

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**LOS MACHOS FOTOESTIMULADOS INDUCEN LA PUBERTAD, Y LA
COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA INCREMENTA LA FERTILIDAD AL
PARTO EN CABRAS MANTENIDAS EN PASTOREO SEMIEXTENSIVO**

Tesis

Que presenta LEOECI ARELI ESPINOZA FLORES

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

Torreón, Coahuila

Junio de 2019

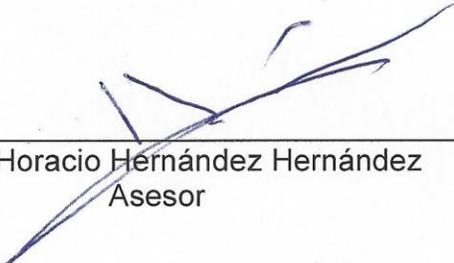
LOS MACHOS FOTOESTIMULADOS INDUCEN LA PUBERTAD Y LA
COMPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA INCREMENTA LA FERTILIDAD AL
PARTO EN CABRAS MANTENIDAS EN PASTOREO SEMIEXTENSIVO

Tesis

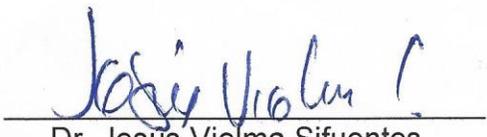
Elaborada por LEOECI ARELI ESPINOZA FLORES como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



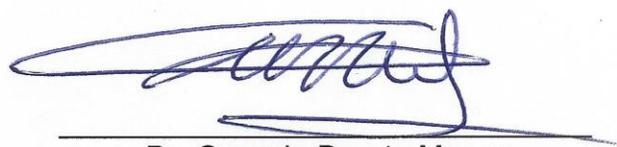
Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Asesor Principal



Dr. Horacio Hernández Hernández
Asesor



Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Asesor



Dr. Gerardo Duarte Moreno
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el apoyo incondicional que me brindan.

Al Doctor José Alberto Delgadillo Sánchez por aceptar ser mi asesor principal, por todo el conocimiento que me ha transmitido, y por todo su apoyo para la realización de mis estudios de maestría, y sobre todo por la amistad que me brinda.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por acogerme como alumna de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación en Reproducción Caprina.

Al Doctor Horacio Hernández.

A mis asesores el Dr. Jesús Vielma, Dr. Gerardo Duarte, Dr. Horacio Hernández y Dr. José Alberto Delgadillo.

A la Doctora Jennifer Denise Andrade Esparza por su amistad y por todo el apoyo brindado en el trabajo de campo.

A Esther y Lolis por su apoyo con los trámites secretariales.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mis padres Leticia y Elio enai por apoyarme moral y económicamente, por alentarme a seguir, porque si no estuvieran a mi lado, mi vida sería un completo desastre. Gracias por estar siempre cuando los necesito, sé que no ha sido fácil para ninguno, y espero en Dios poder recompensar todo lo que han hecho por mí, y estar juntos muchísimos años. Los amo con todo mi corazón.

A Dios por su infinita misericordia, por todas las bendiciones que me regala cada día.

A mis hermanos Oswaldo, Elio, Cecilia e Indira; gracias por estar conmigo y por regalarme momentos maravillosos y otros no tanto, los amo mucho.

A mis sobrinos Brianda, Oswaldo, Uziel, Tania, Enrique, Ángel, Viviana, Ángela, Kevin, Natali y Aaron los amo mucho.

A Isela.

A José, Ludivina, Alondra y Rosalba gracias infinitas por su apoyo incondicional y por la hermosa amistad que me brindan, lo quiero mucho, nunca cambien valen mil.

A mis amigos y familiares que me apoyaron y alentaron a continuar.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
I. RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
II. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 Justificación.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Raza	3
3.2. El fotoperiodo.....	3
3.3. Percepción y respuesta a los cambios fotoperiódicos.....	4
3.4. Acción del fotoperíodo en el inicio de la pubertad de las hembras caprinas y ovinas.....	5
3.5. Alimentación y peso corporal	5
3.6. Interacciones socio-sexuales entre machos y hembras.	7
3.7. Planteamiento del problema	7
IV. OBJETIVO.....	9
V. HIPÓTESIS	10
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
6.1 Descripción general del área de estudio.....	11
6.2 Descripción de los animales de estudio.....	11
6.2.1 Manejo de las hembras	11
6.2.2 Manejo y tratamiento de los machos	12

6.3 Efecto macho	12
6.3.1 Mediciones	13
6.4 Análisis estadístico	14
VII. RESULTADOS	15
9.1 Inicio de la pubertad y respuesta reproductiva de las hembras expuestas al efecto macho.	15
VIII. DISCUSIÓN	19
IX. CONCLUSIÓN	22
X. BIBLIOGRAFÍA	23

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Peso corporal al nacimiento y al inicio de la pubertad, edad a la pubertad (media \pm EEM), y proporción de cabras gestantes y paridas mantenidas en condiciones de pastoreo semiextensivo y expuestas a machos sexualmente activos. Las cabras se destetaron a los dos meses de edad. Desde entonces, pastorearon la vegetación nativa de 10:00 a 18:00 h. De diciembre a septiembre, dos grupos de cabras no recibieron complementación alimenticia, mientras que otros dos grupos recibieron 600 g de concentrado (14% PC/1.7 Mcal EM/kg de MS) antes (50%) y después (50%) del pastoreo. En abril, las cabras de un grupo no complementado y uno complementado se expusieron a machos sexualmente activos. Cada hembra de estos grupos fue tratada con 25 mg de progesterona por vía im 48 h antes de la introducción de los machos para prevenir los ciclos ovulatorios cortos.....17

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Variaciones del peso corporal (media \pm EEM) de las cabras mantenidas en pastoreo semiextensivo. Cabras en pastoreo no expuestas (\square) o expuestas (\blacksquare) al macho. Cabras en pastoreo que recibieron complementación alimenticia no expuestas (\circ) o expuestas (\bullet) al macho.	18
---	----

