

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



LA APLICACIÓN DE MELATONINA Y EL SECADO ESTIMULAN LA
LACTANCIA SUBSECUENTE EN CABRAS EN PASTOREO

Tesis

Que presenta RICARDO AVILÉS RUIZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



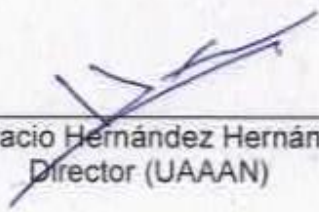
LA APLICACIÓN DE MELATONINA Y EL SECADO ESTIMULAN LA
LACTANCIA SUBSECUENTE EN CABRAS EN PASTOREO

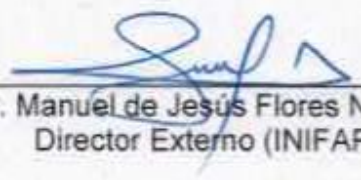
Tesis

Que presenta RICARDO AVILÉS RUIZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS


Dr. Horacio Hernández Hernández
Director (UAAAN)


Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Director Externo (INIFAP)


Torreón, Coahuila

Diciembre 2019


LA APLICACIÓN DE MELATONINA Y EL SECADO ESTIMULAN LA
LACTANCIA SUBSECUENTE EN CABRAS EN PASTOREO

Tesis


Elaborada por RICARDO AVILÉS RUIZ como requisito parcial para obtener el
grado de Doctor en Ciencias Agrarias con la supervisión y aprobación del
Comité de Asesoría



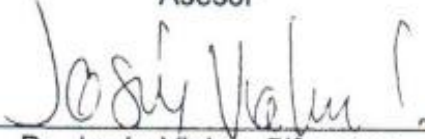
Dr. Horacio Hernández Hernández
Asesor Principal




Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez
Asesor




Dr. José Alfredo Flores Cabrera
Asesor




Dr. Jesús Vielma Sifuentes
Asesor



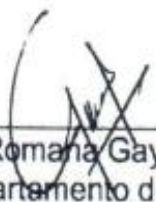
Dr. Gerardo Duarte Moreno
Asesor




Dra. Ilda Graciela Fernández García
Asesor



Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por permitirme realizar mis estudios de Posgrado en Ciencias Agrarias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por proporcionarme una beca para la realización y obtención del grado de doctorado.

Al Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), por formarme para ser un Doctor en Ciencias Agrarias en la línea de reproducción animal.

A los doctores del CIRCA: Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, Dr. José Alfredo Flores Cabrera, Dr. Gerardo Duarte Moreno, Dr. Jesús Vielma Sifuentes, Dra. Ilda Graciela Fernández García y al Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera del INIFAP por compartir sus enseñanzas, vivencias y experiencias.

Agradezco sobre todo de forma especial al Dr. Horacio Hernández Hernández, por compartir su conocimiento durante el periodo del experimento y posteriormente durante el trabajado de investigación, ¡UN GRAN MAESTRO, PERO SOBRETUDO SER HUMANO, AMIGO Y ASESOR!, a quien aprecio y admiro por muchas virtudes, sobretodo la confianza que deposita en cada asesorado. De todo corazón deseo lo mejor para usted y su hermosa familia.

A Alexis (buen hermano), Erika Grimaldo Viesca, Pablito Sifuentes Lamónt, Andrés Sánchez Hernández, Erick Ramón Guzmán Landeros, Edwin Mendieta, Teodulo Quirino, Luis Sifuentes Melendez y Alejandro Salgado. Por su apoyo durante el periodo de realización del experimento. También al Maestro Jesús Abasta y Gumaro Treviño por ayudarme cada semana en el cuidado y alimentación de las chivas que utilice en el experimento; así como en las tomas de las muestras, para realizar y finalizar exitosamente esta investigación.

Dedicatorias

A Dios

Por darme la oportunidad de llegar a este momento, la fortaleza y salud para poder concluir satisfactoriamente una meta más en mi vida.

A mi esposa e hijas:

Carmen Medel Gallardo por ser la mujer más comprensiva y linda del mundo, pero sobre todo por darme la dicha de ser papá de Grétel Madaí Avilés Medel y Cristel Aurora Avilés Medel.

Mis padres y suegros:

Bernardo Avilés y Teresa Ruiz por su gran apoyo para continuar mis proyectos lejos de mi hogar, pero sobre todo por formarme con los valores para ser un humano honesto, sencillo y recto; sobre todo a ti mamá, por acompañarme en este reto. Jorge Medel Hernández y María Eleazar Gallardo González.

A mis hermanos y cuñados:

Jorge, Guadalupe, Estela, Fabiola; Delia, Mariela; Diego y Jazmín por estar pendientes a pesar de los años y apoyarme en esta aventura con sus buenos deseos. Gerardo, Tomás, Ramón, Rubí, Martha, Rodrigo, Juan, Bernabé†, Jérica y Arturo.

A mis sobrinos y tíos:

Rodrigo, Emanuel, Itzel, Ramón, Erik, Fabiola, Carlos, Jacobo, Diego, Alán, Cintia, Noel, Bernardo, Alexander, Julieta, Paola, Frida, Aranza, Jonatán, Yael, Tomás, Tadeo y Mateo. ¡LOS QUIERO MUCHO!

Juana, Silvia, Rosy, Martín y Miguel. Gracias por querer tanto a mi familia, ustedes de corazón siempre nos acompañaron con sus llamadas de aliento y ánimo hacia mi familia.

Carta de aceptación de artículos

Decision Letter (JDS.2019-16836.R2)

From: lhernandez@wisc.edu

To: hernandezhoracio@outlook.com, horaciohernandezhernandez@yahoo.com.mx, ricardo7900aviles@hotmail.com, joaldesa@yahoo.com, flores_cabrera@hotmail.com, damor_g@hotmail.com, jesus_vielm@hotmail.com, mlflores_najera@hotmail.com, kiro.petrovski@adelaide.edu.au, k.r.petrovski@gmail.com, zarazaga@uhu.es

CC:

Subject: Journal of Dairy Science - Decision on Manuscript ID JDS.2019-16836.R2

Body: 21-Aug-2019

Dear Dr. Hernández:

Manuscript ID: JDS.2019-16836.R2

Title: Melatonin administration during the dry period stimulates subsequent milk yield and weight gain of the offspring in subtropical does kidding in summer

I am pleased to inform you that your manuscript has been accepted for publication in the Journal of Dairy Science. You should anticipate receiving a PDF proof of your final manuscript within approximately 4 weeks.

Note that we are now collecting copyright release forms electronically. Please log in to our peer-review system <https://mc.manuscriptcentral.com/jds> and complete the form as soon as possible. Your manuscript cannot be published until all authors submit their completed forms.

After you log in, enter your Author Center and click the Copyright Form link under Action to complete this process. Typing your name in the blank box signs the form.

We understand that you might have submitted paper copyright forms, but to facilitate the transition to electronic forms, we ask that you complete them in the peer-review system.

The Journal of Dairy Science has added ORCID IDs (www.orcid.org) to the publications process. Our records show the following authors and ORCID IDs for this manuscript.

Avilés, Ricardo - No ORCID ID Available, Delgadillo, José - No ORCID ID Available, Flores, José - No ORCID ID Available, Duarte, Gerardo - No ORCID ID Available, Vielma, Jesús - No ORCID ID Available, Flores, Manuel - No ORCID ID Available, Petrovski, Kiro - No ORCID ID Available, Zarazaga, Luis A. - No ORCID ID Available, Hernández, Horacio - <https://orcid.org/0000-0002-0569-8888>

If your account does not show an ORCID ID, we request that you add one at your earliest convenience by logging in and editing your account (<https://mc.manuscriptcentral.com/jds>).

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. You will receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after your paper is in press.

On behalf of the editors of the Journal of Dairy Science, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,

Dr. Laura Hernandez
Section Editor, Journal of Dairy Science

Date Sent: 21-Aug-2019

Responder ▼ Eliminar No deseado Bloquear ...

RV: RV: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Para: Esther Peña Revuelta <estherpr2006@hotmail.com>, RICARDO AVILES <ricardo7900aviles@hotmail.com>
Asunto: RV: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

De: Dr. Enrique Márquez Ríos <biotecnia@ciencias.uson.mx>

Enviado: sábado, 30 de noviembre de 2019 02:12 p. m.

Para: hernandezhoracio@hotmail.com

Asunto: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Dr Horacio ANTONIO Hernández:

Gracias por enviar el manuscrito, "Practicar el periodo seco en cabras bajo condiciones de pastoreo, incrementa la producción láctea durante la lactancia subsecuente y por ello la cantidad de sus componentes" a Biotecnia. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/author/submission/1168>

Nombre de usuario/a: hernandezhoracio66

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para

Índice General

Agradecimientos	iv
Dedicatoria.....	v
Carta de aceptación de artículos	vi
Índice General.....	viii
Lista de Figuras	x
Resumen	xi
Abstract.....	¡Error! Marcador no definido. ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Lactancia.....	4
2.1.1 Rutas de secreción de componentes de la leche.....	5
2.2 Lactogénesis.....	6
2.3 Galactopóyesis.....	9
2.3.1 Control fisiológico hormonal de la galactopóyesis.....	10
2.4 Tecnologías utilizadas en la manipulación de lactancia.....	12
2.4.1 Hormonales.....	12
2.4.2 Tiempo de secado.....	13
2.4.3 Frecuencia de ordeño.....	15
2.4.4 Nutrición.....	15
2.4.4.1 Uso de grasa de sobrepaso (ácidos grasos de jabones cálcicos)...	16
2.4.5 Fotoperiodo.....	17
2.4.5.1 Aplicación de fotoperiodo de días largos artificiales para la estimulación de producción de leche.....	18
2.4.5.2 Mecanismos fisiológicos que ejerce la aplicación del fotoperiodo de días largos.....	19
2.4.5.3 Aplicación del fotoperiodo de días cortos artificiales durante el periodo seco.....	19
2.4.5.4 Mecanismos fisiológicos que ejerce el fotoperiodo de días cortos durante el periodo seco sobre la lactancia subsecuente.....	20

3.	REFERENCIAS.....	22
4.	ARTÍCULOS	27
4.1	Artículo 1.....	28
4.2	Artículo 2.....	36
5.	DISCUSIÓN GENERAL.....	56
6.	CONCLUSIÓN GENERAL.....	59

Lista de Figuras

No. de figura	Título	Pág.
Figura 1.	Rutas de secreción contenidos de la leche: I Exocitótica, II Secreción de lípidos. III Transcitótica. IV Transporte de membrana y V Paracelular.	6
Figura 2.	Niveles hormonales en la oveja durante la gestación tardía y la lactancia temprana.	9

LA APLICACIÓN DE MELATONINA Y EL SECADO ESTIMULAN LA LACTANCIA SUBSECUENTE EN CABRAS EN PASTOREO.

Ricardo Avilés Ruiz
Doctor en Ciencias Agrarias
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
Dr. Horacio Hernández Hernández.

