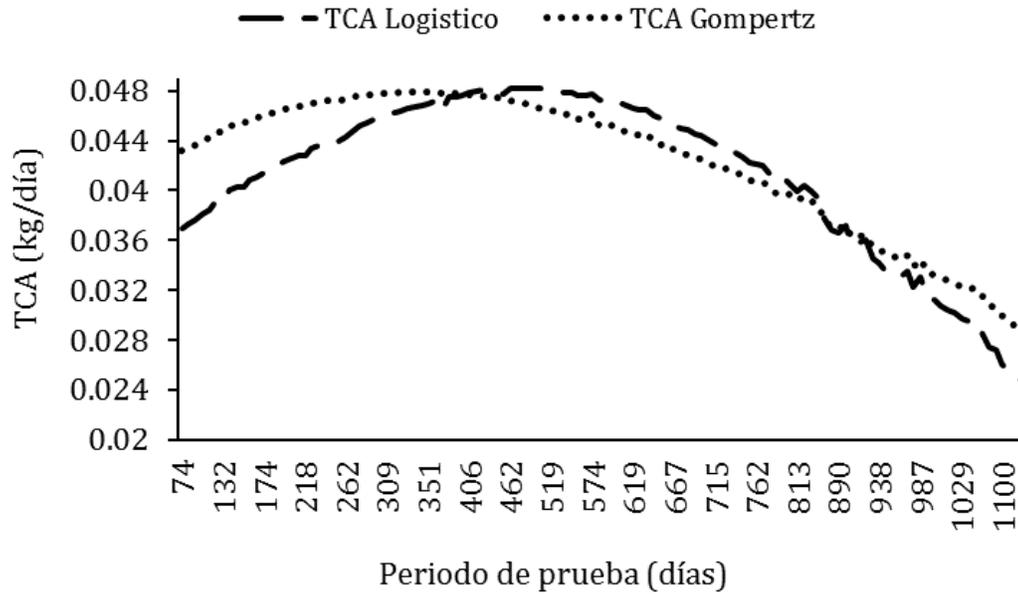


Figura 3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de cabritos Locales en el norte de México, obtenida de los modelos logístico y Gompertz. Tomado de Maldonado - Jaquez et al. (2021).

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). Los parámetros de la curva de crecimiento son altamente heredables, por lo que pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de selección genética (Mignon-Grasteau et al., 2000; Lewis et al., 2002).

3.6. Crecimiento compensatorio

Al restringir la ingesta diaria de nutrientes en los animales en crecimiento, la tasa de crecimiento es inferior a la normal. En estos animales, la tasa de aumento de peso durante la re-alimentación suele ser mayor que para los congéneres que nunca estuvieron restringidos. Este crecimiento compensatorio representa una rápida hipertrofia del tejido muscular (Owens et al., 1993). Drouillard et al. (1991), indicaron que el crecimiento compensatorio se ve influenciado por las diferencias en la duración o la gravedad de la privación de nutrientes en mayor medida para novillos con restricción de energía que para

novillos con restricción de proteínas. Así mismo, Moran y Holmes (1978) y Hogg (1991), indican que la magnitud del crecimiento compensatorio depende de varios factores. Estos incluyen la edad en que comienza la restricción; la gravedad, duración y naturaleza de la desnutrición; la dieta y el tiempo de realimentación; y el tipo de raza. El crecimiento compensatorio parece alterar la composición más durante el crecimiento, pero tiene un efecto limitado sobre la composición corporal en la madurez.

Se ha documentado que el aumento en el consumo de alimento es uno de los principales mecanismos por el cual se logra la recuperación en animales restringidos nutricionalmente. Sin embargo, otros autores sostienen que el factor fundamental es una reducción del metabolismo basal lo que hace que los animales tengan un menor gasto de mantenimiento (Verde, 1974). Asimismo, ha sido establecido por diversos investigadores que animales que han pasado por un período de restricción nutricional presentan mayores consumos durante el período de realimentación, comparados con animales no restringidos de la misma edad (Winchester y Howe, 1955; Ryan et al., 1993). Se ha propuesto (Wilson y Osbourn, 1960) que este mayor apetito puede ser atribuido a una mayor capacidad del sistema digestivo, puesto que estos tejidos serían retardados muy levemente por un bajo nivel nutricional.

3.7. Influencias propias del animal en el crecimiento y composición del cuerpo de los machos cabríos

3.7.1. Edad y estado de madurez

Los animales de las diferentes especies no crecen, ni se desarrollan o maduran a la misma edad fisiológica. De modo que el incremento en peso está relacionado con diferente patrón de crecimiento de los órganos que componen el cuerpo. La mayoría de los órganos internos son de madurez temprana, es decir, se aproximan a su peso maduro antes de que se alcance su peso corporal final (Black, 1988). Entre otros órganos, el orden de maduración es esqueleto,

músculo y grasa, con solo la grasa acercándose a un peso máximo a una tasa de velocidad más rápida que el cuerpo entero durante las etapas finales de crecimiento (Black, 1988).

En el ganado productor de carne, a edades más tempranas y pesos corporales más livianos, el hueso está presente en mayores proporciones que el músculo y la grasa, respectivamente, que en edades más avanzadas y pesos más pesados. Sin embargo, las tasas de estos cambios difieren entre los tipos de razas (Keane, 2011). La acumulación de proteínas se reduce a cero cuando en los animales alcanza su tamaño corporal maduro, aunque los animales maduros pueden seguir acumulando grasa (Owens et al., 1995). Asimismo, a medida que los genotipos de ovinos aumentan con la madurez, en términos absolutos el peso corporal, de la canal, de los huesos y de los músculos aumenta; pero, comparativamente en relación con el peso de la canal, la proporción de peso de la grasa (gordura) aumenta, mientras que las proporciones de peso de los músculos (delgadez) y, especialmente, de los huesos disminuyen (Nsoso et al., 1999). De manera similar, en el cerdo, la relación entre el aumento diario de carne magra y el aumento de grasa disminuye a medida que aumenta el peso vivo.

2.7.2. Factores que afectan la tasa de crecimiento en rumiantes

3.7.2.1. Raza de los animales

La tasa de crecimiento de las cabras depende principalmente del tamaño adulto. El peso corporal adulto varía considerablemente entre las razas de cabras. El peso maduro de razas grandes como las cabras de raza lechera europea y Boer pueden superar los 100 kg. En las razas tropicales de talla pequeña el peso maduro puede ser tan bajo como 9-13 kg. Las cabras australianas mantenidas en pastizales tienen un peso medio maduro de 45 a 80 kg (Warmington y Kirton 1990; McGregor, 2005).

De modo general, la progenie de cabras grandes tiene tasas de crecimiento más altas que las de las razas de cabras más pequeñas (Dhanda et al. 2003). Las tasas de crecimiento varían de 50 g por día para razas pequeñas (por ejemplo, india Barbari e indonesio Kambing) a más de 200 g / día para razas grandes (Saanen, Alpine y Boer; McGregor, 1985). Una manera de mejorar las tasas de crecimiento en las cabras australianas mantenidas en pastizales se obtiene al cruzarse con razas más grandes que muestren crecimiento superior.