I. RESUMEN

Los machos fotoestimulados inducen la pubertad, y la complementación alimenticia incrementa la fertilidad al parto en cabras mantenidas en pastoreo semiextensivo Por Leoeci Areli Espinoza Flores, para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Director de tesis, José Alberto Delgadillo Sánchez. En cabras subnutridas que nacen en primavera, el inicio de la pubertad ocurre en el otoño del siguiente año. En el presente estudio determinamos si en cabras mantenidas en un sistema de producción semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad, y si la complementación alimenticia aumenta la fertilidad al parto de las hembras expuestas a los machos. Las cabras pastoreaban la flora nativa de 10:00 a 18:00. A los ocho meses de edad, dos grupos no recibieron complementación alimenticia después del pastoreo, otros dos grupos se complementaron con 600 g/d de concentrado (14% PC/1.7Mcal EM/kg MS). En abril, un grupo no complementado (n=10) y otro complementado (n=11) recibieron una dosis vía im de 25 mg de progesterona se alojaron en diferentes corrales y 48 h después se pusieron en contacto con machos fotoestimulados (n=1/grupo). Los otros grupos, el no complementado (n=8) y complementado (n=11), permanecieron aisladas de los machos y en condiciones semiextensivas. La mayoría de las cabras fueron púberes (70-100%). En las cabras expuestas al macho, la pubertad inicio antes que en aquellas no expuestas ($P < 0.001$), pero no hubo diferencias entre los últimos dos grupos ($P > 0.05$). La proporción de cabras preñadas no difirió entre los grupos expuestos a machos ($P > 0.05$), pero la proporción de cabras paridas fue mayor en cabras complementadas (7/11) que en cabras no complementadas (2/10; $P < 0.05$). En conclusión, en cabras mantenidas en condiciones de manejo semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad, y la complementación alimenticia incrementa la fertilidad al parto.

Palabras clave: Pubertad, Manejo Semiextensivo, Complementación Alimenticia, Efecto macho.

ABSTRACT

In undernourished spring-born goats and sheep, puberty onset occurred in subsequent autumn. In the present study, we determined whether in goats kept in semi-extensive management conditions, the introduction of sexually active males advance puberty, and whether nutritional supplementation increases the proportion of kidding females exposed to the males. Then, females grazed natural vegetation from 10:00 to 18:00. At eight months of age, two groups did not receive nutritional supplementation after grazing, other two groups were supplemented daily with 600 g/D of concentrate. In April, one non-supplemented (n=10) and other supplemented (n=11) received a dose via IM of 25 mg of progesterone were lodged in different pens and 48 h later they were contacted with photostimulated males (n = 1/group). The other groups, the non-complemented (n = 8) and complemented (n = 11), remained isolated from males and under semiextensive conditions. Most of the goats were pubertal (70-100%). In goats exposed to the male, puberty onset rather than those not exposed ($P < 0.001$), but there were no differences between the last two groups ($P > 0.05$). The proportion of pregnant goats did not differ between groups exposed to males ($P > 0.05$), but the proportion of calved goats was higher in supplemented goats (7/11) than in uncomplemented goats (2/10; $P < 0.05$). In conclusion, in goats maintained under semi-extensive management conditions, the male effect induces puberty, and nutritional supplementation increases fertility at birth.

Keywords: Puberty, Semiextensive Management, Nutritional Supplementation, Male Effect.

II. INTRODUCCIÓN

En las hembras caprinas, el inicio de la pubertad determinado por el primer estro o la primera ovulación es variable, y es modificado por el fotoperiodo, la alimentación o el desarrollo corporal, y las interacciones socio-sexuales entre los congéneres (Foster, 1994). La pubertad de las hembras caprinas y ovinas de razas estacionales, inicia solamente durante la estación sexual de las hembras adultas, es decir, en otoño e invierno (Delgadillo *et al.*, 2007; Foster, 1994). Las hembras deben percibir días crecientes o largos para que la pubertad inicie durante los días decrecientes o cortos. Además, las hembras deben alcanzar alrededor del 60 % del peso de las hembras adultas para que inicien la pubertad. En efecto, en las hembras subalimentadas, la pubertad puede iniciar algunos meses después que en las hembras bien alimentadas. En las hembras que son subalimentadas al permanecer en un sistema de producción semiextensivo, por ejemplo, la pubertad aparece alrededor de los 18 meses de edad, mientras que en las hembras bien alimentadas la pubertad inicia alrededor de los 8 meses de edad (Delgadillo *et al.*, 2007; Delgadillo y Martin, 2015) Finalmente, el inicio de la pubertad puede inducirse a través de las interacciones socio-sexuales entre machos y hembras, a través del fenómeno llamado “efecto macho” (Kenyon *et al.*, 2012; Valasi *et al.*, 2012). Así, la pubertad de las hembras caprinas y ovinas expuestas a machos sexualmente activos inicia antes que en aquellas expuestas a machos castrados o en reposo sexual, respectivamente (Abecia *et al.*, 2016; Chasles *et al.*, 2018).

2.1 Justificación

En la mayoría de las cabras que nacen en primavera (marzo-abril) y que son mantenidas en un sistema de producción extensivo, la pubertad aparece alrededor de los 18 meses de edad, debido probablemente al bajo desarrollo corporal provocado por la drástica disminución cuantitativa y cualitativa de la alimentación encontrada en las áreas de pastoreo de noviembre a mayo (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991; Ramírez *et al.*, 1991). (Duarte *et al.*, 2008). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar si en cabras nacidas en primavera y mantenidas en un sistema de producción semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad al año de edad, y si la complementación alimenticia incrementa la fertilidad al parto de las hembras expuestas al efecto macho.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

En las hembras caprinas, el inicio de la pubertad determinado por el primer estro o la primera ovulación es variable y depende de factores como la raza, la alimentación o el desarrollo corporal, el fotoperíodo y las interacciones socio-sexuales entre los congéneres (Foster, 1994).

3.1. Raza

En las hembras que nacen en la misma estación del año y que son alimentadas adecuadamente, la pubertad varía de una raza a otra. En las cabras de la raza Alpina y Saanen que nacen al final del invierno o principios de primavera, la pubertad inicia a los 7.8 meses de edad (Amoah y Bryant, 1984). En cambio, en las cabras de las razas Boer y las locales del norte de México, la pubertad inicia a los 6.4 y 8.8 meses de edad, respectivamente (Delgadillo *et al.*, 2007; Greyling y Van Niekerk, 1990). Finalmente, en las cabras Criollas de la Isla de Guadalupe en el Caribe, en las cabras de la raza Shiba, y en las locales de Camerún, la pubertad inicia a los 5.6, 6.7 y 4.7 meses de edad, respectivamente (Đuričić *et al.*, 2016; Chemineau, 1993; Sakurai *et al.*, 2004). Estos datos muestran las diferencias raciales que existen en las cabras en el inicio de la pubertad.

3.2. El fotoperíodo

El fotoperíodo o duración de las horas luz por día a través del año, es el factor del medio ambiente que sincroniza la reproducción de los mamíferos originarios o adaptados a las latitudes templadas y subtropicales (Bronson, 1985). En efecto, en caprinos, el fotoperíodo determina la existencia de la estación sexual en otoño e invierno (días decrecientes), y la estación de anestro o anovulación estacional en primavera y verano (días crecientes). Esta estacionalidad reproductiva de las hembras adultas, es una adaptación al medio ambiente que permite que los partos ocurran al final del invierno o principio de la primavera, cuando existe mayor disponibilidad de alimento, y temperaturas ambientales menos drásticas (Bronson, 1985; Karsch *et al.*, 1984; Ortavant *et al.*, 1985).