Resumen

En un primer estudio, se probó la hipótesis de que en cabras que paren en verano, la aplicación de melatonina durante el período seco estimula la lactancia subsecuente. Un grupo de cabras en su periodo seco percibieron días largos naturales (control; CONT; n = 15) y otro grupo cada cabra recibió dos implantes subcutáneos de melatonina (18 mg de melatonina; MEL; n = 10). En el segundo experimento el objetivo fue determinar si el practicar el periodo seco en cabras en pastoreo incrementa la producción láctea. En las cabras sin periodo seco (SPS; n = 9) los animales fueron ordeñados hasta el parto. En las cabras con periodo seco se suspendió el ordeño desde 50 días antes del parto (CPS; n = 11). En el primer estudio, durante las primeras 14 semanas de lactancia las cabras del grupo MEL produjeron más leche que las del grupo CONT ($P < 0.001$). La composición de la leche no fue afectada por el tratamiento. En el experimento 2, existió un efecto del tratamiento sobre la producción de leche en la siguiente lactancia, siendo mayor en el grupo CPS que en el grupo SPS ($P < 0.001$). Por ello, la cantidad de los principales componentes de la leche fue mayor el grupo CPS ($P < 0.001$). Los resultados de la presente tesis muestran que en las cabras mantenidas en pastoreo, que la aplicación de melatonina exógena en el periodo seco y la puesta en práctica de este último tienen repercusiones profundas en estimular la lactancia siguiente.

Palabras clave: Leche, Fotoperiodo, Componentes de la leche, Periodo Seco, Cabras.

MELATONIN AND DRY PERIOD APPLICATION STIMULATE THE SUBSEQUENT LACTATION IN GRAZING GOATS.

Ricardo Avilés Ruiz
Doctor en Ciencias Agrarias
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Dr. Horacio Hernández Hernández.

Abstract

In a first study, the hypothesis that in does kidding in summer, the melatonin administration during dry period is galactopoietic for the subsequent lactation was tested. A group of does in their dry period perceived the natural long days (control CONT; n = 15) while other group received two subcutaneous ear implants (18 mg) of melatonin (MEL, n=10. In the second study, the objective was to investigate if the practice of a dry period in does maintained under grazing conditions increases the milk yield and therefore the quantity of their contents in the subsequent lactation. Does without dry period were milked until parturition (SPS; n = 9), while in does with dry period milking was stopped from 50 days previous the parturition (CPS; n = 11). In the first study, during the first 14 weeks of lactation does from MEL group yielded more milk than does from CONT group ($P<0.001$). The milk contents were not affected by the treatment. In the second study, there was a treatment effect on the milk yield during subsequent lactation and therefore it was higher in CPS group than SPS group ($P<0.001$). Therefore, quantity of the main milk contents was higher in CPC than in SPS group ($P<0.001$). As a whole, the results of this thesis show that in does kept under grazing conditions, the application of exogenous melatonin during the dry period and the dry period practice by itself have a profound impact on stimulating subsequent lactation.

Key words: Milk, Photoperiod, Milk contents, Dry period, Goats

INTRODUCCIÓN

En México, uno de los subsectores pecuarios con potencialidad de crecimiento es la producción de las cabras, actividad a la que se dedican alrededor de dos y medio millones de personas, principalmente en el semi-desierto, donde abundan los terrenos áridos y en las montañas. En el norte del país se localiza más del 90 por ciento del hato caprino nacional, el cual se estima en casi nueve millones de cabezas. La región con mayor desarrollo en la producción de leche de cabra es la región del Bajío y la Comarca Lagunera, ubicadas en los estados de Guanajuato, Coahuila y Durango; en cuanto a carne, los principales productores son Zacatecas, Coahuila, y la región Mixteca que incluye Puebla, Oaxaca y Guerrero (SAGARPA, 2017). La Comarca Lagunera es una región importante para la producción caprina en México, con un inventario de 413,217 animales (SIAP, 2015). La morfología exterior de los caprinos locales se derivó de las cruces de las cabras españolas como la Granadina, Murciana y Malagueña. El fenotipo, de estos animales varía debido a las repetidas cruces con las razas Alpina, Saanen, Anglo-Nubia y Toggenburg, especializadas en la producción de leche y carne (Montaldo *et al.*, 1997).

Linzell (1973) describió por vez primera en la cabra que la tasa de secreción de leche fluctuó de manera estacional: siendo alta durante los días largos de primavera-verano y baja durante los días cortos del otoño-invierno. Posteriormente, diversos estudios realizados en vacas lactantes demostraron que la exposición de los animales a un fotoperiodo artificial de días largos de 16 a 18 h luz/día estimuló la producción de leche en diferentes intensidades, comparado con los animales mantenidos en días cortos naturales (Peters y Tucker 1978; Peters *et al.*, 1981; Stanisiewski *et al.*, 1985; Phillips y Schofield, 1989; Miller *et al.*, 1999; Dahl y Petitclerc, 2003). Por ejemplo, en la vaca lechera, el incremento de 12 h (fotoperiodo de días cortos) a 16 o 18 h de luz/día (fotoperiodo de días largos) aumenta la producción de leche en promedio 2.5 kg/vaca por día (Dahl *et al.*, 2000). En las cabras, Garcia-Hernandez *et al.* (2007) reportaron que la exposición a un fotoperiodo artificial consistente en 20 h luz y 4

h de oscuridad fue efectivo para incrementar la producción de leche. De igual manera, en las cabras que paren durante el otoño-invierno, varios estudios se ha demostrado que la exposición a días largos artificiales de 16 h luz y 8 h oscuridad incrementó en un 21% la producción de leche comparado con las cabras bajo los días decrecientes naturales (Flores *et al.*, 2011, 2013, 2015; Hernández *et al.*, 2016). Por otro lado, en los bovinos mantenidos en estabulación, está bien documentado que los tratamientos con días cortos artificiales (8 horas de luz y 16 horas oscuridad) durante el último trimestre de gestación (periodo seco) incrementan la producción subsecuente de leche, posiblemente debido a cambios endocrinos (Auchtung *et al.*, 2005). El mismo efecto se ha reportado en caprinos lecheros que son mantenidos de manera intensiva (Mabjeesh *et al.*, 2007). Se ha indicado que el mayor tiempo de secreción de melatonina en esos animales, percibiendo días cortos artificiales, son los responsables de una mayor producción láctea en la subsiguiente lactación al reducir el pico preparto de prolactina (PRL). Así, se ha reportado que en vacas estos niveles reducidos en PRL ejercen un efecto estimulador sobre la lactación subsecuente (Ollier *et al.*, 2013). En la cabra esta posibilidad de que la administración de melatonina exógena en el periodo seco pueda ser estimulante para la producción de leche en la subsecuente lactancia no ha sido estudiada.

Otro aspecto importante para que los rumiantes lecheros puedan tener un desempeño lácteo bueno en la lactancia próxima y promover una ubre sana es que en las hembras sus glándulas mamarias tengan un descanso del ordeño hacia el final de la preñez, periodo conocido como periodo seco o “secado” (Zobel *et al.*, 2015). Por ello, en las cabras españolas con un potencial lechero elevado y a las que se les practicó el periodo seco de 50 días produjeron más leche en la lactancia subsecuente que en las cabras que no se les aplicó el sacado (Salama *et al.*, 2004). Hasta hoy, existe escasa información del efecto que tiene el practicar el periodo seco sobre la producción de leche en la lactancia subsecuente en animales mantenidos bajo condiciones de pastoreo, los cuales poseen un potencial lechero menor.

Considerando lo anterior, el objetivo de la presente tesis fue de contestar algunas interrogantes que subyacen sobre el periodo tardío de la gestación poco antes del parto y su efecto que podría ejercer sobre la próxima lactancia. En específico, la presente tesis intenta demostrar el papel que tiene la hormona melatonina exógena durante el último tercio de la gestación y del secado forzado sobre la producción subsecuente de leche.

REVISIÓN DE LITERATURA

Lactancia

La lactancia es la etapa final de la reproducción, la cual asegura la sobrevivencia de la cría que depende exclusivamente de la madre. Esta fase se caracteriza por una intensa actividad secretoria de leche de las células epiteliales mamarias (Tucker, 1979). De modo que la leche es una mezcla compleja de compuestos químicos, cuya composición refleja la actividad de distintas secreciones y procesos de transporte de la glándula mamaria que contiene los distintos requerimientos nutricionales de los neonatos de mamíferos (McManaman y Neville, 2003).

Para que se lleve a cabo la síntesis de los componentes de la leche el citoplasma de las células epiteliales alveolares tiene numerosas mitocondrias y una extensiva red de retículo endoplásmico. Además de un aparato de Golgi bien desarrollado y vesículas secretorias que contienen las micelas de caseína que están presentes en la región apical de la célula (Park *et al.*, 2017). Existen dos diferencias importantes en cuanto a la caseína en la leche de vaca en comparación con la de cabra, en cuanto al tamaño de micelas (más pequeñas en leche de vaca) y la cantidad en el contenido de caseína α_{s1} (menor en la leche de cabra). La lactosa se sintetiza en el aparato de Golgi, la cual es menor en porcentaje en la leche de cabra que en la de vaca (en promedio, 4.1% vs. 4.7%) (Silanikove *et al.*, 2010). La célula alveolar tiene bien desarrollada la capacidad de sintetizar lípidos y posee un único mecanismo para la secreción de lípidos que resulta en la secreción de gotas de triacilglicerol rodeada por una membrana de gotitas de grasa de leche (Park *et al.*, 2017). Existen marcadas diferencias en los tipos de lípidos entre la leche de bovinos y caprinos, en estos últimos, la leche contiene una mayor porción de ácidos grasos de cadena media, por ejemplo: caproíco, caprílico y cáprico, los cuales son parcialmente responsables de la característica de olor de la leche “a cabra” (Chilliard *et al.*, 2003; Silanikove *et al.*, 2010).

Rutas de secreción de los contenidos de la leche

Hay un número de barreras potenciales para la transferencia de sustancias de la sangre a la leche, tanto es así, que cada componente de la leche sigue rutas diferentes de secreción en las células epiteliales alveolares. La literatura sugiere el estudio del transporte de solutos y las rutas de secreción como a continuación se presenta:

Los solutos pueden entrar al lumen alveolar a través de la ruta transcelular o exocitótica (ruta I). Las sustancias que viajan por esta ruta son sustancias o

compuestos lácteos producidos endógenamente, los cuales son solutos acuosos como: proteínas (caseína), oligosacáridos, lactosa, citrato, fosfato y calcio. Estas sustancias son empaquetadas en vesículas secretoras en el aparato de Golgi y posteriormente transportadas a la región apical de las células, donde las vesículas se fusionan con el plasma apical de la membrana y descargan su contenido en el espacio extracelular (Figura 1). La lactosa se sintetiza a partir de uridina difosfato galactosa y glucosa en el aparato de Golgi con la ayuda de la enzima lactosa sintetasa. El calcio proveniente del plasma entra al citoplasma alveolar y posteriormente se forman las vesículas de calcio, que forman grandes estructuras micelares con caseína y también complejos con fosfato y citrato, así se reduce los niveles de calcio libres. Los fosfatos en las vesículas secretorias pueden ser parte derivada de hidrólisis de uridina difosfato galactosa durante la síntesis de lactosa.

La ruta de secreción de lípidos (ruta II) es aquella en la que los lípidos de la leche, principalmente los triacilgliceroles y fosfolípidos, son sintetizados en el retículo endoplásmico liso en la región basal de la célula de los precursores ácido graso y glicerol (McManaman y Neville, 2003). Las moléculas lipídicas citoplasmáticas que al juntarse son transportadas a la membrana citoplasmática apical, donde son secretadas en estructuras llamadas glóbulos de grasa de la leche (Figura 1).

De esta forma son también transportados los lípidos asociados a proteína, como las lipoproteínas (Bauman *et al.*, 2006).

La ruta transcitótica (ruta III) tiene que ver con la captación de sustancias endocíticas en la membrana basal, formación y maduración de endosomas y separación de lisosomas para su degradación o para el compartimento de reciclaje apical para exocitosis en la membrana apical (Figura 1). Un ejemplo son las proteínas tales como las inmunoglobulinas del espacio intersticial.