Eady y Rose (1988), informaron que el aumento de peso promedio diario más alto registrado en cabras de Australia mantenidas en pastoreo fue de 178 g, mientras que las de cruce Anglo-Nubia también mantenidas en pastizal fue de 225 g. Si bien las razas más grandes crecen más rápido y alcanzan un peso comercial antes, es posible que no siempre están adaptadas a las condiciones ambientales hostiles de los pastizales. Hoy día en Australia, la reproducción cruzada de cabras de pastizales para un crecimiento más rápido está limitada por la ausencia de acceso a razas con características de crecimiento superiores que sean capaces de desarrollarse en entornos hostiles como el pastizal.

3.7.2.2. Tipo de nacimiento

Se ha demostrado que el tipo de nacimiento tiene un efecto significativo sobre el peso al nacer y el peso al destete, ya que las crías de partos simples generalmente tienen un mayor peso al nacer que las crías de partos gemelares y las crías gemelares a su vez tienen ventaja sobre los trillizos (Das y Sendalo 1990). Hary y Schwartz (2002), encontraron que los cabritos de parto simple eran significativamente más pesados en todas las edades que los cabritos nacidos de parto gemelar. También notaron que la diferencia en el peso corporal de las crías gemelares inicialmente aumentó del 7% al nacer al 22% al destete. Gebrelul et al. (1994), observaron que gran parte de la variación en el peso al nacer fue asociado al tipo de nacimiento, las crías que naces de partos simples fueron más pesadas que las crías nacidas de partos múltiples. Esta variación puede explicarse parcialmente por una insuficiencia en la producción de leche materna

para satisfacer los requerimientos de más de un cabrito bajo condiciones adversas y escasez de forrajes. La desventaja de los partos gemelares en el peso y el crecimiento de los cabritos, también puede resultar de un nacimiento más débil que el de los cabritos de partos simples (Sacker y Trail, 1996; Gromela et al., 1998). En la región de Queensland en Australia se demostró que las cabras Cachemira mantenidas en pastizal tienen diferencias significativas entre partos gemelares y simples sobre el desempeño del crecimiento en cabritos. Así, Los cabritos de nacimiento simple pesaban significativamente más al nacer (media 2.94 frente a 2.50 kg) y a los 3 meses de edad (19.0 frente a 15.1 kg), y tenían un aumento de peso diario más alto (141 frente a 105 g / día) en comparación con los cabritos de partos gemelares (Eady y Rose 1988).

3.7.2.3. Edad de la madre

Pym et al. (1982), informaron que el crecimiento temprano de los cabritos nacidos de madres nulíparas fue lento; Sin embargo, la desventaja de peso temprana se superó a los 5 meses de edad, debido muy probablemente al crecimiento compensatorio. Este efecto de la edad de la madre también se ha demostrado en otras razas de cabras. Del mismo modo, Ikwuegbu et al. (1995), demostraron que el número de partos que ha experimentado una hembra afectó la tasa de crecimiento y el peso corporal de las crías hasta el destete. Jiménez-Badillo et al. (2009), indicaron que el peso a los 30 días de edad y el peso al destete se incrementaban conforme se incrementó la edad de la madre. También Liu et al. (2005), reportaron que en cabritos de madres en su primer parto las ganancias diarias de peso del nacimiento al destete fueron menores que los cabritos nacidos de madres con mayor edad. Estos últimos investigadores indicaron que la pobre condición corporal registradas en las madres de primer parto fue la causa de dicha menor ganancias de peso de sus crías.

3.7.3.4. Época de nacimiento y crecimiento

La época en que nacen los cabritos tiene una influencia importante sobre el desarrollo de los mismos. Por ejemplo, Jiménez-Badillo et al. (2009), encontraron que los cabritos nacidos en el otoño fueron más pesados que los nacidos en invierno, lo nacidos en primavera y aquellos nacidos en el verano. El peso registrado a los 30 días de edad fue menor para aquellos cabritos nacidos en el invierno, estos autores también encontraron que el peso al destete de los cabritos nacidos en la primavera fue mayor que aquellos nacidos en las otras 3 estaciones (Jiménez-Badillo et al., 2009). Cuando estos autores monitorearon el peso de los cabritos hasta los 60 días de edad, observaron que la mayor ganancia diaria de peso fue para aquellos cabritos nacidos en primavera que los nacidos en cualquiera de las otras tres estaciones del año. En la cabra blanca Celtibérica en el estado de Zacatecas de nuestro país, Sánchez-Gutiérrez et al. (2018), encontraron que los cabritos nacidos durante los días crecientes del mes de marzo crecen con mayor rapidez que los cabritos nacidos durante los días decrecientes del mes de noviembre.

Eliot y Pearce (1999), informaron una tasa de crecimiento baja de marzo a junio/julio, seguida de un aumento significativo en la tasa de crecimiento de julio a agosto en cabras Boer mantenidas en pastizales. Estos investigadores observaron además que la alimentación no era limitante y que los cambios en la tasa de crecimiento no correspondían con eventos de lluvia. Ash y Norton (1987), también señalaron que las bajas tasas de crecimiento de las cabras destetadas de la raza Cachemira mantenidas en pastos tropicales podrían estar asociadas posiblemente con una disminución estacional del apetito. Walkden-Brown et al. (1994), investigaron la influencia de la época y la calidad de la dieta en la ingesta voluntaria de alimento (IVA) y el crecimiento de los machos Cachemira de tres años (cabras salvajes domesticadas). La IVA fue mayor durante la primavera y el verano y más bajo durante el otoño. Los cambios en IVA fueron altos durante la primavera. El peso vivo de los machos varió similar al IVA, ya que el peso vivo estuvo estrechamente asociado con la ingesta de energía digestible. Los machos perdieron peso durante el otoño y sus tasas máximas de crecimiento se

produjeron entre mediados del invierno y mediados de la primavera. El peso vivo alcanzó su punto máximo a mediados o finales del verano y fue más bajo a finales del otoño o principios del invierno.

3.7.3.5. Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento

El efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento y desarrollo en rumiantes está bien documentado en ovinos y bovinos. Así, en corderos y vaquillas la exposición a un fotoperiodo de 16 horas luz artificial incrementa la ganancia diaria de peso (Forbes et al., 1975; Tucker et al., 1984). Se ha demostrado de manera artificial que se estimula 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/día) que en aquellas sometidas a un fotoperiodo natural (0.310 kg/día; Deacon et al., 2015).

III. OBJETIVOS

El objetivo de la presente tesis fue investigar en los machos cabríos en crecimiento del subtrópico mexicano nacidos en el verano, si la exposición a un fotoperiodo artificial de días largos puede estimular el peso corporal, el crecimiento y los niveles de glucosa en sangre, comparado con los machos mantenidos bajo los días cortos naturales.

IV. HIPÓTESIS

En los machos cabríos en crecimiento del subtrópico mexicano nacidos en el verano, la exposición a un fotoperiodo artificial de días largos estimula el peso corporal, el crecimiento y los niveles de glucosa en sangre, comparado con los machos mantenidos bajo los días cortos naturales.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento experimental de la presente tesis estuvo en acuerdo con la guía de investigación animal: Reportando investigaciones de Experimentos en Vivo (ARRIVE, por sus siglas en inglés; Kilkenny et al., 2010) y con las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio publicado en el Diario Oficial de la Federación (NOM-062-ZOO-1999; SAGARPA, 2001).

6.1. 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).

6.2. Condiciones generales del estudio

Se utilizaron 21 cabritos machos intactos Criollos, cuya fecha de nacimiento promedio fue el 26 de junio \pm 3 días. Cuando los machos cumplieron en promedio 13 ± 0.1 semanas de edad fueron alojados cada uno en un corral individual de 1 \times 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 y 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 y diariamente se llenaba para la disposición de agua a libre acceso.