En las hembras de razas estacionales, la pubertad ocurre solamente durante la estación sexual de las hembras adultas, es decir, en otoño e invierno. Por tanto, el inicio de la pubertad es modificado drásticamente por el mes de nacimiento de las hembras. En las cabras del norte de México, por ejemplo, la pubertad inicia aproximadamente a los 9 meses de edad cuando nacen en enero, y a los 12 meses cuando nacen en octubre (Delgadillo *et al.*, 2007). De manera similar, las ovejas Suffolk que nacen en marzo son púberes aproximadamente a los 8 meses de edad, mientras que las que nacen en octubre, lo son a los 12 meses de edad (Foster, 1994). Es interesante mencionar que en las ovejas nacidas en otoño, la edad a la pubertad puede reducirse al someterlas desde el nacimiento a un fotoperíodo inverso al natural, es decir, a días crecientes en otoño y días decrecientes en primavera. En estas hembras, la pubertad inicia en verano (junio-julio) aproximadamente a los 9 meses de edad. Estos datos sugieren que las hembras prepúberes de razas estacionales deben percibir días crecientes para que la pubertad aparezca durante los días decrecientes. Por lo tanto, el fotoperíodo sincroniza el inicio de la pubertad.

3.3. Percepción y respuesta a los cambios fotoperiódicos

La información luminosa (luz-obscuridad) es captada por la retina. Después es transmitida a los núcleos supraquiasmáticos y paraventriculares, a los ganglios cervicales superiores, para llegar finalmente a la glándula pineal. Esta glándula secreta la melatonina únicamente durante la fase de obscuridad. Por tanto, la duración de secreción de melatonina permite al animal responder a los días cortos o decrecientes, y a los días largos o crecientes (Malpaux *et al.*, 1996). A nivel del hipotálamo, la melatonina modula la secreción pulsátil de GnRH y, en consecuencia, de LH y la actividad ovulatoria (Malpaux *et al.*, 1998). Estos datos indican que la melatonina modula la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, y por tanto, el inicio de la pubertad.

3.4. Acción del fotoperíodo en el inicio de la pubertad de las hembras caprinas y ovinas

El eje hipotálamo-hipofisario controla la actividad ovárica a través de la secreción del GnRH y las gonadotropinas (LH y FSH). En cambio, los ovarios modulan la actividad de este eje a través de la secreción del estradiol que actúan por retroalimentación negativa disminuyendo la secreción de las gonadotropinas. Las variaciones del fotoperíodo modulan la retroalimentación negativa del estradiol sobre el eje gonadotrópico, y es el mecanismo neuroendocrino responsable de los periodos de actividad y reposo sexual estacional en caprinos y ovinos (Karsch *et al.*, 1980; Karsch *et al.*, 1984; Chemineau *et al.*, 1988; Duarte *et al.*, 2010). En las hembras caprinas y ovinas adultas, la sensibilidad a la retroalimentación negativa del estradiol aumenta durante los días largos o crecientes, lo que disminuye la secreción de GnRH y LH, provocando los periodos del anestro estacional. En cambio, esta sensibilidad disminuye durante los días cortos, incrementándose la secreción de GnRH y LH, lo que permite que ocurra la ovulación (Karsch *et al.*, 1980).

En las hembras prepúberes el fotoperíodo modifica también la retroalimentación del estradiol sobre el GnRH y la LH. Esta modificación depende de la historia fotoperiódica de la hembra, es decir, del fotoperíodo que perciben antes de la pubertad. En las hembras que nacen en la primavera, es decir, durante los días decrecientes, el fotoperíodo incrementa la retroalimentación negativa del estradiol sobre la LH, disminuyendo su secreción, lo que evita la ovulación. En estas hembras, esta retroalimentación negativa desaparece paulatinamente durante los días decrecientes, lo que permite que se incremente la secreción de LH y ocurra la ovulación alrededor de los 8 meses de edad, dando inicio a la pubertad. Por tanto, el fotoperíodo determina el inicio de la pubertad en hembras caprinas y ovinas a través de la modificación de la retroalimentación negativa del estradiol sobre el GnRH y LH.

3.5. Alimentación y peso corporal

El nivel de nutrición que reciben las hembras prepúberes determina el peso

corporal, el cual está estrechamente ligado al inicio de la pubertad (Dyrmundsson y Lees, 1971). En ovejas y cabras, la pubertad inicia, generalmente, cuando las hembras alcanzan entre el 60 y 70 % del peso corporal de las hembras adultas (Valasi *et al.*, 2012). Además, en las hembras de razas estacionales, el desarrollo corporal debe coincidir con condiciones fotoperiódicas favorables para que inicie la pubertad. En las ovejas que nacen en marzo, y que son alimentadas a libre acceso desde el destete que ocurre a las 10 semanas de edad, la pubertad inicia en octubre, a los 8 meses de edad, con un peso vivo de aproximadamente 45 kg. En cambio, en las ovejas que fueron subalimentadas desde el destete para mantener un peso vivo de 20 kg, y que después recibieron una alimentación a libre acceso a partir de los 6 meses de edad, la pubertad inicia en noviembre, a los 9 meses de edad, con un peso vivo de aproximadamente 35 kg. En estos dos grupos de ovejas, la pubertad inicia durante los días decrecientes del mismo año de nacimiento después de haber percibido días decrecientes. Por tanto, el retraso de la pubertad se debió, muy probablemente, al diferente desarrollo corporal de las hembras. En un tercer grupo de hembras en el cual el peso vivo se mantuvo en 20 kg, la alimentación a libre acceso inició en marzo, es decir, cuando tenían un año de edad. Estas hembras alcanzaron un peso vivo de alrededor de 50 kg en junio (días crecientes o largos), pero la pubertad inició en septiembre (días decrecientes). Los datos en este tercer grupo sugieren que i) la pubertad no inició en junio debido a la fuerte retracción negativa del estradiol sobre la LH, a pesar de haber alcanzado 50 kg de peso vivo, y ii) que la pubertad inició en septiembre cuando disminuyó la retroacción negativa del estradiol sobre la LH. De manera similar, en las cabras que nacen en octubre, que son alimentadas a libre acceso y que alcanzan 24 kg en junio (días largos), la pubertad inicia en octubre alrededor de los 11 meses de edad (Delgadillo *et al.*, 2007). Finalmente, en las cabras que nacen en marzo y que son subalimentadas al permanecer en un sistema de producción extensivo, la pubertad no aparece en la primera estación reproductiva debido, muy probablemente, a que alcanzan un peso corporal de aproximadamente 15 kg. En estas hembras, la pubertad aparece

alrededor de los 18 meses de edad (Castillo, comunicación personal). Por lo tanto, el peso vivo o desarrollo corporal, y el fotoperíodo o estación del año, determinan el inicio de la pubertad.