La ruta de transporte de membrana (ruta IV) está compuesta de varios mecanismos para el transporte de iones mono y polivalentes y moléculas pequeñas. La transferencia de estas sustancias de la sangre a la leche requiere de transportadores específicos. El transporte de iones es a través de transportadores o canales para sodio, potasio y cloruros que han sido identificados en la membrana plasmática apical y basal de las células alveolares. Los transportadores de iones de calcio, fosfato y yodo solo se han encontrado en la membrana basal (Figura 1).

La ruta paracelular (ruta V) es aquella donde las sustancias entran directamente en el lumen alveolar (ver Figura 1). Un ejemplo es cuando se padece de enfermedades infecciosas como la mastitis. (McManaman y Neville, 2003).

Lactogénesis

La lactogénesis es el conjunto de procesos que encabezan el inicio de la lactación que ocurre en dos partes; Lactogénesis 1, que empieza a la mitad de la preñez con la expresión progresiva de muchos, pero no de todos los genes que se relacionan con la síntesis de componentes de la leche; La lactogénesis 2 es considerada dos o tres días antes de que ocurra el parto, en esta etapa la PRL juega un rol crucial para el establecimiento de la lactancia (Neville *et al.*, 2002).

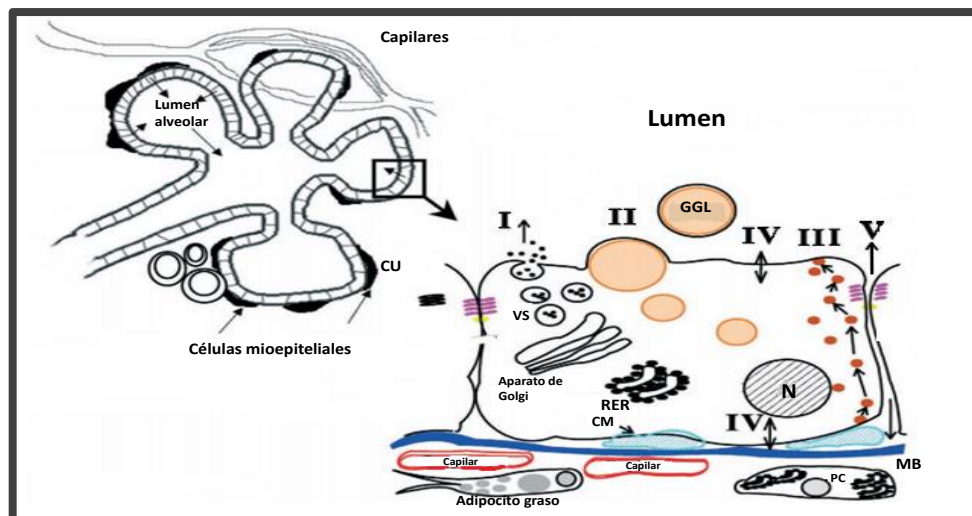


Figura 1. Rutas de secreción de contenidos de la leche: I Exocitótica, II Secreción de lípidos. III Transcitótica. IV Transporte de membrana y V Paracelular. Adaptado de McManaman y Neville, 2003. Donde: GGL = Glóbulos de grasa de la leche, N = Núcleo, RER = Retículo Endoplásmico Rugoso, VS = Vesícula secretora, MB = Membrana basal, PC = Plasma celular, CM = Célula mioepitelial, CU = Complejo de unión.

La capacidad secretora de la glándula mamaria se manifiesta en la cabra desde las 11 semanas de gestación, época en la cual hay acúmulo lácteo intramamario (Forsyth *et al.*, 1985). Sin embargo, la secreción de leche comienza en cantidades reducidas, antes del término de la gestación. En la cabra, 40 a 60 días antes del parto se detectan en los alveolos mamarios la presencia de una secreción conteniendo grasa y lactosa (Ferrando, 1983).

Los estrógenos provocan desarrollo del estroma y crecimiento de un amplio sistema de ductos. Los lobulillos y alveolos se desarrollan ligeramente por acción de los estrógenos, pero son la progesterona (P_4) y la PRL las que estimulan el crecimiento intenso de estas estructuras, haciendo que las células alveolares proliferen, aumenten de volumen e inicien su actividad secretora. Las células secretoras que forman al epitelio alveolar reciben el nombre de lactocitos o exocrinocitos lácteos (Ávila y Romero, 2006). La P_4 es esencial para el proceso de lactogénesis 1 (Neville *et al.*, 2002), además, la P_4 inhibe la secreción de PRL

(Hart, 1975). Cuarenta y ocho a 24 horas antes del parto existe un descenso abrupto de P_4 , lo que permite una maduración final de las células secretoras del parénquima mamario. (Ferrando, 1983).

El inicio masivo de la secreción láctea corresponde al momento en que en la sangre se produce un descenso en el nivel sérico de la P_4 y un alza concomitante de estrógenos, hecho que ocurre en las cercanías del parto. Los estrógenos disparan la liberación de PRL y por otra parte aumentan la sensibilidad de las células mamarias a esta hormona (Figura 2). En el animal, este desequilibrio esteroideal es responsable de la secreción láctea (Delouis *et al.*, 1980).

La PRL es esencial para la fase proliferativa de la morfogénesis alveolar y la lactogénesis. Esta hormona es secretada por la hipófisis anterior bajo control hipotalámico por factores inhibitorios y estimulantes (Freeman *et al.*, 2000). Los efectos inhibitorios son dominantes y están mediados principalmente por la dopamina. Por otro lado, varios agentes como la hormona liberadora de tiroides (TRH, de sus siglas en Inglés: Thyroid Release Hormone) y la oxitocina (OT), pueden actuar como factores de liberación de PRL y posiblemente hacerlo durante la lactancia (Neville *et al.*, 2002). En ratas, ratones y otras especies, la PRL es responsable de mantener el cuerpo lúteo durante la preñez temprana. En la preñez temprana, la PRL es luteotrófica, mantiene la secreción de estrógenos y P_4 del ovario y estimula la alveologénesis en la glándula mamaria. Una oleada de PRL se inicia 24 h antes del parto en ratas y muchas otras especies como la oveja (Andrews *et al.*, 2001). Para el caso de la cabra, al igual que en otras especies, la PRL se mantiene baja durante la preñez y su acción es mediada a través del lactógeno placentario, que alcanza sus mayores valores sanguíneos en la segunda mitad de la gestación (Hayden *et al.*, 1979). En este sentido, se ha demostrado que la hipofisectomía en cabras preñadas, no detiene el desarrollo lóbulo alveolar, aunque el desarrollo total de la glándula es la mitad del normal, ello revelaría que el lactógeno placentario reemplaza sólo parcialmente las funciones tróficas mamarias de las hormonas hipofisarias (Ferrando, 1983).

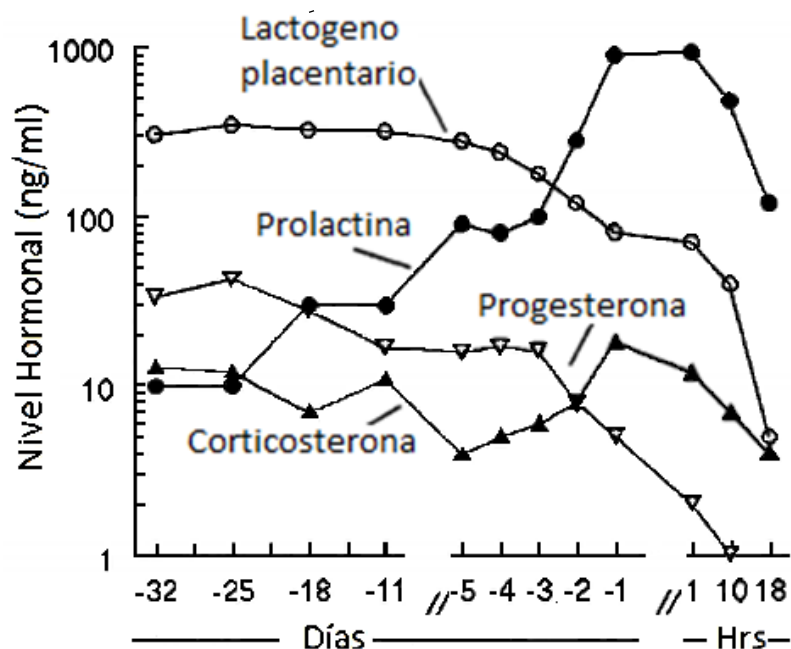


Figura 3. Niveles hormonales en la oveja durante la gestación tardía y la lactancia temprana. Adaptado de Delouis *et al.*, 1980.

Galactopóyesis

La galactopóyesis es la etapa donde la lactación está establecida, comenzando con la secreción del calostro en un inicio y posteriormente la leche (Capuco y Akers, 2002). El inicio de la lactación en rumiantes expresa un aumento de requerimientos de agua y nutrientes como glucosa, aminoácidos y ácidos grasos como precursores para la síntesis de leche (Glauber, 2007). Varias hormonas están involucradas en el mantenimiento de producción de leche. Dentro de esas hormonas metabólicas se pueden mencionar las siguientes: hormona del crecimiento (GH), hormona triyodotironina (T3), hormona tiroxina (T4) y hormonas corticoesteroidales. Además de otras hormonas como la PRL y factores de crecimiento similar a la insulina (IGF-I), todos ellos con función galactopoyética (Neville *et al.*, 2002). La glándula pituitaria y sus hormonas son esenciales en la regulación endocrina de la secreción de la leche. También la OT

juega un papel importante en la síntesis y vaciamiento de la leche en la ubre para la su expulsión (Capuco y Akers, 2002).

Control fisiológico hormonal de galactopóyesis

La glándula pituitaria y sus hormonas son parte esencial de la regulación endocrina de la secreción de leche. Por ejemplo, en la cabra, la producción de leche declina precipitadamente después de una hipofisectomía. Sin embargo, la producción de leche puede ser restablecida al nivel antes de la hipofisectomía con la administración de PRL, GH, glucocorticoides y T3. (Cowie, 1969; Larson y Smith, 1974; Peaker, 1977). A continuación, se describe el papel que juegan las hormonas involucradas en la galactopóyesis.

El papel que desempeña la PRL en la galactopoyesis de la leche fue puesto en tela de juicio, dado que se creía que era una hormona que solo tenía efectos durante la lactogénesis. Sin embargo en estudios realizados en bovinos donde se utilizó un inhibidor (bromocriptina) de la PRL durante la lactancia establecida, se encontró que disminuyó la producción de leche, por lo que se llegó a la conclusión de que dicha hormona es necesaria y tiene un papel galactopoyético (Karg et al., 1972). El mismo efecto se encontró en las cabras lactantes a las que se les administró la droga carbergolina (Lollivier y Boutinaud, resultados no publicados).

La función de la GH parece estar en coordinación en el metabolismo de tejidos que promueven un flujo de nutrientes y energía a la glándula mamaria. En el tejido adiposo, la GH estimula la lipogénesis cuando los animales están en balance energético positivo y promueven la lipólisis cuando están en balance energético negativo. En el hígado la GH promueve la gluconeogénesis, cual es sumamente importante en rumiantes porque la glucosa es necesaria para la síntesis de leche. El resultado neto de estos cambios metabólicos es para disponer de nutrientes y energía para la síntesis de lactosa, proteínas y lípidos de la leche. Aunque no se ha encontrado una acción directa en el tejido mamario y más bien parece ser un mediador que estimula la síntesis de IGF-I, el cual sí

desempeña una función directa en la glándula mamaria (Capuco y Akers, 2002). En un estudio llevado a cabo por Hernández *et al.* (2016) en cabras, se encontró una correlación positiva entre la producción de leche y la concentración de IGF-I por lo que se confirma que este factor tiene un efecto galactopoyético.