6.3. Diseño del experimento

Antes del experimento todos los animales estuvieron bajo el fotoperiodo natural. El día 27 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). 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, los corrales fueron equipados con lámparas de luz fluorescente que emitía una intensidad luminosa de 300 lx a nivel de los ojos de los animales. 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. Con ello, y la luz natural, se proporcionaba en total 16 h de luz por día. Para este fin, se utilizó un temporizador automático (TEMP 08E, Steren, Cd. de México, México). El tratamiento lumínico culminó hasta el 28 de febrero del siguiente año.

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

	Grupos	
	GDC	GDL
Edad en semanas	13 \pm 0.5	13 \pm 0.5
Peso (kg)	14.6 \pm 0.8	14.6 \pm 0.8
Tipo de nacimiento		
Sencillo	6	6
Gemelar	4	5
Glucosa (mg/dL)	69 \pm 2.1	68 \pm 1.5
Mediciones corporales (cm)		
Largo del cuello	19 \pm 0.5	19 \pm 0.4
Circunferencia del cuello	25 \pm 0.6	24 \pm 0.7
Perímetro torácico	58 \pm 1.4	58 \pm 1.04
Altura a la cruz	54 \pm 0.73	52 \pm 0.7
Largo del cuerpo	49 \pm 1.1	50 \pm 1

6.4. Variables estudiadas

6.4.1. 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 0.02 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:

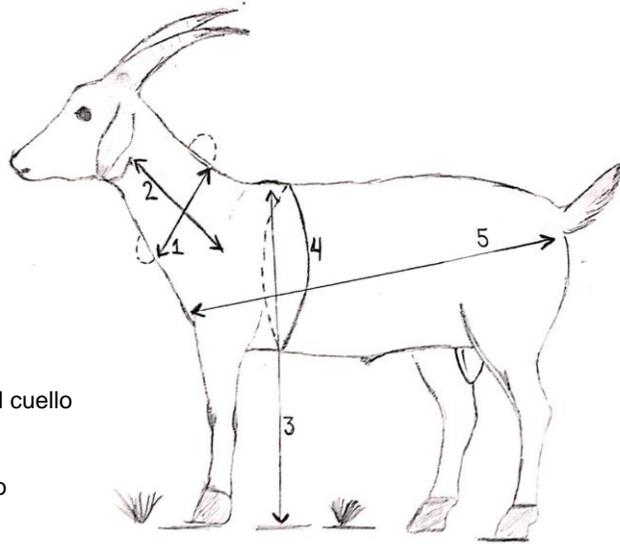
$$GDP = \frac{\textit{peso final} - \textit{peso inicial}}{161}$$

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.

6.4.2. 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). La manera de hacer cada medición se describe en la Figura 4.

1. Circunferencia del cuello
2. Largo del cuello
3. Altura a la cruz
4. Perímetro torácico
5. Largo del cuerpo



Escaneado con CamScanner

Figura 4. Esquema que muestra las partes del cuerpo en dónde se realizaron las diferentes mediciones corporales en los machos cabríos de ambos grupos experimentales. Modificado de Chacón et al. (2011).

Descripción de las mediciones analizadas:

1. Longitud del cuello: se midió en centímetros (cm) de la parte posterior del hueso occipital a la unión de la última vértebra cervical con la primera torácica.
2. Circunferencia del cuello: se midió en cm a la mitad de la longitud del cuello (entre la 3ra y 4ta vértebra cervical).
3. Altura a la cruz (talla): es la distancia en cm entre el suelo y la parte del animal denominada cruz; se midió en cm desde el punto más culminante de la región interescapular ("cruz", 3a y 4ta apófisis espinosas de las vértebras torácicas) hasta el suelo.
4. Perímetro torácico: medición en cm desde el punto dorsal más declive de la región interescapular (apófisis espinosa de la 7a-8va vertebra dorsal) hasta la región esternal inferior (a nivel del olécranon).

5. Largo del cuerpo: se midió en cm desde el punto más craneal y lateral de la articulación del húmero (punta del encuentro) al punto más caudal de la articulación ilio-isquiática (punta de la nalga).

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.

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

6.4.3. Niveles de glucosa en sangre

Los niveles de glucosa en sangre se determinaron 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. La muestra fue tomada 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 los niveles de glucosa se usó un glucómetro de uso en humanos (Accu Chek Sensor Comfort, Roche, México). El rango de determinación del glucómetro fue de 20 a 600 mg de glucosa/dL de sangre.

6.4.4. Consumo voluntario de alimento

En la presente tesis se realizaron 9 mediciones del consumo voluntario de alimento de los animales experimentales. Para ello, se determinó el consumo diario (durante 24 h), mediante el uso de una báscula digital. Para calcularlo, 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. Con los datos individuales se calculó una media (\pm SEM) por grupo experimental.

6.5. Análisis estadísticos

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 José, CA).

VI. RESULTADOS

7.1. Peso corporal y tasa de crecimiento

El peso corporal promedio de los machos de ambos grupos registrado durante el estudio se muestra en la Figura 5. 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; $P < 0.0001$).

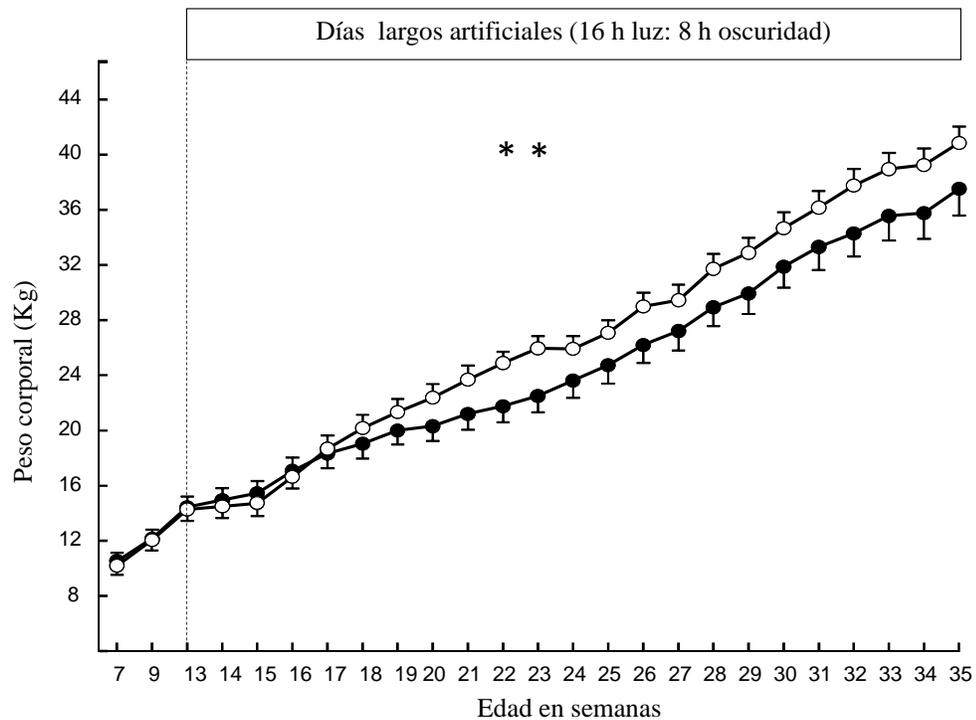


Figura 5. Evolución promedio (\pm SEM) del peso corporal de los cabritos machos del subtropical mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (●, $n = 10$) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (○, $n = 11$). Los asteriscos denotan diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

De igual manera, el modelo estadístico reveló una interacción significativa entre el grupo experimental x 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).