3.6. Interacciones socio-sexuales entre machos y hembras.

Las interacciones socio-sexuales entre machos y hembras pueden modificar el inicio de la pubertad. En efecto, la introducción o la presencia permanente de un macho en un grupo de hembras prepúberes puede estimular el inicio de la pubertad. A este fenómeno se le conoce como efecto macho (Valasi *et al.*, 2012). La respuesta de las hembras al efecto macho depende del comportamiento sexual de los machos. Así, la pubertad de las hembras caprinas y ovinas expuestas a machos sexualmente activos inicia antes que en aquellas expuestas a machos castrados o en reposo sexual, respectivamente (Abecia *et al.*, 2016; Chasles *et al.*, 2018). Es importante señalar que, si se desea que las hembras expuestas a los machos se gesten, éstas deben tener alrededor del 60 % del peso vivo de las hembras adultas para evitar retardo en el crecimiento y pérdida de la productividad de los hatos (Delgadillo y Martín, 2015; Rosales-Nieto *et al.*, 2018).

3.7. Planteamiento del problema

El inicio de la pubertad es influenciado por el fotoperíodo y el desarrollo corporal de las hembras. En la Comarca Lagunera, la mayoría de los caprinos se encuentran en un sistema de producción semiextensivo, en el cual los animales se alimentan solo de la flora natural de los agostaderos, sin recibir un complemento alimenticio en el corral. La disponibilidad de la vegetación natural que consumen los caprinos disminuye drásticamente durante la estación de sequía, la cual ocurre de noviembre a abril, por lo que la mayoría de los animales se encuentran subalimentados (Sáenz-Escárcega *et al.*, 1991). El peso vivo adulto de las hembras en este sistema de producción es de alrededor de 35 kg (Duarte *et al.*, 2008). En este sistema, el 80 % de los partos ocurren de noviembre a febrero. Alrededor del 15 % de las hembras nacidas en febrero-marzo se dejan en el hato para renovación de las hembras adultas. En la

mayoría de estas hembras la pubertad no inicia en el primer año de vida debido, probablemente, al bajo desarrollo corporal. En ellas, la pubertad inicia en septiembre-octubre del siguiente año, cuando las cabras tienen alrededor de 18 meses de edad. Por lo tanto, el primer parto de las cabras ocurre cuando tienen alrededor de dos años, lo que reduce considerablemente la productividad de los hatos.

IV. OBJETIVO

Determinar si en cabras nacidas en primavera y mantenidas en un sistema de producción semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad al año de edad, y si la complementación alimenticia aumenta la fertilidad al parto de las hembras expuestas al efecto macho.

V. HIPÓTESIS

En cabras nacidas en primavera y mantenidas en un sistema de producción semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad al año de edad, y la complementación alimenticia aumenta la fertilidad al parto de las hembras expuestas al efecto macho.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Descripción general del área de estudio

Este estudio fue realizado en la Comarca Lagunera en el estado de Coahuila, (latitud 26° 23'N; longitud 104° 47'W). En esta región, el fotoperíodo varía de 13 h 41 min de luz en el solsticio de verano a 10 h 19 min de luz en el solsticio de invierno, y las temperaturas medias, máximas y mínimas anuales varían de 37°C entre mayo y agosto a 6°C entre diciembre y enero respectivamente (Duarte *et al.*, 2008). Esta región se caracteriza por un clima seco con una precipitación media anual de 266 mm (rango: 163 a 504 mm), la época de lluvias generalmente se produce entre junio y septiembre.

6.2 Descripción de los animales de estudio

6.2.1 Manejo de las hembras

Para este estudio se utilizaron 40 cabras nacidas el 30 de marzo (± 3 días; EEM). Las hembras permanecieron en un corral sombreado donde eran amamantadas por sus madres, y se destetaron al cumplir dos meses de edad. Estas hembras se separaron en 4 grupos con base a su peso corporal (Tabla 1). A partir de ahí, todas las hembras salían a pastar la flora nativa de la región (arbustos (*Prosopis glandulosa*, *Acacia farneciana*, *Atriplex acantocarpa*, *agave scabra*, *Mimosa biuncifera*), plantas herbáceas (*Heliantus ciliaris*, *Salsola Kali*, *Solanum elaeagnilolium*) y gramíneas (*sorgo halepense*, *Chloris virgata*, *Setaria verticillata*, *Eragrostis pectinacea*, *Bouteloua curtispendula*, *Bouteloua barbata* y *Aristida purpurea*), zacates y algunos matorrales (Dearte *et al.*, 2008), junto con el resto de las cabras adultas de 10:00 a 18:00 horas. Los machos permanecieron separados del rebaño. Después del pastoreo, las hembras regresaban diariamente a un corral abierto sombreado, separadas de las cabras adultas. A partir del 1 de diciembre, cuando las cabras tenían 8 meses de edad, los cuatro grupos se separaron, dos grupos no recibían ninguna complementación alimenticia (n=8; n=10), mientras que los otros dos grupos se complementaron diariamente con 600 g de concentrado (n=11 c/u; 1.7 Mcal/kg,

14% PC por kg de MS). La complementación alimenticia se ofreció individualmente antes (50%) y después (50%) del pastoreo. El 4 de abril, un grupo de hembras no complementadas (n=10) y otro grupo de hembras complementadas (n=11) se estabularon en otros corrales donde fueron puestas en contacto con un macho sexualmente activo (ver sección 6.2.2). El grupo no complementado se alimentó únicamente con heno de alfalfa (2.3 Mcal/kg, 17% PC por kg de MS), mientras que el grupo complementado se alimentó de heno de alfalfa y concentrado para mantener su peso corporal (cabras no complementadas: 20 ± 1 kg; NRC, 2007).

6.2.2 Manejo y tratamiento de los machos

Cuatro machos cabríos locales de la Comarca Lagunera se alojaron en un corral con sombra de 10 X 5 m. Estos machos se sometieron a un tratamiento fotoperiódico; este tratamiento consiste en la exposición a días largos artificiales (16 h luz/8 h oscuridad) a partir del 1 de noviembre hasta el 15 de enero, seguido de las variaciones naturales del fotoperíodo. A partir del 16 de enero se expusieron a las variaciones naturales del fotoperíodo. Este tratamiento estimula la secreción de testosterona y el comportamiento sexual de los machos durante los meses de marzo y abril (Delgadillo *et al.*, 2002). Los machos se alimentaron con 2 kg/día/animal de heno de alfalfa (17% de PC), y 200 g/día/animal de concentrado (14% de PC). Además, se les proporcionó sales minerales en block y agua a libre acceso.