La T4 es una prohormona de la T3, la cual potencializa el efecto de otras hormonas galactopoyéticas. Hay una relación cercana entre las hormonas tiroideas y la síntesis de hormonas metabólicas. La T3 puede alterar la unión de receptores de GH en el hígado y así aumentar la estimulación de GH de síntesis de IGF-I o puede incrementar la síntesis de IGF-I en ausencia de GH. La T3 sirve como un regulador de síntesis de GH por la glándula pituitaria. Contrariamente la GH puede alterar la síntesis de T4 y la producción periférica de T3 (Neville *et al.*, 2002). En cabras las concentraciones plasmáticas de T3 son altas debido a un estado metabólico mayor durante la lactancia. De hecho, en esta especie, el principal efecto que tiene la T3 es incrementar la tasa de metabolismo basal, para que la glucosa esté disponible para las células, para estimular la síntesis de proteína e incrementar el metabolismo de lípidos (Todini *et al.*, 2007), de aquí, su importancia como componente del complejo galactopoyético hormonal (Cowie *et al.*, 1980). En un estudio realizado por Mabjeesh *et al.* (2007) encontraron que la concentración de T3 en caprinos es mayor en animales que producen mayor cantidad de leche, probablemente debido a una mayor demanda metabólica y en este mismo estudio durante el periodo seco la concentración de T3 fue menor en cabras que tienen una ingesta reducida de energía en este periodo.

No se ha encontrado la insulina que tenga un efecto directo en las células alveolares de la glándula mamaria. La insulina estimula la lipogénesis en el tejido adiposo e inhibe la gluconeogénesis en el hígado, por lo cual se puede creer que no habrá compuestos disponibles para la síntesis de lactosa (glucosa + galactosa) de la leche principalmente. Además, se ha encontrado que a vacas que se les administra exógenamente insulina tiene una disminución en la producción (Neville *et al.*, 2002).

En cuanto a los glucocorticoides, se ha visto que, en ratas y ratones la adrenalectomía severamente reduce la producción de leche. Se determinó que existen receptores específicos de unión a glucocorticoides en las células alveolares mamaria y que regulan la secreción de α lactoalbumina y β caseína. En bovinos estos receptores se encuentran en mayor cantidad en vacas en lactación que en preparto en el tejido mamario. Por lo tanto, los glucocorticoides son importantes para el mantenimiento de la producción de leche en ganado lechero. Además, en el tejido mamario lactante el número de receptores a glucocorticoides se correlaciona con la toma de glucosa de la sangre (Capuco y Akers, 2002).

La P₄ es una hormona producida durante la preñez y es esencial tanto para la proliferación alveolar como para la lactogénesis 1 y su caída desencadena la lactogénesis 2, por lo que no tiene un rol galactopoyético (Neville *et al.*, 2002).

El estradiol (E₂) es una hormona que en concentraciones altas durante la lactancia disminuye la producción de leche, el mecanismo por el cual provoca esto, no está claro. Se ha observado que la administración exógena de estradiol ayuda en la involución de la glándula mamaria en ganado lechero en el periodo seco (Neville *et al.*, 2002).

Tecnologías Utilizadas en la Manipulación de la Lactancia

Existen diferentes técnicas de manejo durante la lactancia con el objetivo de incrementar la producción de leche (Miller *et al.*, 1999). La curva de lactación de los rumiantes se afecta de forma natural por factores como: grupo genético (raza), edad del animal, días en lactación y la estación del año (Montaldo *et al.*, 1997), Sin embargo, también se han estudiado diversas tecnologías que son utilizadas para estimular el desempeño lactacional del ganado lechero.

Hormonales

La somatotropina bovina recombinante (sTBr) es una hormona peptídica que se obtiene por biotecnología insertando el gen que la codifica en la bacteria *E. Coli*,

produciéndose así en cantidades masivas. Cabe mencionar que la estructura química de GH (sintetizada en el animal) y sTBr (obtenida por recombinación) es la misma. En los años 40s se identificó a la sTBr como un componente que es requerido en la síntesis de leche y se utilizó como un estimulador de la producción (Peel *et al.*, 1981). En algunos países, como en la Unión Europea se ha prohibido la aplicación de la sTBr en los animales (Kleinman y Kinchy, 2003). El mecanismo por el cual la GH o la sTBr es que actúa en los procesos metabólicos tales como metabolismo de lípidos en el tejido adiposo y la gluconeogénesis en el hígado. Estos procesos deben ser coordinados para proveer suficientes nutrientes para la síntesis de leche. En la lactancia los niveles de insulina son bajas y los niveles de GH son altos por lo que se ha demostrado que esta hormona es la responsable de la regulación en la partición de nutrientes absorbidos para la producción de leche, acelerando la lipólisis en varias especies productoras de leche. En un experimento llevado a cabo por Peel *et al.* (1981) encontraron que la aplicación exógena de sTBr en bovinos lecheros a una dosis de 51.5 UI/día y cuando los animales se encontraban con un promedio de 74 ± 3 días posparto, la producción de leche se incrementó en un 22.7% en comparación con los animales que no se les aplicó dicha hormona. De igual forma la sTBr exógena tuvo un efecto galactopoyético sobre la producción de leche en cabras (Mephram *et al.*, 1984).

Tiempo de secado

Un periodo de secado es necesario en el ganado lechero para permitir el reemplazamiento de células epiteliales dañadas o senescentes (Capuco *et al.*, 1997). Un periodo de 45 a 60 días es generalmente recomendado para ganado bovino, periodos menores a 40 días resultan en una disminución en la producción de leche en la siguiente lactación y periodos mayores a 60 días resultan en pérdida económicas para el productor por los gastos de mantenimiento del animal sin producir y el no suficiente aumento de leche en la siguiente lactación, ya que el gasto de mantenimiento es mayor que la poca ganancia económica de leche en la subsecuente lactación (Sørensen y Enevoldsen, 1991). El proceso de la involución mamaria ocurre durante la transición de estado en lactación a no

lactación. Esta transición empieza después de cesar la ordeña y resulta en cambios en la composición de la secreción mamaria. El volumen de secreción de leche decrece durante la involución, así como de la mayoría de sus componentes. Enzimas como la lactoferrina, e hidrolíticas, además de inmunoglobulinas y componentes derivados del suero aumentan. La lactoferrina tiene propiedades antibacterianas y actúa como un inmunomodulador. Cambios en la composición de secreción mamaria pueden reflejar cambios en la función de las células alveolares epiteliales y resistencia a enfermedades de la glándula. Los mecanismos autofagocíticos pueden estar involucrados en este decremento de la función lactacional. Los principales cambios que ocurren a nivel célula alveolar son en el citoesqueleto, donde se sintetizan enzimas lisosomales. La presencia de los microtúbulos compuestos de tubulina, parece tener acción sobre la inactivación de los componentes de la leche durante la involución temprana. Se han observado la aparición de vacuolas de gran tamaño de corta vida. Las estructuras fagocíticas aparecen 48 horas después de que cesa el ordeño estas estructuras coinciden con el declinamiento en el retículo endoplásmico rugoso y aparato de Golgi. Sin embargo, los ribosomas, mitocondrias y segmentos de retículo endoplásmico rugoso están presentes a través de la involución, lo que sugiere que las células continúan sintetizando productos y son metabólicamente viables. Los orgánulos que están involucrados en la síntesis de la leche, particularmente retículo endoplásmico rugoso y aparato de Golgi, desaparecen al aparecer estructuras autofagocíticas en la célula. Ocurre una entrada al lumen de leucocitos, puesto que se abre el complejo de unión entre una célula y otra (Hurley, 1998).

Caja *et al.* (2006) encontraron que omitir el periodo seco entre lactaciones en cabras de la raza lechera Murciano-Granadina tuvo efectos negativos en la producción de leche (16% de pérdida cuando no se seca por lo menos 27 días), probablemente porque no existe un reemplazamiento celular durante el periodo seco. Además, encontraron que ordeñar durante la preñez tardía reduce el peso al nacimiento de la cría y la calidad inmunológica del calostro, lo que puede afectar negativamente la supervivencia del neonato.

Frecuencia de ordeño

En la cabra el número de ordeños ha sido destacado como una manipulación de manejo que influye en el total de la leche producida (Mocquot, 1980). El efecto de la frecuencia de ordeño es mayor en la lactancia temprana y media, cuando la producción es mayor, que al final de la lactancia (Silanikove *et al.*, 2010; Flores *et al.*, 2011). Los animales presentan un pico de producción más corto con un ordeño que con dos ordeños diarios (Salama *et al.*, 2003, 2004). Agraz (1981), informa que el practicar un segundo ordeño en el día eleva la producción entre 16% y 22% en cabras, señala además que esta práctica ofrece la ventaja adicional de extraer hasta la leche residual, que es la porción más rica en grasa. La síntesis de leche por la ubre es altamente dependiente de los efectos locales de la evacuación previa de la ubre (Wilde y Knight, 1990). Así, en vacas Wilde y Knight (1990) y en cabras Linzell y Peaker (1971) demostraron que, si una glándula de un animal es ordeñada 3 veces/día, su producción se incrementa rápidamente en comparación a la otra glándula del mismo animal ordeñada sólo 2 veces al día. El mecanismo por el cual la frecuencia de ordeño y la aplicación de GH exógena estimulan la producción de leche de forma diferente. La frecuencia de ordeño afecta el diámetro alveolar en cabras sin modificaciones en la actividad celular como es el caso de la GH, pero la combinación de las dos técnicas resulta en una mayor producción de leche (Boutinaud *et al.*, 2003).

Nutrición

Entre los efectos del nivel de nutrición encontramos: suplementación energética, que es principalmente referido al nivel de energía consumida que afecta positivamente la producción de leche en rumiantes (Bocquier y Caja, 2004). De hecho se logra un pico mayor en la curva de producción y una forma común de incrementar la producción de leche es brindar dietas que son altas en energía a los animales en la lactancia temprana, pero esto puede traer consecuencias, dado que el animal durante el periodo seco recibe una dieta alta en fibra neutro detergente y este cambio de dieta propicia desordenes metabólicos (hígado

graso, acidosis ruminal, cetosis, etc.). Lo anterior provoca una disminución en la ingesta de materia seca y por consecuencia una disminución en la producción láctea (Goff y Horst, 1997). Por otro lado, la suplementación proteica ha incrementado la producción de leche, pero el costo es elevado y posiblemente no es rentable (Bocquier y Caja, 2004). Otra alternativa es la suplementación con lípidos en la dieta, lo que significa un incremento en la ingesta de energía, haciendo más eficiente la lactancia temprana con un aumento en la producción de leche y evitando la movilización de lípidos corporales (Getachew *et al.*, 2001; Chilliard *et al.*, 2003; Sanz-Sampelayo *et al.*, 2004; De Souza *et al.*, 2019). La suplementación con lípidos difiere ampliamente entre los caprinos y bovinos en respuesta a la producción de leche y el contenido de grasa, aun cuando la respuesta en la composición de ácidos grasos de la leche es similar, sus sistemas lipolíticos son diferentes. Esta diferencia probablemente explica porque la regulación fisiológica de la lipólisis difiere significativamente entre especies. Particularmente en la composición de ácidos grasos de la leche de cabra y el sistema lipolítico que juegan un papel importante en el desarrollo del sabor a cabra (Chilliard *et al.*, 2003). Dentro de los tipos de grasa que se utilizan en la dieta están los ácidos grasos saponificados (Hernández y Díaz, 2011)

Uso de grasa de sobrepaso (ácidos grasos de jabones cálcicos). Nuevas tecnologías han generado grasas modificadas químicamente, que permiten su utilización en mayores niveles y con una menor interacción a nivel ruminal, reduciendo los efectos deletéreos de los lípidos por la actividad microbiana en el rumen. Este tipo de grasas son conocidas como “grasas sobrepaso”, grasas inertes, grasas by-pass, o grasas protegidas. Han sido diseñadas específicamente para tener muy poco, o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad de los alimentos en rumiantes. A menudo, las grasas de sobrepaso son sales de calcio carboxiladas (jabones cálcicos), ácidos grasos saturados o grasas hidrogenadas (Hernández y Díaz, 2011). Las grasas de sobrepaso o jabones de calcio de ácidos grasos o triglicéridos han sido utilizadas en la dieta para incrementar su densidad energética y minimizar los efectos del balance energético negativo, prevenir desordenes metabólicos, favorecer la producción

láctea, restaurar la pérdida de condición corporal y mejorar el desempeño productivo y reproductivo en la vaca (De Souza y Lock, 2019), en la borrega (Ghoreishi *et al.*, 2007) y en la cabra (Baldi *et al.*, 1992).