7.2. Consumo voluntario de alimento

En la Figura 6 se observa la cantidad promedio de alimento consumido por los machos de ambos grupos experimentales. En ella se detalla que el consumo se incrementó ($P < 0.0001$) conforme transcurrió la edad de los animales en ambos grupos. Sin embargo, no se encontraron diferencias importantes en los datos de consumo voluntario de alimento entre los 2 grupos de machos.

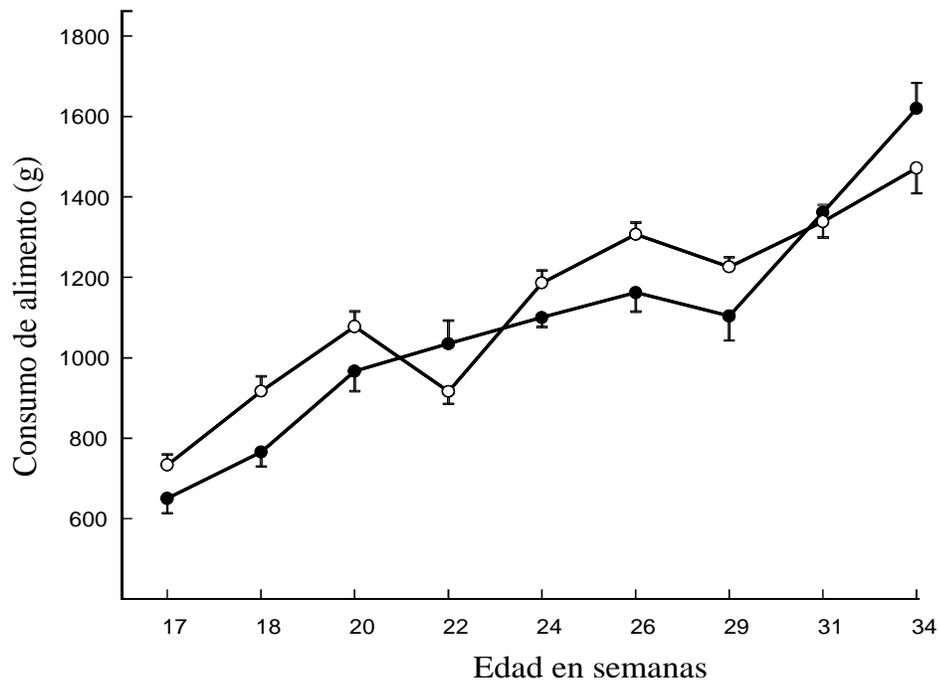


Figura 6. Medición del consumo promedio (\pm SEM) de alimento ofrecido a un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC ●, $n = 10$) y de aquellos que a partir de la

semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL ○, n =11). El modelo estadístico no mostró diferencias significativas entre grupos ($P > 0.05$).

7.3. Índice de masa corporal (IMC)

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 7; $P < 0.0001$), por lo cual se observó que en algunos periodos que los machos del GDL tuvieron mayor IMC que los machos del GDC ($P < 0.05$).

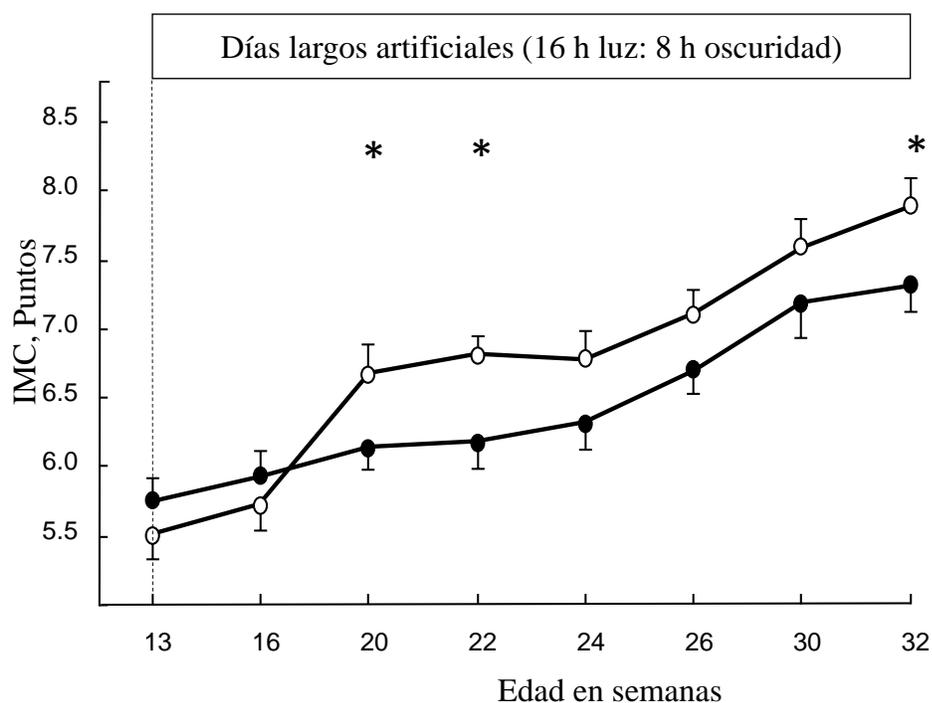


Figura 7. Variaciones promedio (\pm SEM) del Índice de Masa Corporal (IMC) registrado en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; ●, n = 10) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, n =11). Los asteriscos denotan diferencia entre grupos ($P < 0.05$).

7.4. Mediciones corporales

En la Tabla 2 se muestran las diferentes mediciones corporales de los machos cabríos de ambos grupos experimentales. De manera general, el modelo estadístico reveló un efecto del tiempo o transcurso de la edad de los animales sobre esas variables ($P < 0.05$), excepto el largo del cuello cuyo incremento no fue significativo. En el presente, en la mayoría de estas mediciones corporales no existió diferencia significativa entre los 2 grupos de machos ($P > 0.05$). Solo el perímetro torácico en la semana 32 fue mayor en los machos del GDL que en los del GDC (Tabla 2; $P < 0.05$).

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 ($n = 10$) los machos se mantuvieron bajo los días cortos naturales. En el grupo GDL ($n = 11$) los machos fueron expuestos desde las 13 semanas de edad a un fotoperiodo artificial de 16 h de luz y 8 horas de oscuridad.

	Semanas de medición (edad en semanas)								P
	13		20		26		32		
Medidas corporales (cm)	GDC	GDL	GDC	GDL	GDC	GDL	GDC	GDL	tiempo x grupo
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 ($P < 0.05$).

Asimismo, en la altura a la cruz (Figura 8) 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 8, derecha).