6.3 Efecto macho

El 4 de abril, las hembras de un grupo no complementado (n=10) y las de un grupo complementado (n=11) se alojaron en diferentes corrales abiertos separados por al menos 100 m para evitar la interferencia entre grupos. El 7 de abril, para reducir los ciclos ovulatorios cortos (Andrade-Esparza *et al.*, 2018; Gonzalez-Bulnes *et al.*, 2006) a cada hembra se le administró im una dosis de 25 mg de progesterona (Facilgest 25 mg / mL; Syva laboratories) en la tabla derecha del cuello 48 h antes de ponerse en contacto con los machos. El 9 de abril (día 0), las hembras de ambos grupos se pusieron en contacto con los

machos fotoestimulados durante siete días consecutivos (n=1 por grupo). Los machos se intercambiaron diariamente entre los grupos a las 09:00 horas. Al terminar el efecto macho, las hembras de ambos grupos regresaron al sistema semiextensivo, y no recibieron complementación alimenticia.

6.3.1 Mediciones

En todas las hembras, el peso corporal se determinó al nacer (marzo). En cabras no complementadas y complementadas expuestas a machos, el peso corporal se determinó una vez al mes, de diciembre a abril, mientras que, en ambos grupos no expuestos a machos, también se determinó una vez al mes, de diciembre a septiembre (Figura 1). En los cuatro grupos, las ovulaciones se determinaron semanalmente mediante la medición de las concentraciones de progesterona en el plasma desde septiembre cuando las hembras tenían 6 meses de edad, hasta abril en cabras expuestas a machos, y hasta septiembre en aquellas no expuestas a machos. Además, la respuesta ovulatoria de las hembras expuestas a los machos se determinó 15 días después de la introducción de los machos en cada grupo de hembras. Las muestras de sangre se tomaron de la vena yugular una vez a la semana en tubos de 5 ml que contenían 30 μ l de heparina y se centrifugaron a 3000 \times g durante 30 minutos a una temperatura de 5° C. El plasma obtenido se almacenó a -20 °C hasta que las concentraciones de progesterona se determinaron mediante el ensayo inmunoenzimático descrito por Canépa *et al.* (2008). La sensibilidad del ensayo fue de 0.25 ng/ml. Los coeficientes de variación intraensayos e interensayos fueron de 7 y 11%, respectivamente. Se consideró que las hembras con concentraciones de progesterona mayores de 1.0 ng/ml habían ovulado (Chemineau *et al.*, 2006). El inicio de la pubertad se consideró cuando las concentraciones plasmáticas de progesterona fueron superiores a 1 ng/ml. Además, las ovulaciones se evaluaron una vez a la semana por la presencia de cuerpos lúteos observados mediante ecografía transrectal utilizando un equipo Aloka SSD-500 conectada a una sonda transrectal lineal de 7.5 MHz (Simões *et al.*, 2007). Las tasas de gestación (hembras gestantes/hembras expuestas a los machos) se determinaron mediante ecografía abdominal 30 días después de la

exposición a los machos utilizando la misma máquina conectada a una sonda de 3.5 MHz. Finalmente, se determinaron las proporciones de las hembras que alcanzaron la pubertad y que parieron.

6.4 Análisis estadístico

El peso corporal al nacer y al inicio de la pubertad, y la edad a la pubertad se analizaron mediante un ANOVA de una vía (grupo). La prueba de Tukey se utilizó para comparaciones post hoc. Los datos del peso corporal de diciembre a abril se analizaron mediante un ANOVA de 3 vías con medidas repetidas (tiempo como factor interno, y complementación alimenticia y presencia de machos entre factores). Luego, los datos del peso corporal de abril a septiembre se analizaron mediante un ANOVA de dos vías con medidas repetidas (tiempo como factor interno y la complementación alimenticia entre el factor). Luego, los datos del peso corporal de abril a septiembre se analizaron mediante un ANOVA de dos vías con medidas repetidas (tiempo como factor interno y complementación alimenticia entre el factor). En ambos casos, la prueba de Tukey se usó para comparaciones post hoc. Las proporciones de cabras que iniciaron la pubertad, que quedaron gestantes y parieron se analizaron mediante la prueba de Chi-cuadrada. Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SYSTAT 13. Los resultados se expresan como media \pm EEM y se consideraron significativos cuando $P < 0.05$.

VII. RESULTADOS

El peso corporal de las hembras al nacer no fue diferente entre los grupos ($P > 0.05$; Tabla 1). En contraste, hubo un efecto del tiempo ($P < 0.001$), y un efecto de la complementación alimenticia ($P < 0.001$) sobre el peso corporal de diciembre a abril, pero no hubo efecto de los machos ($P > 0.05$). Además, hubo una interacción entre el tiempo y la complementación alimenticia ($P < 0.001$), y entre el tiempo y la presencia de los machos ($P < 0.01$). Finalmente, hubo una interacción entre los tres factores (tiempo, complementación alimenticia y presencia de los machos; $P < 0.001$). El peso corporal difirió entre los grupos no complementados y complementados ($P < 0.001$), pero no hubo diferencias al comparar los grupos no complementados o complementados ($P > 0.05$). En marzo y abril, el peso corporal fue menor en los grupos no complementados que en los complementados ($P < 0.001$; Figura 1). De manera similar, de abril a septiembre, hubo un efecto del tiempo ($P < 0.001$) y una interacción entre el tiempo y la complementación alimenticia ($P < 0.001$) entre los grupos no complementados y complementados no expuestos a los machos ($P < 0.001$). El peso corporal fue menor en el grupo no complementado que en el grupo complementado ($P < 0.001$; Figura 1). El peso corporal a la pubertad varió entre los grupos ($P < 0.001$), y fue menor en las hembras no complementadas que en las que si recibieron complementación ($P < 0.001$).

9.1 Inicio de la pubertad y respuesta reproductiva de las hembras expuestas al efecto macho.

Ninguna de las hembras inició la pubertad en su primera estación sexual. Posteriormente, en las proporciones totales de las cabras que iniciaron la pubertad en abril o septiembre no difirieron entre los grupos ($P > 0.05$). No obstante, la edad a la pubertad difirió entre los grupos ($P < 0.001$), e inició antes en las cabras expuestas a los machos (abril) que en las cabras no expuestas a ellos (septiembre; $P < 0.001$; Tabla 1). En cambio, la edad a la pubertad no difirió entre los dos grupos expuestos al macho, ni entre los no expuestos a ellos ($P > 0.05$). Las proporciones de las cabras preñadas expuestas al macho

en abril no difirieron entre los grupos ($P > 0.05$), pero el número de hembras que parieron fue mayor en las complementadas que en las no complementadas ($P < 0.05$; Tabla 1).