En algunos estudios en ovinos reportados por Gargouri *et al.* (2006) muestran que la suplementación con grasa de sobrepaso tiene efecto significativo en la producción de leche y un marcado incremento en el contenido de grasa en la leche. La respuesta de estas variables depende en la dosis de ácidos grasos de jabones cálcicos y de la fase de lactancia del animal. Las dosis óptimas de ácidos grasos de jabones cálcicos resultaron ser de 150-200 g/día/animal. Esta tecnología trae varios beneficios porque puede mejorar las características de los ácidos grasos en la leche o la calidad dietética. El efecto general es que reduce el porcentaje de ácidos grasos saturados e incrementa el porcentaje de los insaturados, lo cual es muy recomendable para la salud humana (Silanikove *et al.*, 2010). En otro estudio se ha reportado que, en esta misma especie, los ácidos grasos de jabones cálcicos (25 gramos/día) parecen tener efectos benéficos en la reproducción y en la producción de leche, grasa de la leche, ganancia diaria de peso de la cría, el peso al nacimiento de la cría y menor pérdida de peso de la borrega (Ghoreishi *et al.*, 2007). De igual forma, el ácido graso palmítico en la dieta (1.5% M.S.) promueven la producción de leche en ganado bovino lechero tanto en el periodo fresco como en el pico de producción, pero se observó un efecto benéfico, si es proporcionada durante el pico de producción y no inmediatamente después del parto. Se cree que este lípido promueve una mayor ingesta de materia seca en el animal y por lo tanto mayor cantidad de metabolitos para la síntesis de componentes de la leche (De Souza *et al.*, 2019).

Fotoperiodo

La producción de leche también muestra ciclos de alta y baja producción de leche a lo largo del año y estos ciclos se repiten año tras año. Estos ciclos estacionales de la producción de leche están asociados al fotoperiodo. El fotoperiodo se define como las horas luz y oscuridad que un organismo recibe en un periodo de 24

horas. De tal manera que una alta producción de leche coincide con un incremento en las horas luz por día, y una baja producción de leche se presenta durante los días cortos (Linzell. 1973).

En la literatura sobre los efectos que ejerce la manipulación del fotoperiodo en diversos aspectos fisiológicos de los animales se ha denominado como como fotoperiodo de días largos (FPDL) y fotoperiodo de días cortos (FPDC). Un FPDL comprende de 16-18 horas de luz y 6-8 horas de oscuridad en un periodo de 24 horas, así un FPDC es 6-8 horas d luz y 16-18 horas de oscuridad (Dahl *et al.*, 2012). La manipulación del fotoperiodo ha tenido varios resultados en las diferentes etapas fisiológicas de los animales en relación a la reproducción y a la producción de leche.

Aplicación del fotoperiodo de días largos artificiales para estimular la producción de leche. Se ha aplicado a los animales el FPDL para una mayor producción de leche en la vaca. Un estudio llevado a cabo por Dalh *et al.* (2000) encontraron que las vacas que se someten a FPDL artificiales (16 horas de luz y 8 de oscuridad) produjeron mayor cantidad de leche con incrementos que van de 2 a 3 kg por vaca por día en comparación con las que permanecen en FPDC naturales. Por otro lado, en cabras de tipo lechero, Garcia-Hernandez *et al.* (2007) encontraron que la exposición de las hembras a un FPDL, consistente en 20 horas de luz por día incrementó la producción de leche. En cabras subtropicales del norte de México que paren durante el otoño se demostró que exponiendo las hembras a 16 horas luz y 8 de oscuridad la producción de leche se incrementó en aproximadamente un 21%, ya sea si los animales son ordeñados una o dos veces por día (Flores *et al.*, 2011; Flores *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2016). Este mismo incremento en la producción de leche se observó en cabras que fueron expuestas a 16 horas luz y 8 horas de oscuridad y que fueron mantenidas en condiciones extensivas, siempre y cuando se les proporcione un complemento alimenticio (Flores *et al.*, 2015).

Independientemente aplicar la tecnología del FPDL artificiales o la administración de somatotropina bovina exógena causa un incremento en la producción de leche en vacas lactantes (Peters *et al.*, 1978 y Peel *et al.*, 1981; respectivamente). Pero la combinación de estas dos técnicas produce un efecto aditivo en la producción de leche y la ingesta de materia seca y por lo tanto tienen un mayor efecto galactopoyético (Miller *et al.*, 1999).

Mecanismos fisiológicos que ejerce la aplicación del fotoperiodo de días largos. La síntesis de leche es modulada por cambios hormonales provocados por factores ambientales, como es el fotoperiodo (Peters *et al.*, 1981; Flores *et al.*, 2011). La señal luminosa es interpretada por el animal y transformada en una señal eléctrica. En la retina del ojo son captadas las longitudes de ondas de la luz por las células fotorreceptoras, las cuales desencadenan una estimulación que es enviada como impulso eléctrico a través de una serie de neuronas oculares y posteriormente a través del nervio óptico. Finalmente, la información es transmitida vía las neuronas simpáticas postganglionares a la glándula pineal (Reiter, 1983). Esta glándula responde a los efectos del fotoperiodo secretando su principal hormona, la melatonina, la cual es liberada con un marcado ritmo circadiano. Normalmente, la máxima secreción de esta hormona ocurre durante la fase de oscuridad del día y es inhibida durante la fase de luz. Por lo tanto, una larga duración secreción de melatonina corresponde a un día corto y viceversa (Arendt, 1998). La melatonina (N-acetyl-5-methoxytryptamine) es una hormona indólica que estimula o actúa en la pars tuberalis para activar la secreción o inhibición de otras hormonas (Parkunan *et al.*, 2015). En ganado bovino, un mayor tiempo de exposición a la luz disminuye el tiempo de secreción de melatonina en la sangre, pero estimulándose la secreción de otras hormonas incluyendo PRL e IGF-I. Estas últimas hormonas se encuentran en mayor concentración por FPDL comparado con los animales que perciben FPDC (Dahl *et al.*, 2012).

Aplicación del fotoperiodo de días cortos artificiales durante el periodo seco. La manipulación del FPDC durante el periodo seco ha sido estudiado en

diferentes especies lecheras (Parkunan *et al.*, 2015). La manipulación del FPDC durante el periodo seco estimula una mayor producción en la subsecuente lactancia en bovinos (Miller *et al.*, 2000). En un trabajo experimental llevado a cabo por Auchtung *et al.* (2005), donde encontraron que, al someter a vacas lecheras durante el periodo seco a días cortos, éstas incrementaron su consumo de alimento durante este periodo y mejoraron su inmunidad, posteriormente durante la lactancia subsecuente produjeron una mayor producción de leche en comparación con las que no percibieron días cortos. En borregas Mikolayunas *et al.* (2008) encontraron el mismo efecto que en los bovinos. En cabras se observó que al ser sometidas a días cortos durante el periodo seco se encontraron concentraciones menores de hormonas como: prolactina, triyodotironina e IGF-I durante el parto, sin embargo, tuvieron una mayor concentración de estas hormonas en los meses subsecuentes al parto, así como una mayor producción de leche (Mabjeesh *et al.*, 2007). Por otro lado, se encontró que la administración de melatonina oral durante el periodo seco no tiene efectos sobre la producción de leche en vaquillas, pero si en vacas sobre la lactancia subsecuente (Lacasse *et al.*, 2014) y no se vio una mejora en la involución de la glándula mamaria (Ponchon *et al.*, 2017). Garcia-Inspuerto *et al.* (2012) reportaron que los implantes de melatonina colocados a vacas durante el periodo seco moderadamente suprimen en el parto las concentraciones de PRL, pero no afecto la producción de leche.

Mecanismos fisiológicos que ejerce el fotoperiodo de días cortos durante el periodo seco sobre la lactancia subsecuente. Una posible explicación por la cual la exposición a FPDC durante el periodo seco estimula la subsecuente lactación es el periodo extendido de secreción de melatonina por la glándula pineal. De hecho, someter cabras a FPDC artificiales induce un incremento en la duración de secreción de melatonina (Deveson *et al.*, 1990) y un mayor tiempo de exposición significativamente reduce los niveles plasmáticos de PRL (Auchtung *et al.*, 2003; Auldish *et al.*, 2007), pero la expresión de los receptores a PRL aumenta en muchos tejidos, incluyendo el hígado, glándula mamaria y linfocitos (Auchtung *et al.*, 2003, 2005). Los niveles reducidos de PRL promueven

la involución de las glándulas mamarias en vacas lecheras a través de un incremento en la permeabilidad de las uniones celulares (tight junctions), permitiendo el transporte paracelular entre el espacio intersticial y la leche (Ollier *et al.*, 2013). Así, los altos niveles de melatonina y bajos de PRL pueden ayudar a mejorar el proceso de la lactogénesis, activado mayor número de células secretorias mamarias funcionales en el parto o incrementando su capacidad secretoria y así, mayor desarrollo mamario y menor apoptosis celular (Wall *et al.*, 2005a). Además, se encontrado que, aunque la señalización PRL-receptor influye en varios sistemas intracelulares, una ruta específica alterada por el FPDC es la expresión de supresores de señalización de citoquina. Un decremento en la expresión de supresores de señalización de citoquina sería esperado al aumentar el crecimiento de la glándula mamaria por la expresión de la familia de genes de supresores de señalización de citoquina que están asociados con la inhibición del feedback de señalización de PRL (bajas concentraciones) Durante el periodo seco aumenta la proliferación de células mamarias y decrece la apoptosis celular, provocado por el mecanismo descrito. (Wall *et al.*, 2005b). Aunque se han realizado varios estudios encaminados a entender el mecanismo que ejerce el FPDC durante el periodo seco en ganado lechero, aún existen discrepancias entre las investigaciones, es así que la cabra lechera al ser un rumiante estacional en comparación con el ganado bovino puede resultar un modelo adecuado para probar la hipótesis de que los implantes de melatonina durante el periodo seco imitan a tratamientos de FPDC estimulando una mayor producción de leche en la subsecuente lactancia.