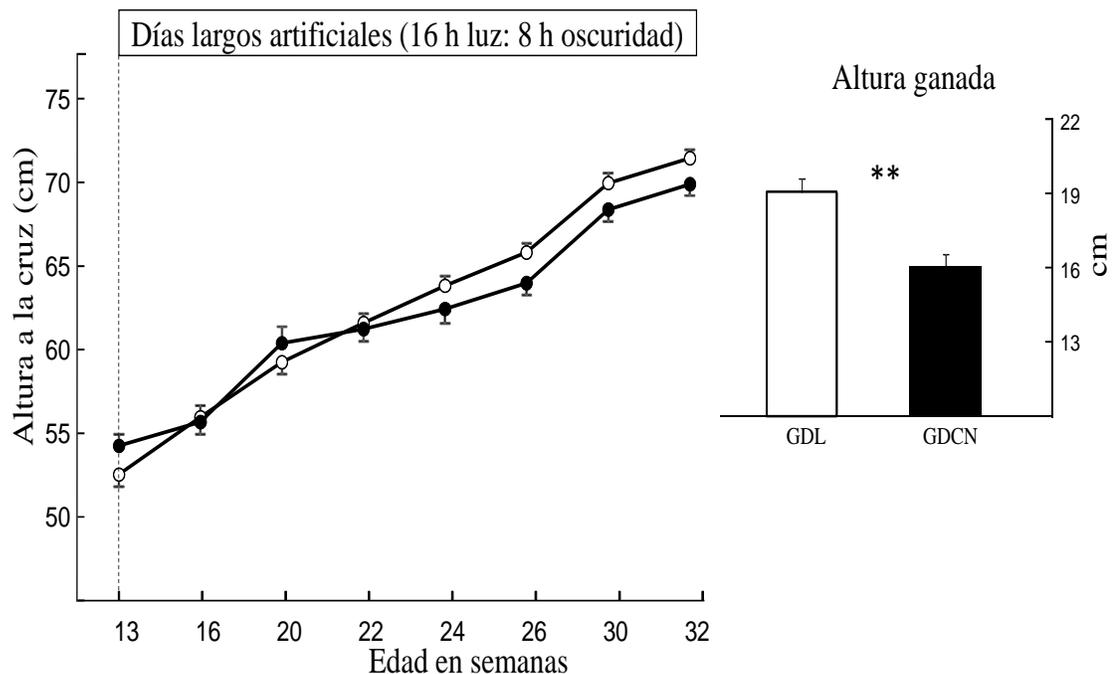


Figura 8. Evolución promedio (\pm SEM) de la altura a la cruz registrada en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; ●, $n = 10$) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, $n = 11$). Al lado derecho, aparece el promedio de la altura a la cruz total ganada durante todo el estudio. Los asteriscos denotan diferencia significativa entre grupos ($P < 0.001$).

7.5. Niveles de glucosa en sangre completa

El modelo estadístico reveló que los niveles de glucosa variaron a través del tiempo de estudio (efecto del tiempo; $P < 0.0001$). Además, el modelo estadístico indicó que en los datos de la glucosa en sangre la interacción tiempo \times grupo experimental resultó significativa ($P < 0.05$). En efecto, en la Figura 9 se observa que, en condiciones de ayuno, los machos del GDL tuvieron mayores niveles de este metabolito en algunos periodos que los machos del GDC.

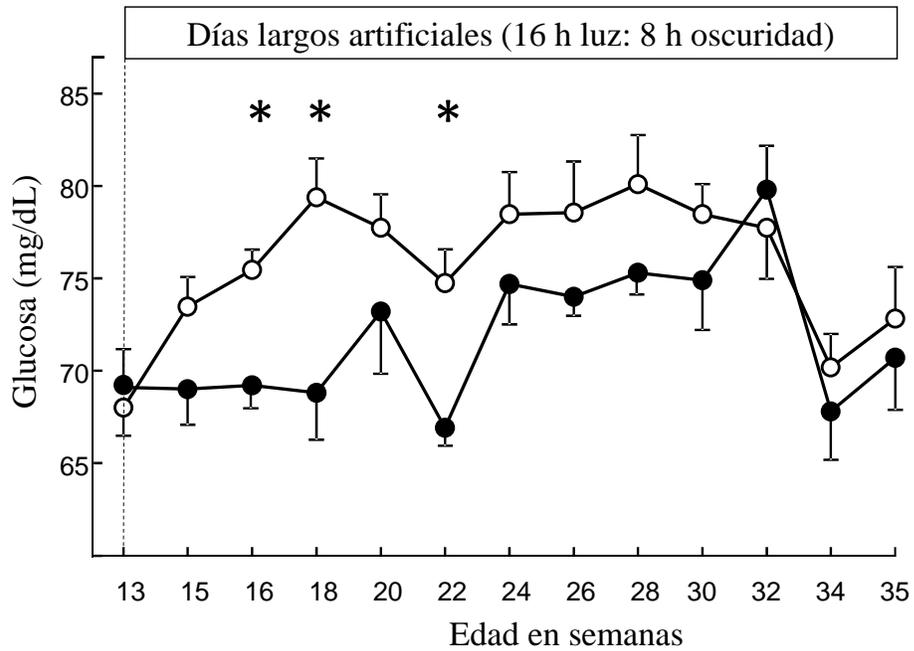


Figura 9. Variaciones promedio (\pm SEM) de los niveles de glucosa en sangre completa en un grupo de cabritos machos del subtrópico mantenidos bajo los días cortos naturales del otoño-invierno (GDC; ●, $n = 10$) y de aquellos que a partir de la semana 13 y hasta las 35 semanas de vida se expusieron a un fotoperiodo de días largos artificiales (GDL; ○, $n = 11$). Los asteriscos denotan diferencia significativa entre grupos ($P < 0.05$).

VII. DISCUSIÓN

Los presentes resultados indican que en los machos caprinos jóvenes del subtrópico nacidos en el verano, la exposición a días largos artificiales estimula el incremento de peso corporal y los niveles de glucosa en sangre.

Los presentes resultados demuestran por vez primera que, en los machos cabríos del subtrópico, la exposición a un fotoperiodo de días largos artificiales a partir de los 3.5 meses de edad durante los días cortos naturales resultó en un mayor peso corporal a los 8.5 meses de edad y en una mayor GDP. Este resultado concuerda con los estudios llevados a cabo en carneros y en corderas en crecimiento (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 castrados expuestos a 16 h de luz/día ganaron peso más rápido que los corderos expuestos 8 h de luz/día. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo reportado en los carneros de la raza Ile de France en los que a partir de 2 años fueron expuestos a variaciones anuales o semestrales de fotoperiodo artificial (Barenton et al., 1988). En este último estudio, se pudo observar que existieron periodos de ganancia de peso acelerada siempre después de que los carneros percibieran el fotoperiodo artificial de días crecientes. Está documentado que en carneros castrados y en algunos rumiantes silvestres, que 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, como se pudo observar en la Figura 6 de la presente tesis no se encontraron diferencias importantes en los datos de consumo voluntario de alimento entre los 2 grupos de machos. Previamente, en vaquillas se demostró que la exposición a días largos artificiales no necesariamente se asoció con un elevado consumo voluntario de alimento (Enright et al. 1995; Phillips et al. 1997).

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; Barenton et al., 1988) y del factor de crecimiento similar a insulina (IGF-1) (Schanbacer 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 (discutido más adelante). En efecto, en un estudio El-Shahat et al. (2014), demostraron que el tratamiento con somatotropina en corderas Rahmani reduce los días al inicio de la pubertad (18 días) en comparación con aquellas corderas no tratadas. En este mismo estudio la administración de somatotropina incrementó los metabolitos sanguíneos, como lo indica el aumento de la glucosa sérica, los lípidos totales, el colesterol y los niveles de IGF-1.