Tabla 1. Peso corporal al nacimiento y al inicio de la pubertad (media \pm EEM), y proporción de cabras gestantes y paridas mantenidas en condiciones de pastoreo semiextensivo y expuestas a machos sexualmente activos. Las cabras se destetaron a los dos meses de edad. Desde entonces, pastorearon la vegetación nativa de 10:00 a 18:00 h. De diciembre a septiembre, dos grupos de cabras no recibieron complementación alimenticia, mientras que otros dos grupos recibieron 600 g de concentrado (14% PC/1.7Mcal E/M/kg de MS) antes (50%) y después (50%) del pastoreo. En abril, las cabras de un grupo no complementado y uno complementado se expusieron a machos sexualmente activos. Cada hembra de estos grupos fue tratada con 25 mg de progesterona por vía im 48 h antes de la introducción de los machos para prevenir los ciclos ovulatorios cortos

Grupo	n	Peso al nacimiento (kg)	Edad a la pubertad (Días)	Peso a la pubertad (kg)	Cabras púberes (%)	Cabras gestantes (%)	Partos (%)
Pastoreo, sin macho	8	2.7 \pm 0.1 ^a	551 \pm 4 ^a	28 \pm 1 ^a	8/8 (100) ^a	NA	NA
Pastoreo, expuesto a macho	10	3.0 \pm 0.1 ^a	377 \pm 4 ^b	20 \pm 1 ^a	7/10 (70) ^b	7/10 (70) ^a	2/10 (20) ^a
Pastoreo, suppl. sin macho.	11	2.9 \pm 0.1 ^a	549 \pm 4 ^a	39 \pm 1 ^c	11/11 (100) ^a	NA	NA
Pastoreo, suppl. expuesto a macho	11	2.9 \pm 0.1 ^a	376 \pm 2 ^b	26 \pm 1 ^b	11/11 (100) ^a	8/11 (73) ^a	7/11 (64) ^b

^{a,b} Letras diferentes entre columnas indican una diferencia significativa (P < 0.05).

Compl.: cabras que recibieron complementación alimenticia

NA: No aplica

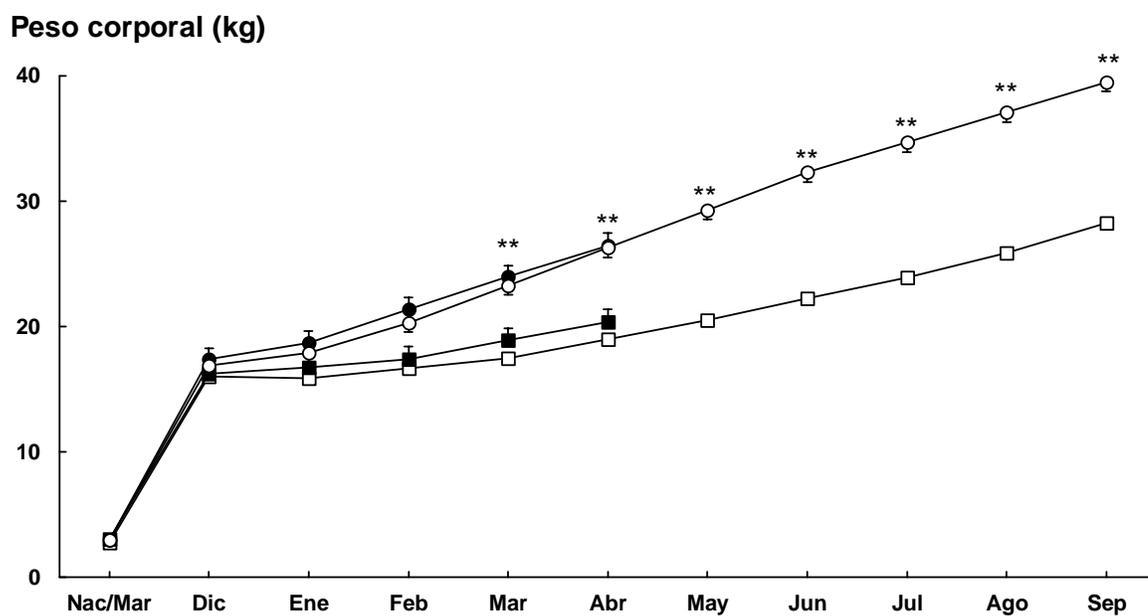


FIGURA 1. Variaciones del peso corporal (media \pm EEM) de las cabras mantenidas en pastoreo semiextensivo. Cabras en pastoreo no expuestas (□) o expuestas (■) al macho. Cabras en pastoreo que recibieron complementación alimenticia no expuestas (○) o expuestas (●) al macho.

** Los asteriscos indican una diferencia significativa ($P < 0.01$).

VIII. DISCUSIÓN

Estos resultados demuestran que en las cabras no complementadas y complementadas, la pubertad puede adelantarse mediante la exposición a machos sexualmente activos, y comenzó antes en las cabras expuestas al macho (abril), que en aquellas no expuestas (septiembre), independientemente si recibieron o no una complementación alimenticia. Curiosamente, la mayoría de las cabras expuestas a los machos alcanzaron la pubertad en abril, pero la proporción de hembras que quedaron gestantes no fue diferente entre las complementadas y las no complementadas. Sin embargo, la proporción de hembras gestantes que parieron fue mayor en el grupo de hembras complementadas. En conjunto, estos resultados confirman nuestra hipótesis de que en las cabras mantenidas en condiciones de manejo semiextensivo, el efecto macho adelanta la pubertad, y que la complementación alimenticia aumenta el número de cabras que paren.

En el presente estudio, las cabras nacidas en marzo no alcanzaron la pubertad en la primera temporada de reproducción. Existen reportes de que en las cabras y ovejas nacidas en primavera, el adecuado desarrollo del peso corporal o la presencia de machos fotoestimulados son cruciales para alcanzar la pubertad en su primera temporada de reproducción (Dyrmundsson y Lees, 1972; Chasles *et al.*, 2018; Rosales-Nieto *et al.*, 2014). Por lo tanto, es probable que, en nuestro estudio, el hecho de no alcanzar la pubertad se debiera al bajo peso corporal alcanzado (menos de 20 kg de peso vivo) al final de la temporada de reproducción y a la ausencia de macho. Curiosamente, en las cabras no complementadas y complementadas expuestas al macho, la pubertad ocurrió en abril a pesar del menor peso corporal alcanzado por las hembras no complementadas. En contraste, en las cabras no expuestas al macho, la pubertad ocurrió en septiembre a pesar del mayor peso corporal alcanzado por las cabras complementadas. Por lo tanto, nuestros resultados indican claramente que la introducción del macho sexualmente activo en ambos grupos de hembras provocó el inicio de la pubertad. Estos resultados son consistentes