REFERENCIAS

- Agraz, A. (1981). Caprinotécnica. Guadalajara, México: Editorial Limusa S.A. De C.V. 840. ISBN: 9789681817046.
- Andrews, Z.B., Kokay, I.C., Grattan, D.R. (2001). Dissociation of prolactin secretion from tuberoinfundibular dopamine activity in late pregnant rats. *Endocrinology*. 142:2719-2724.
- Arendt, J. (1998). Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reviews of Reproduction*. 3:13-22.
- Auchtung, T.L., Kendall, P.E., Salak-Johnson, J.L., McFadden, T.B., Dahl, G.E. (2003). Photoperiod and bromocriptine treatment effects on expression of prolactin receptor mRNA in bovine liver, mammary gland, and peripheral blood lymphocytes. *Journal Endocrinology*. 179:347-356.
- Auchtung, T.L., Rius, T.L., Kendall, P.E., McFadden, T.B., Dahl, G.E. (2005). Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88:121-127.
- Auldish, M.J., Turner, S.A., McMahon, C.D., Prosser, C.G. (2007). Effects of melatonin on the yield and composition of milk from grazing dairy cows in New Zealand. *Journal of Dairy Research*. 74:52-57.
- Ávila, T.S., Romero, L. (2006). Anatomía y fisiología de la glándula mamaria. Producción de ganado lechero. Ciudad de México, México: Editorial CECSA. 7ª Edición. 217-251.
- Baldi, A., Cheli, F., Corino, C., Dell'O., Polidori, F. (1992). Effects of feeding calcium salts of long chain fatty acids on milk yield, milk composition and plasma parameters of lactating goats. *Small Ruminant Research*. 6:301-310.
- Bauman, D.E., Mather, I.H., Wall, R.J., Lock, A.L. (2006). Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science*. 89:1235-1243.
- Boutinaud, M., Rousseau, C., Keisler, D.H., Jammes, H. (2003). Growth hormone and milking frequency act differently on goat mammary gland in late lactation. *Journal of Dairy Science*. 86:1-12.
- Bocquier, F., Caja, G. (2004). Effects of nutrition on ewe's milk quality. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/256343773>.
- Caja, G., Salama, A.A.K., Such, X. (2006). Omitting the dry-off period negatively affects colostrum and milk yield in dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 89:4220-4228.
- Capuco, A.V., Akers R.M. (2002). Galactopoieses: Effects of hormones and growth factors. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/279522993>.
- Capuco, A.V., Akers R.M., Smith, J.J. (1997). Mammary growth in Holstein cows during the dry period: Quantification of nucleic acids and histology. *Journal of Dairy Science*. 80:477-487.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal of Dairy Science*. 86:1751-1770.
- Cowie, A.T., Tindal, J.S. (1969). The maintenance of lactation in goat after hypophysectomy. *Journal Endocrinology*. 23:79-96.
- Cowie, A.T., Forsyth L.A., Hart, I.C. (1980). Hormonal control of lactation. Berlin, Germany: editorial Springer-Verlag. ISBN: 9783642813894.

- Dahl, G.E., Buchanan, B.A., Tucker, H.A. (2000). Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science*. 83:885-893.
- Dahl, G.E., Petitclerc, D. (2003). Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science*. 3:11-17.
- Dahl, G.E., Tao, S., Thompson, I.M. (2012). Effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *Journal of Animal Science*. 90: 755-760.
- De Souza, J., Lock, L. (2019). Effects of timing of palmitic acid supplementation on production responses of early-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 102:260–273.
- De Souza, J., Strieder-Barboza, C., Contreras, G.A., Lock, A.L. (2019). Effects of timing of palmitic acid supplementation during early lactation on nutrient digestibility, energy balance, and metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 102:274–287.
- Delouis, C., Djiane, J.D., Houdebine, L.M., Terqui M. (1980). Relation between hormones and mammary gland function. *Journal of Dairy Science*. 63:1492-1513.
- Deveson, S.L., Howarth, J., Arendt, J., Forsyth, I.A. (1990). Sensibility of goats to a light pulse during the night as assessed by suppression of melatonin concentration in plasma. *Journal Pineal Research*. 8:169-177.
- Ferrando G. (1983). Bases fisiológicas del desarrollo y función de la glándula mamaria. *Producción Caprina*. 1:55-66.
- Flores, M.J., Flores, J.A., Elizundia, J.A., 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.
- Flores, M.J., Flores, J.A., Duarte, G., Vielma, J., Delgadillo, J.A., Hernández, H. (2013). Long-day photoperiod exposure in lactating goats to induce post-partum ovulatory activity. *Small Ruminant Research*. 109:52-55.
- 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. *Journal of Agriculture Science*. 153:335-342.
- Forsyth, I.A., Byatt, J.C., Iley, S. (1985). Hormone concentrations, mammary development and milk yield in goats given long term bromocriptine treatment in pregnancy. *Journal of Endocrinology*. 104:77-85.
- Freeman, M.E., Kanyicska, B., Lerant, A., Nagy, G. (2000). Prolactin: Structure, function and regulation of secretion. *Physiological Reviews*. 80:1523-1631.
- Garcia-Hernandez, R., Newton, G., Horner, S., Nuti, L.C. (2007). Effect of photoperiod on milk yield and quality and reproduction in dairy goats. *Livestock Science*. 110:214-220.
- Garcia-Inspuerto, I., Abdelfatah, A., López-Gatius F. (2012). Melatonin treatment at dry-off improve reproductive performance postpartum in high-producing dairy cow under heat stress conditions. *Reproduction in Domestic Animals*. 12:1-7.
- Gargouri, A., Caja, G., Casals, R., Mezghani, I. (2006). Lactational evaluation of effects of calcium soap of fatty acids on dairy ewes. *Small Ruminant Research*. 66:1-10.
- Getachew, G., De Peters, E.J., Robinson, P.H., Taylor, S.J. (2001). In vitro rumen fermentation and gas production: influence of yellow grease, tallow, corn oil and their potassium soaps. *Animal Feed Science and Technology*. 93:115.

- Ghoreishi, S.M., Zamiri, M.J., Rowghani, E., Hejazi, H. (2007). Effect of a calcium soap of fatty acids on reproductive characteristics and lactation performance of fat-tailed sheep. *Pakistani Journal Biology Science*. 15:2389-2395.
- Glauber, C.E. (2007). Fisiología de la lactación en la vaca lechera. *Veterinaria Argentina*. 24:274-281.
- Goff, J.P., Horst, R.L. (1997). Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*. 80:1260–1268.
- Hart, I.C. (1975). Seasonal factors affecting the release of prolactin in goats in response to milking. *Journal of Endocrinology*. 64:313-322.
- Hayden, T.J., Thomas, C.R., Forsith, L.A. (1979). Effect of number of young born (litter size) on milk yield of goats: Role of placental lactogen. *Journal of Dairy Science*. 62:53-57.
- 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*. 87: 484-491.
- Hernández, R., Díaz, T. (2011). Las grasas sobrepasantes y su efecto sobre la actividad productiva y reproductiva en rumiantes. *Nutribásicos de Venezuela*. 33:333-343.
- Hurley, W.L. (1998) Symposium: Mammary gland function during involution and the declining phase of lactation. *Journal of Dairy Science*. 72:1637-1646.
- Karg, H., Schams D., Reinhardt V. (1972). Effects of 2-Br- α ergocryptine on plasma prolactin level and milk yield in cows. *Experientia*. 28:574–576.
- Kleinman, D.L., Kinchy, A.J. (2003). Why ban bovine growth hormone? Science, social, welfare, and the divergent biotech policy landscapes in Europe and the United States. *Science as Culture*. 12:375-414.
- Lacasse, P., Vinet, C.M., Petitclerc, D. (2014). Effect of prepartum photoperiod and melatonin feeding on production and prolactin concentration in dairy heifers and cows. *Journal of Dairy Science*. 97:3589-3598.
- Lacasse, P., Ollier, S., Lollivier, V., Boutinaud, M. (2016). New insights into the importance of prolactin in dairy ruminants. *Journal of Dairy Science*. 99:864-874.
- Larson, B.L., Smith, V.R (1974). Lactation: a comprehensive treatise. New York: Editorial Academic Press. 3-107.
- Linzell, J.L., Peaker, M. (1971). The effects of oxytocin and milk removal on milk secretion in the goat. *Journal Physiology*. 216:717-734.
- Linzell, J.L. (1973). Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goats. *Journal Physiology*. 230:225-233.
- Mabjeesh, S.J., Gal-Garber, O., Shamay, A. (2007). Effect of the Photoperiod in the third trimester of gestation on milk production and circulating hormones in dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 90:688-705.
- McManaman, J.L., Neville, M.C. (2003). Mammary physiology and milk secretion. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 55:629-641.
- Mephram, T.B., Lawrence, S.E., Peters, A.R., Hart, I.C. (1984). Effects of exogenous growth hormone on mammary function in lactating goats. *Hormones Metabolism Research*. 16:248-253.
- Mikolayunas, C.M., Thomas, D.L., Dahl, G.E., Gressley, T.F., Berger, Y.M. (2008). Effect of prepartum photoperiod on milk production and prolactin concentration of dairy ewes. *Journal of dairy Science*. 91:85-90.

- Miller, A. R. E., Stanisiewski, E.P., Erdman, R.A., Douglass, L.W., Dahl, G.E. (1999). Effects of long daily photoperiod and bovine somatotropin (Trobest®) on milk yield in cows. *Journal of Dairy Science*. 82:1716-1722.
- Miller, A.R.E., Erdman, R.A., Douglass, L.W., Dahl, G.E. (2000). Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal Dairy Science*. 83:962–967.
- Mocquot, J.C. (1980). La réduction du nombre de traite: Mythe ou réalité? *La Chèvre*. 121:25-31.
- Montaldo, H., Almanza, A., Juiirez, A. (1997). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research*. 24:195-202.
- Neville, C.M., McFadden, B.T. Forsyth, I. L. (2002). Hormonal regulation of mammary differentiation and milk secretion. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 7:49-66.
- Ollier, S., Zhao X., Lacasse P. (2013). Effect of prolactin-release inhibition on milk production and mammary gland involution at drying-off in cows. *Journal of Dairy Science*. 96:335-343.
- Park, W.Y., Haenlein, W.G.F., Wendorff, L.W. (2017). *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. 2ª edición. Editorial WILEY blackwell. pp:40-55.
- Parkunan, T., Kumar ,R.D., Chandrasekar, T., Preedaa, M.G., Selvan, A.S., Barathy, S., Prakash, M.A., Sheikh, A.A. (2015). Production aspects of photoperiodism in dairy cattle. *Internacional Journal of Current Research and Academic Review*. 3:118-125.
- Peaker M. (1977). Mechanism of milk secretion: milk composition in relation to potential difference across the mammary epithelium. *Journal Physiology*. 270:489-505.
- Peel, C.J., Bauman, D.E., Gorewit, R.C., Sniffen, Ch.J. (1981). Effect of exogenous growth hormone on lactational performance in high yielding. *The Journal of Nutrition*. 1662-1671.
- Peters, R.R., Tucker, H.A. (1978). Prolactin and growth hormone response to photoperiod in heifers. *Endocrinology*. 103:229-234.
- Peters, R.R., Chapin, L.T., Emery, R.S., Tucker, H.A. (1981). Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cows to supplemented light. *Journal of Dairy Science*. 64:1671-1678.
- Phillips, C.J.C., Schofield, S.A. (1989). The effect of supplementary light on the production and behavior of dairy cows. *Animal Science*. 48:293-303.
- Poidron, P., Soto, R., Romeyer, A. (1997). Decrease of response to social separation preparturient ewes. *Behavior Processes*. 40:45-51.
- Ponchon, B., Lacasse, P., Ollier, S., Zhao, X. (2017). Effects of photoperiod modulation and melatonin feeding around drying-off on bovine mammary gland involution. *Journal of Dairy Science*. 100:1-11.
- Reiter R. J., (1983). The rol of light and age in determining melatonin production in the pineal gland. *The Pineal Gland and its Endocrine Rol*. Springer.227-241.
- Remond, B., Rouel, J., Pinson, N., Jabet, S. (1991). An attempt to omit the dry period over three consecutive lactations in Dairy cows. *Annual zootechnical*.46:399-408.
- SAGARPA, (2017). Secretaría de Ganadería, Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/2017.pdf>.