En relación con el IMC de los animales del presente trabajo, fue claro que los machos del GDL presentaron un índice mayor que los machos del GDC durante el tratamiento de los días largos artificiales. Desde hace aproximadamente más de 2 décadas y en estudios recientes el IMC se ha utilizado como un indicador del índice del estado nutricional de los caprinos y por ello de las reservas de energía corporal (Tanaka et al., 2002; Liu et al., 2019). Además, en ovejas se ha sugerido que esta variable es un estimador indirecto de la acumulación de grasa corporal (Chavarría-Aguilar et al., 2016). En vaquillas, los días largos estimulan la masa muscular, regulado 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). Con los argumentos anteriores se puede sugerir fuertemente que

los machos del GDL se mantuvieron en un excelente estado corporal comparado con los machos del GDC. 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.

Como se mostró en la Tabla 2, de manera general, el modelo estadístico reveló un efecto del tiempo o transcurso de la edad de los animales sobre las diferentes mediciones corporales 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). Asimismo, en la mayoría de estas mediciones corporales no existió diferencia significativa entre los 2 grupos, en el presente estudio. Solo el perímetro torácico a la semana 32 fue mayor en los machos del GDL que en los del GDC. En la variable altura a la cruz (Figura 8) no mostraron 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 (Figura 8, derecha). 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).

El modelo estadístico indicó que en los datos de la glucosa en sangre, la interacción tiempo \times grupo experimental resultó significativa. En efecto, en la Figura 9 se observa que, en condiciones de ayuno, los machos del GDL tuvieron mayores niveles de este metabolito en algunos periodos que los machos del GDC. Previamente en caprinos machos y hembras de menos de un mes de edad que estuvieron amamantándose, Flores et al. (2018), demostraron que los animales mantenidos en días largos artificiales mostraron mayores niveles de glucosa en sangre que los animales bajo un fotoperiodo natural decreciente. 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 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 ovejas preñadas, O'Doherty y Crosby (1998), sugirieron que las concentraciones de glucosa en plasma por encima de los 30 mg/dL indican hipoglicemia. Estos mismos investigadores determinaron que existió una relación positiva entre el consumo de energía metabolizable con los niveles de glucosa en plasma. De hecho, Okitolonda et al. (1987), reportaron que en ratas desnutridas alimentadas con una dieta que contenía 5 % de proteína (tratadas), los niveles de glucosa plasmática y los niveles de insulina plasmática en ayunas fueron más bajos que en las ratas alimentadas con una dieta que contenía 15 % de proteína (control). En ganado productor de carne, las concentraciones de glucosa, ácidos grasos no esterificados (NEFA), urea y nitrógeno están estrechamente relacionados con el crecimiento de los animales (Ellenberger et al., 1989).

En conjunto, los resultados obtenidos de la presente tesis apoyan la hipótesis de que, en los machos caprinos del subtrópico en crecimiento nacidos en el verano, la exposición a días largos artificiales estimula el incremento de peso y los niveles de glucosa en sangre completa. 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 sobre el crecimiento. 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.

VIII. CONCLUSIÓN

En las condiciones del presente trabajo de tesis, estudiando los machos cabríos en crecimiento del subtrópico mexicano nacidos en el verano, se puede concluir que la exposición a días largos artificiales estimula el incremento de peso y los niveles de glucosa en sangre completa, comparado con los machos mantenidos en fotoperiodo corto natural del otoño e invierno.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Archer, Z.A., Finlay, P.A., McMillen, S.R., Rhind, S.M., 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*. 182:409–419. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1820409>.
- Argot, C. McG., Smith, S., Kay, R.N.B. 1999. Seasonal changes of metabolism and appetite in Soay rams. *Animal Science*. 69:191-202. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051237>.
- Arias, L.M., Guevara, H.F., Fonseca, F.N., Gomez, C.H., Pinto, R.R., De Coss, L.A., Medina, J.F.J., Coutino, R.R.R., Ruiz, N.R.E., Espinosa, J.A., Rodriguez, L.L.A. 2012. Morphological Characterization of the Cuban Creole Goat: Basis for Participatory Management of a Zoogenetic Resource. *Research Journal of Biological Sciences*. 7:270-277. <http://docsdrive.com/.../270-277.pdf>.
- Ash, A.J. y Norton, B.W. 1987. Productivity of Australian Cashmere goat grazing Panagola grass pasture and supplemented with untreated and formaldehyde treated protein meals. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 27:779-784.
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H. and Petryna, A. 2005. Crecimiento, Desarrollo y Precocidad. Sitio argentino de producción animal. 1-11 p. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf.
- Balogun, R.O., Olayemi, M.E., Osinowo, O.A. 1993. Environmental factors affecting birth weight and litter size in yankasa sheep. *Nigerian Journal of Animal Production*. 20:14-19. <https://doi.org/10.51791/njap.v20i.2096>.
- Barenton, B., Ravault, J.P., Chabanet, C., Daveau, A., Pelletier, J., Ortavant, R. 1988. Photoperiodic control of growth hormone secretion and body weight in rams. *Domestic Animal Endocrinology*. 5:247-255. [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(88\)90036-7](https://doi.org/10.1016/0739-7240(88)90036-7).

Batt, R.A.L. (1980). Studies in Biology no. 116; Influences on Animal Growth and Development. Camelot Press, London.

Black, J.L. 1988. Animal growth and its regulation. Journal of Animal Science. 66:1-22. https://doi.org/10.1093/ansci/66.Supplement_3.1.

Butterfield, R.M. 1988. New Concepts of Sheep Growth. Departamento de Anatomía Veterinaria de la Universidad de Sydney. 168 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1813/2095>

Casey, N.H. y Webb, E.C. 2010. Managing goat production for meat quality. Small Ruminant Research 89:218-224. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.047>.

Caro Petrović, V., Ilić, Z., Ružić Muslić, D., Petrović, M.P., Petrović, M.M., Tomić, Z., Marinkov, G. 2012. Analysis of environmental and genetic factors in growth characteristics of balkan goat. Biotechnology in Animal Husbandry. 28:275-282. <https://doi.org/10.2298/BAH1202275C>.

Chacón, E., Macedo, F., Velázquez, F., Rezendo, P.S. Pineda, E., McManus, C. 2011. Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. Revista Brasileira de Zootecnia. 40(8):1671-1679. DOI:10.1590/S1516-35982011000800007.

Chavarría-Aguilar, L.M., García-Herrera, R.A., Salazar-Cuytun, R., Chay-Canul, A.J., Casanova-Lugo, F., Piñeiro-Vázquez, A.T., Aguilar-Caballero, A.J. 2016. Relationship between body fat depots and body mass index in Pelibuey. Small Ruminant Research. 141: 124-126. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2016.07.014.

Cicarelli, M.V. 2017. Curva de crecimiento de cerdos de un criadero comercial de Tandil. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Tandil. Buenos Aires. Argentina.

Condori, G., Renieri, C., Ayala, C., Rodríguez, T. Martínez, Z. 2018. Estudio y caracterización de la aptitud de producción de carne en llamas (lama glama). Instituto de Investigaciones Agropecuarias y de Recursos Naturales. 62-75 p.

Das, S.M. y Sendalo, D.S. 1990. Comparative performance of improved meat goats in Malya, Tanzania. Proceedings of the First Biennial Conference of the African Small Ruminant Research Network, ILRAD, Nairobi, Kenya. 10-14 p. Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5520b/x5520b19.htm>.

Dhanda, J. S.; Taylor, D. G.; Murray, P. J. 2003. Part 1. Growth, carcass and meat quality parameters of male goats: effects of genotype and liveweight at slaughter. *Small Ruminant Research*, 50: 57-66. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00112-3).