con aquellos que describen que la pubertad ocurrió antes en ovejas expuestas a machos que en aquellas no expuestas (Kenyon *et al.*, 2012). Además, en cabras y ovejas, la presencia permanente de machos sexualmente activos inducidos de forma natural o inducida desencadena la pubertad en comparación con las hembras en contacto con los machos o carneros que presentan un comportamiento sexual bajo durante la temporada no reproductiva (Abecia *et al.*, 2016; Chasles *et al.*, 2018, 2019; Zarazaga *et al.*, 2019). Por lo tanto, nuestros resultados y los descritos en la literatura sugieren fuertemente que el efecto macho es una herramienta interesante para adelantar la pubertad en cabras y ovejas, y que los machos que muestran un comportamiento sexual intenso son más eficientes para desencadenar la pubertad que aquellos que muestran un comportamiento sexual débil (Abecia *et al.*, 2016; Chasles *et al.*, 2018; Zarazaga *et al.* 2019). En el presente estudio, no determinamos las concentraciones plasmáticas de LH, pero es probable que la introducción de machos sexualmente activos estimulara la actividad neuroendocrina del eje hipotalámico-hipofisario que permite que se produzcan las ovulaciones. Esta hipótesis está respaldada por el hecho de que en cabras prepúberes en presencia permanente de machos intactos, la frecuencia de LH aumentó en septiembre, cuando los machos mejoran su comportamiento sexual desencadenando la pubertad (Chasles *et al.*, 2018), probablemente por una reducción drástica de la retroalimentación negativa del estradiol sobre la secreción de LH (Muñoz *et al.*, 2017). En general, nuestros resultados indican claramente que en cabras mantenidas en condiciones de manejo semiextensivo, la introducción de machos sexualmente activos induce la pubertad en hembras que recibieron o no una complementación alimenticia. En abril, cuando fueron expuestas a los machos, el peso corporal de las cabras no complementadas fue significativamente menor que las complementadas. Sin embargo, la mayoría de las cabras ovularon después de la introducción de machos y quedaron preñadas. Curiosamente, la proporción de cabras que parieron fue mayor en hembras complementadas que en hembras no complementadas. Estos resultados indican que las cabras no complementadas

respondieron a la presencia de machos sexualmente activos como se describe en hembras multíparas mantenidas en condiciones de manejo extensivo (Andrade-Esparza *et al.*, 2018; De Santiago-Miramontes *et al.*, 2008; Fitz-Rodríguez *et al.*, 2009). Además, indican que los machos sexualmente activos pudieron fertilizar a la mayoría de las cabras, pero que se requirió una complementación alimenticia para obtener un mayor número de partos, como ya se reportó en cabras multíparas que también se encuentran en condiciones de pastoreo extensivo (Fitz-Rodríguez *et al.*, 2009). Nuestros hallazgos son consistentes con aquellos que describen que las proporciones de hembras que quedaron gestantes y que parieron son menores en las no complementadas que en las complementadas, probablemente porque la desnutrición aumenta la mortalidad embrionaria (Abecia *et al.*, 2006; Mani *et al.*, 1992; Fitz-Rodríguez *et al.*, 2009). Por lo tanto, parece que, en nuestras condiciones experimentales, los 600 g de concentrado ofrecidos a las hembras fueron suficientes para reducir la mortalidad embrionaria, lo que permitió que una mayor proporción de cabras tuvieran crías.

En cabras complementadas y no complementadas no expuestas a machos, la pubertad ocurrió en septiembre de su segunda temporada de reproducción. Estas hembras no pudieron alcanzar la pubertad a pesar del aumento en el peso corporal registrado durante la temporada no reproductiva. Este fracaso podría deberse a la fuerte retroalimentación negativa del estradiol sobre la secreción de LH, lo que evita que se produzca la ovulación durante el anestro estacional. Por lo tanto, estas hembras ovularon en septiembre cuando la retroalimentación negativa del estradiol disminuye durante la temporada reproductiva. De hecho, en razas estacionales de cabras y ovejas, la retroalimentación negativa del estradiol sobre la secreción de LH evita que la ovulación ocurra también durante la temporada no reproductiva (Foster y Hileman, 2015; Ebling, 2010; Muñoz *et al.*, 2017). Por lo tanto, estos datos sugieren que, en nuestras cabras, el desarrollo del peso corporal y el fotoperíodo determinan el inicio de la pubertad.

IX. CONCLUSIÓN

Se concluye que, en hembras caprinas mantenidas en condiciones de manejo semiextensivo, el efecto macho induce la pubertad, y que la complementación alimenticia aumenta la fertilidad al parto de las hembras expuestas al efecto macho.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abecia J. A., Sosa C., Forcada F. y Meikle A., 2006. The effect of undernutrition on the establishment of pregnancy in the ewe. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 367-378.
- Abecia J. A., Chemineau P., Gómez A., Keller M., Forcada F. y Delgadillo J. A., 2016. Presence of photoperiod-melatonin-induced, sexually-activated rams in spring advances puberty in autumn-born ewe lambs. *Animal Reproduction Science*, 170, 114-120.
- Amoah E. A. y Bryant M. J. 1984. A note on the effect of contact with male goats on occurrence of puberty in female goat kids. *Animal Production*, 38, 141-144.
- Andrade-Esparza J. D., Espinoza-Flores L. A., Hernández H., Chemineau P., Keller M., y Delgadillo J. A., 2018. Extensive management conditions do not modify the frequency of short ovulatory cycles in progesterone-treated does exposed to sexually active males. *Animal Reproduction Science*, 1999, 40-44.
- Bronson F. H., 1985. Mammalian Reproduction: An Ecological Perspective. *Biology of Reproduction*, 32, 1-26.
- Canépa, S., Lainé, A. L., Bluteau, A., Fagu, C., Flon, C., y Monniaux, D. 2008. Validation d'une méthode immunoenzymatique pour le dosage de la progestéronne dans le plasma des ovins et des bovins. *Cahier Techniques de l'INRA*, 64, 219-30.
- Chasles M., Chesneau D., Moussu C., Poissenot K., Beltramo M., Delgadillo J. A., Chemineau P., y Keller M., 2018. Sexually active bucks are a critical social cue that activates the gonadotrope axis and early puberty onset in does. *Hormones and Behavior*, 106, 81-92.
- Chasles M., Chesneau D., Moussu C., Abecia J. A., Delgadillo J. A., Chemineau P. y Keller M., 2019. Highly precocious activation of reproductive function in autumn-born goats (*Capra hircus*) by exposure to sexually active bucks. *Domestic Animal Endocrinology*, 68, 100-105.
- Chemineau P., Pelletier J., Guérin Y., Colas G., Ravault J. P., Touéré G., Almeida G., Thimonier J. y Ortavant R., 1988. Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction Nutrition Development*, 28, 409-422.
- Chemineau P. 1993. Reproducción de las cabras originarias de las zonas tropicales. *Revista Latinoamericana de Pequeños Rumiantes* 1, 2-14.
- Chemineau P., Pellicer-Rubio M. T., Lassoued N., Khaldi G. y Monniaux D., 2006. Male-induced short oestrus and ovarian cycles in sheep and goats: a working hypothesis. *Reproduction Nutrition Development*, 46, 417-429.