- Salama, A.A.K., Caja, G., Such, X., Rovai, M., Casals, R., Albanell, E., Marin, M.P., Marti A. (2003). Effects of once versus twice daily milking throughout lactation on milk composition in dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 86:1673-1680.
- Salama, A.A.K., Caja, G., Such, X., Peris, S., Sorensen, A., Knight, C.H. (2004). Changes in cisternal udder compartment induced by milking interval in dairy goats milked once or twice daily. *Journal of Dairy Science*. 87:1181–1187.
- Sanz-Sampelayo, R.S., Martin, J.J.A., Perez, L., Gil, F.E., Boza, J. (2004). Dietary supplements for lactating goats by polyunsaturated fatty acid-rich protected fat. Effects after supplement withdrawal. *Journal of Dairy Science*. 87:1796-1802.
- Senger, P. L. (2003). Pathways to pregnancy and parturition. Current conceptions Inc. Segunda edición. Capítulo 7. 154-156.
- SIAP. (Sistema de información agroalimentaria y pesquera), (2015). SAGARPA. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. www.siap.gob.mx/opt/poblaganad/caprino. pdf (12/05/2017).
- Silanikove, N., Leitner, G., Merin, U., Prosser, G: (2010). Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*. 89:110-124.
- Sørensen, J.T., Enevoldsen, C. (1991). Effect of dry period length on milk production in subsequent lactation. *Journal of Dairy Science*. 79:1277-1283.
- Stanisiewski, E.P., Mellenberger, R.W., Anderson, C.R., Tucker H.A. (1985). Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*. 68:1134-140.
- Todini, L., Malfatti, A., Valbonesi, A., Trabalza-Marinucci, M., Debenedetti A. (2007). Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake. *Small Ruminant Research*. 68:285–290.
- Tucker, H.A. (1979). Endocrinology of lactation. *Perinatal Seminars*. 3:199-204.
- Wall, E.H., Auchtung, T.L., Dalh, G.E., Ellis, S.E., McFaden, T.B. (2005a). Exposure to short day photoperiod enhanced mammary growth during the dry period of dairy cow. *Journal of Dairy Science*. 88:1994-2003.
- Wall, E.H., Auchtung-Montgomery, T.L., Dahl, G.E., McFadden, T.B. (2005b). Short day photoperiod during the dry period decreases expression of suppressors of cytokine signaling in the mammary gland of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88:3145-3148.
- Wilde, C.J., Knight, C.H. (1990). Milk yield and mammary function in goats during and after once-daily milking. *Journal of Dairy Research*. 57: 441-447.
- Zobel, G., Weary, D.M., Leslie, K.E., von Keyserlingk, M.A.G. (2015). Cessation of lactation: Effects on animal welfare. *Journal of Dairy Science*. 98:8263–8277.

ARTÍCULOS

Hipótesis:

Experimento 1. En cabras mantenidas en pastoreo que paren en verano, la aplicación de melatonina exógena durante el período seco promueve una mayor producción de leche en la lactancia subsecuente y ello incrementará la ganancia de peso de las crías.

Experimento 2. El practicar el periodo seco en cabras bajo condiciones de pastoreo, incrementa la producción láctea durante la lactancia subsecuente y por ello la cantidad de sus componentes.

Objetivos:

Experimento 1. Investigar si en las cabras en pastoreo la aplicación de implantes de melatonina exógena durante el periodo seco promueven un mayor producción de leche en la lactancia subsecuente y si ello influye en la ganancia de peso de las crías.


Experimento 2. Determinar si el practicar el periodo seco en cabras bajo condiciones de pastoreo incrementa la producción láctea y por ello la cantidad de los componentes químicos de la leche.

Artículo 1



J. Dairy Sci. 102:11536–11543
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16836>
 © American Dairy Science Association®, 2019.

Melatonin administration during the dry period stimulates subsequent milk yield and weight gain of offspring in subtropical does kidding in summer

R. Avilés,¹ J. A. Delgado,¹ J. A. Flores,¹ G. Duarte,¹ J. Vielma,¹ M. J. Flores,² K. Petrovski,³ L. A. Zarazaga,⁴ and H. Hernández^{1,6*} 

¹Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón 27054, Coahuila, Mexico

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros 27440, Coahuila, Mexico

³Davies Research Centre, School of Animal and Veterinary Sciences, The University of Adelaide, Roseworthy 5371, South Australia, Australia

⁴Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, Palos de la Frontera, 21810, Huelva, Spain

⁶Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón 27054, Coahuila, Mexico

ABSTRACT

In the present experiment, we tested the hypothesis that in does kidding in summer, melatonin administration during dry period is galactopoietic for the subsequent lactation and results in improved growth of their suckling kids. Twenty-five multiparous pregnant creole does were enrolled into a randomized complete block design during their dry period in the 49 d prepartum, and under natural long photoperiods around the summer solstice, pregnant does either received 2 subcutaneous ear implants (18 mg) of melatonin (MEL, $n = 10$) or served as nonimplanted controls (CONT, $n = 15$). During the first 14 wk of subsequent lactation (suckling and milking periods), MEL does yielded more milk than CONT does. Throughout subsequent lactation, milk composition was not affected by treatment. In MEL does, peripheral triiodothyronine levels peaked at 2 wk of lactation, remaining higher than in CONT does. The mean daily weight gain was higher in MEL compared with CONT kids and was also higher in males than females, and for males, was positively correlated with milk yield. The current data support our hypothesis that melatonin during the prepartum period is galactopoietic in suckling does.

Key words: lactation, suckling doe, grazing, goat kid

INTRODUCTION

Seasonal breeding mammals are sensitive to changes in day length. Thus, in small ruminants from temperate and subtropical latitudes, photoperiod is the main

environmental cue that modulates their annual pattern of reproductive activity (Ortavant et al., 1988; Duarte et al., 2010). However, natural oscillations in the photoperiod or alterations by artificial photoperiod can lead to changes in milk production in ruminants with seasonal or nonseasonal reproduction (Linzell, 1973; Dahl et al., 2000). For example, dairy cows and subtropical does exposed to artificially prolonged photoperiods increased their milk yields (Peters et al., 1981; Flores et al., 2011). In contrast, exposure to artificially shortened photoperiods during the dry period increased their milk yields in the subsequent lactation (Auchtung et al., 2005; Mabjeesh et al., 2007). In the 12 wk of subsequent lactation, greater milk yields have been reported for does that received artificial short days during the dry period than those that received long days (Mabjeesh et al., 2007). Furthermore, the circulating plasma triiodothyronine (T₃) concentrations were similar in both groups during the dry period, but were greater during lactation in goats exposed to artificial short days. These changes in T₃ plasma concentrations partially explain the higher metabolic state during lactation in those does. In fact, in this species, the main effects of T₃ are to increase the basal metabolic rate, to make more glucose available to cells, to stimulate protein synthesis, and to increase lipid metabolism (Todini et al., 2007), and therefore it is important as a component in the hormonal galactopoietic complex (Cowie et al., 1964).

One possible explanation by which exposure to shorter photoperiods during the dry period stimulates the subsequent lactation is the extended period of melatonin secretion by the pineal gland. Indeed, submitting female goats to artificial short photoperiods induces an increased duration of melatonin secretion (Deveson et al., 1990) and longer melatonin exposure significantly reduces plasma levels of prolactin (PRL; Auldust et al., 2007). Reduced PRL levels have been reported to promotes involution of mammary glands

Received April 20, 2019.

Accepted August 21, 2019.

*Corresponding author: hernandezhoracio@outlook.com

in dairy cows through an increase in the permeability of epithelial cell tight junctions, allowing paracellular transport between the interstitial space and milk (Ollier et al., 2013), and in addition, by augmenting mammary development during pregnancy (Wall et al., 2005). However, it was previously reported in dairy cows that administration of oral melatonin in their dry period did not affect involution of mammary gland (Ponchon et al., 2017). Similarly, in dairy cows administration of melatonin implants during the dry period did not stimulate the subsequent lactation as did short photoperiod (García-Ispierto et al., 2013; Lacasse et al., 2014). To our knowledge, to estimate effects of melatonin administration on the subsequent lactation using melatonin implants, no studies have been conducted in nursing animals. Furthermore, the majority of previous studies have been carried out in animals specialized for milk production receiving adequate nutrition. Nursing does with increased milk production had faster growing kids (García y González et al., 2017). Hence, if administration of melatonin during the dry period could affect the level of milk production, the mean daily weight gain of their offspring should be improved. In this study, we assessed the effect of implantation of exogenous melatonin (to simulate a short photoperiod) during their

dry period, on subsequent milk yields and growth of their kids.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in accordance with the Official Mexican Norm NOM-062-ZOO-1999 for technical specifications for the production, care, and use of laboratory animals (SAGARPA, 2001).

Location of the Study

The work was conducted in the Comarca Lagunera region, a subtropical area located in northern Mexico. In this semi-arid region, the caprine population in 2014 was estimated as 413,000 (SIAP, 2014). The natural photoperiod in this region ranges from 10 h, 19 min at the winter solstice to 13 h, 41 min at the summer solstice. The study was carried out from July to mid-December (when the natural photoperiod was from natural long days and decreasing afterward; Figure 1). In these local does, Duarte et al. (2010) determined that exposing the animals to artificial photoperiods of 14 and 10 h of light per day was interpreted as long and short days, respectively.

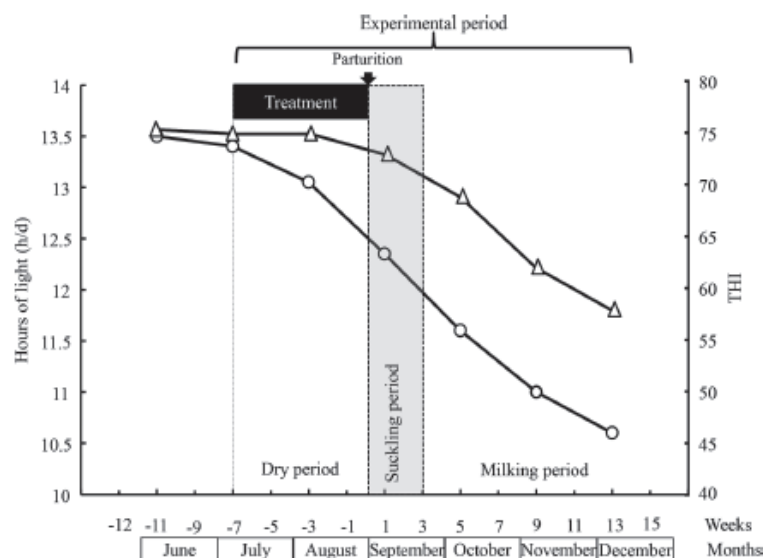


Figure 1. Experimental design showing the natural long days (○) and the temperature-humidity index (THI; △) prevailing during the summer solstice to which does were subjected. During the dry period, does from the control group received natural long days, and the second group was managed under the same conditions, but each doe was treated with 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; black bar). Suckling period is indicated by the gray area followed by the hand milking period.