Deacon, M.L., Knights, M., 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

Delgadillo, J.A., Canedo, G.A., Chemineau, P., Guillaume, D., Malpaux, B. 1999. Evidence for an annual reproductive rhythm independent of food availability in male creole goats in subtropical northern Mexico. *Theriogenology*. 52:727-737. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00166-1).

Delgadillo, J.A., Cortez, M.E., Duarte, G., Chemineau, P., Malpaux, B. 2004. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reproduction Nutrition Development*. 44(3):183-183. DOI: 10.1051/rnd:2004024.

Drouillard, J.S., Ferrell, C.L., Klopfenstein, T.J., Britton, R.A. 1991. Compensatory growth following metabolizable protein or energy restrictions in beef steers. *Journal of Animal Science*. 69:811-818. <https://doi.org/10.2527/1991.692811x>.

Duarte, G., Flores, J.A., Malpaux, B., Delgadillo, J.A. 2008. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*. 35:362-370. DOI: 10.1016 / j.domaniend.2008.07.005.

Duarte, G., Nava-Hernández., M.P., Malpaux., B., Delgadillo, J.A. (2010). Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Animal Reproduction Science*. 120:65-70. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.004->.

Eady, S.J. y Rose, M. (1988). Reproductive performance of cashmere goats in south-western Queensland. *Animal Production in Australia* 17: 182-185. Disponible en: <http://www.asap.asn.au/livestocklibrary/1988/Eady88.PDF>.

El-Shahat, K.H., Khaled, N.F., El-Far, F.I. 2014. Influence of growth hormone on growth and onset of puberty of Rahmani ewe lamb. *Asian Pacific Journal of Reproduction*. 3:224-230. [https://doi.org/10.1016/S2305-0500\(14\)60030-0](https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60030-0).

Ellenberger, M.A., Jhonson, D.E., Carstens, G.E., Hossner, K.L., Holland, M.D., Nett, T.M., Nockels, C.F. 1989. Endocrine and metabolic changes during altered growth rates in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 67:1446-1454. DOI: 10.2527 / jas1989.6761446x.

Eliot, G. y Pearce, D. 1999. Animal production: Results and management recommendations from the Winderie Trial. In: 'Findings and observations from the Winderie Goat Domestication Trial 1995-1998. Shackleton. Enright, W.J., Zinn, S.A., Reynolds, V.S., 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*, 34:107-113. <http://www.jstor.org/stable/25562250>.

Figueiredo, L.A., Rocha, S.J.L., Guimarães, C.J.E., da Silva, S.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. Disponible

en: file:///C:/Users/Propietario/Downloads/Dialnet-FatoresAmbientaisEGeneticosSobreACurvaDeCresciment-4026124.pdf.

Flores, M.J., Flores, J.A., Elizundia, J.M., Mejía, A., Delgadillo, J.A., Hernández, H. 2011. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *Journal of Animal Science*. 89: 856–862. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3232>

Flores, M.J., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Pastor, F.J., Duarte, G., Vielma, J., Hernández, H. 2015. Artificial long days increase milk production in subtropical lactating goats managed under extensive grazing conditions. *The Journal of Agricultural Science*. 153: 335–342. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000379>.

Flores, M.J., Flores, J.A., Duarte, G., Vielma, J., Delgadillo, J.A., Hernández, H. 2018. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases body weight in goats kids born in the autumn. *Small Ruminant Research*. 169:181-185. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.11.013>.

Forbes, J.M., Driver, P.M., El Shahat, A.A., Boaz, T.G., Scanes, C.G. 1975. The effect of daylength and level of feeding on serum prolactin in growing lambs. *Journal of Endocrinology*. 64:549-554. <https://doi.org/10.1677/joe.0.0640549>.

Fowler, V. R. 1968. Body development and some problems of its evaluation in *Growth and Development of Mammals*. Butterworth, London.

Gebrelul, S., Sartin, L.S., Iheanacho, M. 1994. Genetic and non-genetic effects on the growth and mortality of Alpine, Nubian and crossbred kids. 12(2):169-176. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0921-4488(94)90093-0).

Gould, M.B. y Whiteman, J.V. 1971. Association of certain variables with the performance of spring versus fall-born lambs. *Journal of Animal Science*. 33:531-536. <https://doi.org/10.2527/jas1971.333531x>.

Gromela, E.H., Ledin, I., Udèn, P. 1998. On-farm performance of dual purpose goats and farmers' attitudes towards introduction of goats in HADO Areas of Kondoa. Africa Integrated Farming in Human Development. In: WOMEN IN AGRICULTURE AND MODERN COMMUNICATION TECHNOLOGY, Tune landboskole, Danemark. Proceedings Danemark.

Hammond, J. 1959. Avances en fisiología zootécnica. Acribia. Zaragoza. 1330 p.

Hammond, J. 1966. Principios de la Explotación Animal. Reproducción, Crecimiento y Herencia. Acribia. Zaragoza.

Hary, I. y Schwartz, H.J. 2002. Effects of seasonal breeding on reproductive performance of pastoral goat herds in northern Kenya: a longitudinal analysis of growth in kids and body weight development of does. Journal of Arid Environments. 50(4):641-664. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0918>.

Hernández, H., Flores, J.A., Delgadillo, J.A., Fernández, I.G., Flores, M.J., Mejía, A., Elizundia, J.M., Bedos, M., Ponce, J.L., Ramírez, S. 2016. Effects of exposure to artificial long days on milk yield, maternal insulin-like growth factor 1 levels and kid growth rate in subtropical goats. Animal Science Journal. <https://doi.org/10.1111/asj.12451>. 87: 484–491.

Hogg, B. W. 1991. Compensatory growth in ruminants. In: A. M. Pearson and T. R. Dutson (Ed.) Growth Regulation in Farm Animals. Advances in Meat Research. Vol. 7. Elsevier Science Publishers. New York.

Ikwuegbu, O.A., Tarawali, G., Rege, J.E.O. 1995. Effect of fodder banks on growth and survival of West African Dwarf goats under village conditions in subhumid Nigeria. Small Ruminants Research. 17:101-109. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00654-4](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00654-4).

Jiménez-Badillo, M.R., Rodrigues, S., Sanudo, C., Teixeira, A. (2009). Non-genetic factors affecting live weight and daily gain weight in Serrana Transmontano kids. Small Ruminant Research. 84:125-128. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.06.002>.

Jin, J., Sawa, K., Hashizume, T. 2013. Effects of photoperiod on secretory patterns of growth hormone in adult male goats. *Animal Science Journal*. 84:790-797. <https://doi.org/10.1111/asj.12073>.

Keane, M.G. 2011. Beef cross breeding of dairy and beef cows. End of Project Report, Teagasc. Disponible en: <https://tstor.teagasc.ie/bitstream/handle/11019/1169/Beefxbreeding.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Kilkenny, C., Browne, W.J., Cuthill, I.C., Emerson, M., Altman, D.G. 2010. Animal research: reporting in vivo. *PLoS Biol.* 8, e1000412. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000412>.

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.

Liu, W., Zhang, Y., Zhou, Z., 2005. Adjustment for non-genetic effects on body weight and size in Angora goats. *Small Ruminant Research*. 59:25–31. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.11.006>.

Liu, H., Gipson, T.A., Puchala, R., Goetsch, A.L. 2019. Relationships among body condition score, linear measures, body mass indexes, and growth performance of yearling Alpine doelings consuming high-forage diets. *Applied Animal Science*. 35:511-520. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01877>.