- De Santiago-Miramontes M. A., Rivas-Muñoz R., Muñoz-Gutiérrez M., Malpoux B., Scaramuzzi R. J. y Delgadillo J. A., 2008. The ovulation rate in anoestrous female goats managed under grazing conditions and exposed to the male effect is increased by nutritional supplementation. *Animal Reproduction Science*, 105, 409-416.
- Delgadillo J. A., De Santiago-Miramontes M. A. y Carrillo E., 2007. Season of birth modifies puberty in female and male goats raised under subtropical conditions. *Animal*, 1:6, 858-864.
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Véliz, F. G., Hernández, H. F., Duarte, G., Vielma, J. y Malpoux, B. 2002. Induction of sexual activity in lactating anovulatory female goats using male goats treated only with artificially long days. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2780-2786.
- Delgadillo J. A. y Martin G. B., 2015. Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Animal Frontiers*, 5, 57-65.
- Duarte, G., Flores, J. A., Malpoux, B. y Delgadillo, J. A. 2008. Reproductive seasonality in female goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability. *Domestic Animal Endocrinology*, 35(4), 362-370.
- Duarte G., Nava-Hernández M. P., Malpoux B., Delgadillo J. A., 2010. Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Animal Reproduction Science*, 120, 65-70.
- Đuričić D., Vince S., Valpotić H., Žura Žaja I., Turk R., Lojkić M., Getz I. y Berta V., Samardžija M., 2016. The onset of puberty in Cameroon Dwarf goats kept as pets in northwestern Croatia. *Reproduction in Domestic Animals*, 52(2):278-282.
- Dýrmundsson Ó. R. y Lees J. L., 1972. Attainment of puberty and reproductive performance in Clun Forest ewe lambs. *Journal Agricultural Science Cambridge*, 78, 39-45.
- Ebling Francis J. P., 2010. Photoperiodic regulation of puberty in seasonal species. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 324, 95-101.
- Foster D.L., 1994. Puberty in the sheep. In: Knobil, E., Neil, J.D. (Eds.), *The Physiology of Reproduction*. Raven Press, Ltd., New York, p.411–447.
- Gonzalez-Bulnes A., Carrizosa J. A., Urrutia B. y Lopez-Sebastian A., 2006. Oestrus behavior and development of preovulatory follicles in goats induced to ovulate using the male effect with and without progesterone priming. *Reproduction Fertility and Development*, 18, 745-750.

- Greyling P. C. y Van Niekerk CH 1990. Puberty and induction of puberty in female Boer goat kids. *South African Journal of Animal Science*, 20, 193-200.
- Karsch F. J., Legan S. J., Ryan K. D. y Foster D. L., 1980. Importance of estradiol and progesterone in regulating LH secretion and estrous behavior during the sheep estrous cycle. *Biology of Reproduction*, 23, 404-413.
- Karsch F. J., Bittman E. L., Foster D. L., Goodman R. L., Legan S. J. y Robinson J. E., 1984. Neuroendocrine Basis of Seasonal Reproduction. *Recent Program Hormonal Research*, 40, 185-232.
- Kenyon P. R., Viñoles C. y Morris S. T., 2012. Effect of teasing by the ram on the onset of puberty in Romney ewe lambs. *Nueva Zelanda Journal Agricultural Research*, 55, 283-291
- Malpaux B., Viguié C., Skinner D. C., Thiéry J. C., Pelletier J. y Chemineau P., 1996. Seasonal breeding in sheep: Mechanism of action of melatonin. *Animal Reproduction Science*, 42, 109-117.
- Malpaux B., Daveau A., Maurice-Mandon F., Duarte G. y Chemineau P., 1998. Evidence that melatonin acts in the pre-mammillary hypothalamic area to control reproduction in the ewe: Presence of binding sites and stimulation of luteinizing hormone secretion by in situ microimplant delivery. *Endocrinology*, 139, 1508-1516.
- Mani A. U., Mckelvey W. A. C. y Watson E. D., 1992. The effects of low level of feeding on response to synchronization of estrus, ovulation rate and embryo loss in goats. *Theriogenology*, 68, 1081-1087.
- Muñoz A. L., Chesneau D., Hernández H., Bedos M., Duarte G., Vielma J., Zarazaga L. A., Chemineau P., Keller M. y Delgadillo J. A., 2017. Sexually active bucks counterbalance the seasonal negative feedback of estradiol on LH in ovariectomized goats. *Domestic Animal Endocrinology*, 60, 42-49.
- Ortavant R., Pelletier J., Ravault J. P., Thimonier J. y Volland-Nail P., 1985. Photoperiod: main proximal and distal factor of the circannual cycle of reproduction in farm animals. In: *Oxford Reviews of Reproductive Biology*, Clarendon Press, Oxford, 7, 305-345.
- Ramírez R. G., Loya A., Mora R., Sanchez E. M. y Chaire A., 1991. Forage intake and nutrition of range goats in a shrubland in northeastern Mexico. *Journal of Animal Science*, 69, 879-885.
- Rosales-Nieto C. A., Thompson A. N., Macleay C. A., Briegel J. R., Hedger M. P., Ferguson M. B. y Martin G. B., 2014. Relationships among body composition, circulating concentrations of leptin and follistatin, and the

onset of puberty and fertility on young female sheep. *Animal Reproduction Science*, 151, 148-156.

Rosales Nieto C. A., Thompson A. N. y Martin G. B., 2018. A new perspective on managing the onset of puberty and early reproductive performance in ewe lambs: A review *Animal Production Science*, 58(11), 1967-1975.

Sáenz-Escárcega P., Hoyos F. G., Salinas G. H., Espinoza A. J., Guerrero B. A., y Contreras G. E., 1991. Establecimiento de módulos caprinos con productores cooperantes. En Evaluación de Módulos Caprinos en la Comarca Lagunera (ed. S. Flores), 24-34. Matamoros, Coahuila, México.

Sakurai K., Ohkura S., Matsuyama S., Katoh K., Obara Y. y Okamura H., 2004. Body growth and plasma concentrations of metabolites and metabolic hormones during the pubertal period in the female Shiba goats. *Journal of Reproduction and Development*, 50, 197-205.

Simões J., Almeida, J. C., Baril G., Azevedo J., Fontes P. y Mascarenhas R., 2007. Assessment of luteal function by ultrasonographic appearance and measurement of corpora lutea in goats. *Animal Reproduction Science*, 97, 36-46.

Valasi I., Chadio S., Fthenakis G. C. y Amiridis G. S., 2012. Management of pre-pubertal small ruminants: Physiological basis and clinical approach. *Animal Reproduction Science*, 130, 126-134.

Zarazaga L. A., Gatica M. C., Hernández H., Keller. M., Chemineau P., Delgadillo J. A. y Guzmán J. L., 2019. The reproductive response to male effect of 7-or-10-month-old female goat is improved when photostimulated males are used. *Animal*, 1-8.