Lloyd, L.E., McDonald, B., Crampton, E.W. 1982. *Fundamentos de Nutrición*. Acribia. Zaragoza. 564 p.

Maldonado-Jáquez, J.A., Castañeda-Bustos, V.J., Granados-Rivera, L.D., Salinas-González, H., Pastor-López, F.J., Torres-Hernández, G. 2021. Curva de crecimiento y tasas de crecimiento absoluto y relativo de cabritos locales en el norte de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24:1-11. Disponible en: [file:///C:/Users/Propietario/Downloads/3515-16128-2-PB%20\(8\).pdf](file:///C:/Users/Propietario/Downloads/3515-16128-2-PB%20(8).pdf).

Marai, I.F.M., Abou-Fandoud, E.I., Daader, A.H., Abu-Ella, A.A. 2002. Reproductive doe traits of the Nubian (Zaraibi) goats in Egypt. *Small Ruminant Research*. 46:201-205. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00195-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00195-5).

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. <https://doi.org/10.2527/2000.78102515x>.

McGregor, B. A. 1985, Growth, development and carcass composition of goats: a review. In Copland, J. W. (ed), *Goat production and research in the tropics: proceedings of a workshop held at the University of Queensland, Brisbane, Australia, 6-8 February 1984*, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, A. C. T. 82-90 p.

McGregor, B.A. 2005. Compendium of growth rates of Australian goats. Department of Primary Industries, Attwood, Victoria. Disponible en: https://www.vgls.vic.gov.au/client/en_AU/search/asset/1009735/0.

Mendieta, E.S., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Flores, M.J., Nandayapa, E., Vélez, L.I., Zarazaga, L.A., Bedos, M., Terrazas, E., Hernández, H. 2018. Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield. *Reproduction in Domestic Animals*. 53(4):955-962. <https://doi.org/10.1111/rda.13194>.

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 Chapingero Serie Zonas Áridas*. 7:125-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545066015>.

Morán, J. B. y Holmes, W. 1978. The application of compensatory growth in grass/cereal beef production systems in the United Kingdom. *World Review of Animal Production* 14 (2): 65-73.

Nsoso, S.J., Young, M., Beatson, P. 1999. The genetic control and manipulation of lean tissue growth and body composition in sheep. *Animal Breeding Abstracts*. 67: 433-444.

O'Doherty, J. V. y Crosby T. F. 1998. Blood metabolite concentrations in late pregnant ewes as indicators of nutritional status. *Animal Science*. 66:675-683. <https://doi.org/10.1017/S1357729800009243>.

Okitolonda, W., Brichard, S.M., Henquin, J.C. 1987. Repercussions of chronic protein-calorie malnutrition on glucose homeostasis in the rat. *Diabetologia*. 30:946-951. DOI: 10.1007 / BF00295879.

Owens, F.N., Dubeski, P., Hanson, C.F. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*. 71:3138-3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>.

Owens, F.N., Gill, D.R., Secrist, D.S., Coleman, S.W. 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 73(10):3152-3172. <https://doi.org/10.2527/1995.73103152x>.

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*. 62:241-248. <https://doi.org/10.5194/aab-62-241-2019>, 2019.

Phillips, C.J.C., Jhonson, P.N., Arab, T.M. 1997. The effect of supplementary light during winter on the growth, body composition and behaviour of steers and heifers. *Animal Science*. 65:173-181. <https://doi.org/10.1017/S1357729800016477>.

Pires, L., Medeiros, M.T.M., Souza, C.P.L., Lopes da Silva, J.B., de Holanda B.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.

Ptáček, M., Milerski, M., Schmidová, J., Ducháček, J., Tančín, V., Uhrinčať, M., Hakl, J., Stádník, L. 2018. Relationship between body mass index, body energy reserves, milk, and meat production of original Wallachian sheep. *Small Ruminant Research*. 165:131-133. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.04.001>.

Pym, R.A., Holst, P.J., y Nicholls, P.J. 1982. Effects of sex birth-rearing type and damage upon early growth of Australian goats. *Proceedings of the 3rd International Conference on Goat Production and Disease*.

Rius, A.G. y Dahl, G.E. 2006. Exposure to long day photoperiod prepubertally increases milk yield in primiparous heifers. *Journal of Dairy Science*. 89:2080-2083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72277-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72277-9).

Ryan, W.J., Williams, I.H. y Moir, R.J. 1993. Compensatory growth in sheep and cattle. I Growth pattern and feed intake. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44 (7): 1609-1621. DOI: 10.1071 / ar9931609.

Sacker, G.D. y Trail, J.C.M. 1996. Production characteristics of a herd of E. African Mubende goats. *Tropical Agriculture*. 43; 43- 51. <https://hdl.handle.net/10568/66912>.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2017. La caprinocultura en México. Consulta: 22 de noviembre 2021. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/la-caprinocultura-en-mexico>.

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. Disponible en: <https://cbsuami.org/documentos/labsdivisionales/bioterio/NOM-062-ZOO.pdf>.

Sánchez-Gutiérrez, R.A., Maldonado-Jáquez, J.A., Granados-Rivera, L.D. 2018. Efecto de la época de parto sobre crecimiento de cabritos raza blanca celtibérica en el estado de Zacatecas, México. *Revista Científica Semestral Investigación, Desarrollo e Innovación*. 1(2):351-359. Disponible en:

<http://cienciaeinnovacion.com.mx/wp-content/uploads/2020/05/S%C3%A1nchez-Guti%C3%A9rrez-29.pdf>.

Schanbacher, B.D. y 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>.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avance comparativo por producto de la producción pecuaria. Consulta: 25 de noviembre 2021. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecCompaEspProd.jsp.

Spicer, L.J., Buchanan, B.A., Chapin, L.T., Tucker, H.A. 2007. Effect of exposure to various durations of light on serum insulin-like growth factor-I in prepubertal Holstein heifers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 2:42-45. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2007.42.45>.

Tanaka, T, Akaboshi, N., Inoue, Y., Kamomae, H., 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*. 132:185-196. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.05.001>.

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.

Tucker, H.A., Petitclerc, D., Zinn, S.A. 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake and hormone secretion. *Journal of Animal Science*. 59:1610–1620. DOI: 10.2527 / jas1984.5961610x.

Verde, L. 1974. Estado actual de los conocimientos sobre crecimiento compensatorio. *AAPA Prod. Venezuela*.

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. <https://doi.org/10.5194/aab-54-287-2011>.

Walkden-Brown, S.W., Norton, B.W., Restall, B.J. 1994. Seasonal variation in voluntary feed intake and growth in cashmere bucks fed ad-libitum diets of low or high quality, *Australian Journal of Agricultural Research* 45 (2):355-366. <https://doi.org/10.1071/AR9940355>.

Warmington, B.G. y Kirton, A.H. 1990. Genetic and non-genetic influences on growth and carcass traits of goats. *Small Ruminant Research*. 3(2):147-165. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(90\)90089-O](https://doi.org/10.1016/0921-4488(90)90089-O).

Webb, E., Casey, N., Simela, L. 2011. Growth, development and growth manipulation in goats. *Goat Meat Production and Quality*. Capítulo 8. 196-208. Lynnwood, Pretoria. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287318757_Growth_development_and_growth_manipulation_in_goats.

Winchester, C.E. y Howe, P.E. 1955. Relative effects of continuous and interrupted growth on beef steers. U.S. Department of Agriculture. Washington.