General Conditions and Treatments

During pregnancy, 25 creole does were maintained under extensive grazing conditions utilizing uncultivated pastures. After parturition, in addition to grazing, each doe was supplemented in the morning with 0.3 kg of commercial concentrate containing 18% of CP (Generaleche, Purina, Irapuato, Mexico). A schematic representation of the experimental design used for this study is shown in Figure 1. At the start of dry period (49 d prepartum), does were blocked into 2 experimental groups based on BCS and the previous lactation milk yield.

Twenty-five pregnant does in their dry period were kept under naturally long days prevailing during the month of July, and remained under natural photoperiod to the end of the study in mid-December. From this group, 15 does were used as a control group (CONT). The remaining 10 does received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin, Melovine, CEVA Sante Animale, Libourne, France) and were included in the melatonin group (MEL). In does, these implants release melatonin for about 10 wk and raise daytime concentrations to about 100 pg/mL (Delgado et al., 2001). Implants were removed by means of a simple surgery immediately following parturition.

The first and last goat gave birth on August 23 and September 4, respectively, and the mean (\pm SEM) date of parturition for all does was August 31 (\pm 1.0 d). The kids remained with their respective dam during the first 21 d postpartum and suckled freely from the afternoon (when their dams return from grazing) until the following morning.

Estimation of Milk Yield During the Suckling Period

The milk yield during the suckling period was estimated using the suckle-weigh-suckle method (Ri-cordeau et al., 1960). Thus, 2 controlled suckling bouts were performed 12 h apart after emptying the udder of milk accumulated the previous day. To obtain the total milk yield for a 24-h period, at the termination of each controlled suckling, 2 IU of oxytocin (Oxilac-Proquivet, Guadalajara, Mexico) was injected into the jugular vein and does were hand-milked to harvest the residual milk; the weight of the residual milk was added to the corresponding difference in the BW of the kids.

Estimation of Milk Yield During the Milking Period

Once the kids were weaned, milk yield during milking period was assessed each week up to 3.5 mo of lactation by harvesting the milk by hand milking once

daily (0600 h). After hand-milking, 2 IU of exogenous oxytocin was injected into the jugular vein to extract any residual milk. The weight of this residual milk was added to that of the corresponding hand-milking.

The difference in milk collected between CONT and MEL does was calculated by computing the difference of average daily milk yield per doe between the 2 groups for each week, multiplied by 7, and all were added to obtain the total difference of milk yield between the 2 groups for the entire period of lactation. The general formula to calculate this difference can be summarized as follows:

$$\text{difference in MY} = \sum \text{wk 1 to 14 (MYMEL} - \text{MYCONT} \times 7),$$

where MY = milk yield, MEL = melatonin group, and CONT = control group.

Milk Composition

At each occasion when milk yield was estimated, a sample of 20 mL was taken from the hand milking and placed in pre-labeled sterile plastic bags, maintained on ice, and transported to the laboratory. Fat, protein, and lactose percentages in the milk samples were determined with a milk analyzer (Milkoscan 6000, Foss Electric, Hillerød, Denmark).

Plasma T3 Concentrations

Plasma T3 concentrations in 8 does from each group were determined at 5 and 6 wk after starting the dry period, then, at 2, 6, 10, and 14 wk of lactation. Blood samples were collected from each doe 2 h after the end of milking (before grazing), via jugular venipuncture, using a sterile syringe and tubes containing sodium heparin (30 μ L). Immediately after collection, samples were placed on ice and transported to the laboratory. Plasma was harvested by centrifugation at 2,000 \times g for 30 min at 4°C and stored at -15°C until analysis. Plasma T3 concentrations were determined by ELISA (EIA-4569, DRG Diagnostics, Marburg, Germany) following the manufacturer's protocol. The sensitivity of the assay was 0.60 ng/mL. The intra- and interassay coefficients of variation were 2.64 and 4.66%, respectively.

BW and Mean Daily Weight Gain of the Kids

In the CONT group goats gave birth to 9 female and 16 male kids, and this ratio was 9 and 8 in the MEL

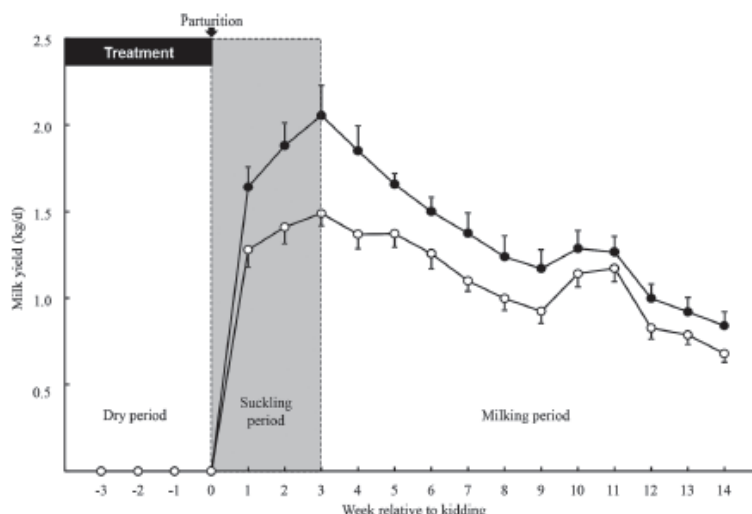


Figure 2. Least squares means (\pm SEM) of milk yield of does during suckling and milking periods. One group of does received the natural long days prevailing during the summer solstice during dry-off (control group; $n = 15$; \circ), and the second group was managed in the same conditions, but each doe received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; $n = 10$; \bullet). A treatment effect was observed for this variable ($P = 0.001$).

group. The kids were weighed at birth and then at 1, 2, and 3 wk using an electronic balance (40 kg capacity) with 0.005 kg precision and the mean daily weight gain calculated as follows:

$$(\text{weight at 3 wk} - \text{birth weight})/21 \text{ d.}$$

Statistical Analyses

Data from milk yields, milk quality, plasma T3 concentrations and the weight of the kids were analyzed using the LINEAR MIXED MODELS procedure of STATGRAPHICS plus version 5.1 (Statpoint, Herndon, VA). The procedure included the fixed effects of treatment (2 levels: CONT and MEL, the error term being goat within treatment), week of lactation (the residual error being the error term), their interaction, and the random effects of goat and residual. All dependent variables were included as repeated measures. Separate individual independent *t*-tests were also performed to compare point by point milk yields. The relationships between milk yield during the suckling period and the mean daily weight gain of the goat kids were estimated using the Pearson correlation procedure. The level of significance was set at $P < 0.05$.

RESULTS

Milk Yield

During the suckling period, mean milk yield was greater in MEL than in CONT does (Figure 2, treatment effect $P = 0.001$). The milk yield during this phase increased in both groups (week effect, $P = 0.035$). The effect of treatment was maintained during the milking period ($P = 0.001$) during which period milk yield was declining ($P = 0.001$). The calculated difference in total milk yield per doe during all lactation (from wk 1 to 14) for the MEL group was 30.6 ± 1.6 kg higher than for the CONT group.

Milk Composition

During the entire period studied, mean milk contents of fat, protein, and lactose were affected by week of lactation ($P = 0.001$), although no significant effects of treatment were observed (Figure 3).

Plasma T3 Concentrations

Plasma T3 concentrations were similar in both groups at 5 wk after the onset of dry period (Figure 4,

$P > 0.05$). However, 2 wk before parturition and during lactation, T3 concentrations were greater in MEL than in CONT does (main effect of treatment, $P = 0.046$).

BW and Mean Daily Weight Gain of Kids

Age had an effect of on kid weight (week effect, $P = 0.001$; Figure 5, left). At age of 21 d, the mean BW of the male kids from MEL does was greater than that of female kids from the same group and from goat kids (males and females) from the CONT does. An interaction (treatment \times age) on BW of goat kids was detected ($P < 0.001$). The covariate analysis reveals that the sex of the kids had an effect ($P < 0.001$) on the BW throughout the study. The overall mean daily weight gain was affected by treatment, thus being greater for MEL than CONT goat kids ($P < 0.001$, Figure 5, right).

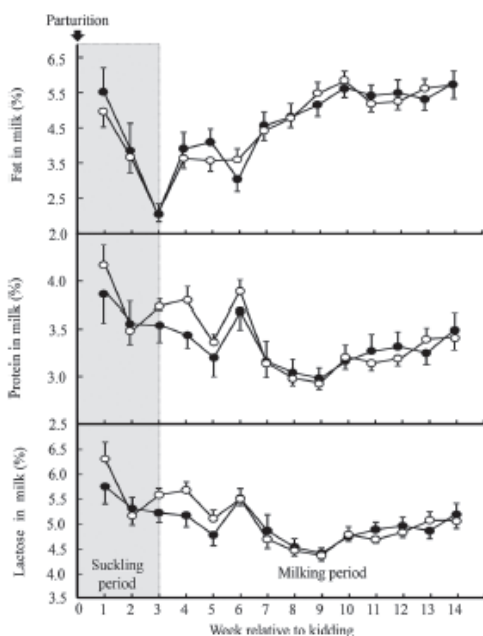


Figure 3. Least squares means (\pm SEM) of percentage contents of fat (upper), protein (middle), and lactose (bottom) in milk from does that received the natural long days prevailing during the summer solstice at dry period (control group; \circ ; $n = 15$). The second group was managed in the same conditions, but each doe received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; \bullet ; $n = 10$). No differences ($P > 0.05$) were observed in milk constituents between treatments; only milk components were affected by week ($P < 0.001$ for each individual milk constituent).

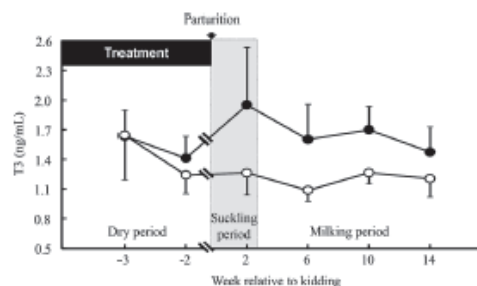


Figure 4. Pattern of LSM (\pm SEM) plasmatric triiodothyronine (T3) concentrations from goats that received the natural long days prevailing during the summer solstice during the dry period (control group; $n = 15$; \circ). The second group was managed in the same conditions, but each doe received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; $n = 10$; \bullet). No differences ($P > 0.05$) were observed in plasma T3 concentrations at any stage of the study, but the effect of treatment was significant ($P = 0.04$).

Correlations Between Dam's Mean Milk Yield and Daily Weight Gain of Kids

No correlation between dam's mean milk yield over the first 3 wk with the daily weight gain of goat kids was found ($r = 0.2$, $P > 0.05$, $n = 42$). However, when considering weight gain of males only, a positive correlation with mean milk yield from their dams was observed ($r = 0.4$, $P = 0.05$, $n = 24$; Figure 6).

DISCUSSION

Results obtained in this study agreed with studies in ruminants subjected during the dry period to an artificial short-day photoperiod (Auchtung et al., 2005; Mabjeesh et al., 2007, 2013) and yielded more milk during the subsequent lactation than animals submitted to an artificially long-day photoperiod. Therefore, we hypothesize that our results suggest that melatonin treatment in does did mimic the perception of short days and lead to the stimulatory effect on milk production in the subsequent lactation.

In the present study, this effect was probably observed as the melatonin implants during the dry period could have reduced the PRL levels as in does subject to short-day photoperiods (Mabjeesh et al., 2007). Then, the reduced PRL levels would have stimulated mammary gland involution and resulted in a higher production of milk during the subsequent lactation. The effects of reduced PRL on mammary involution and milk production in the subsequent lactation were previously observed in rats and dairy cows (Travers et al., 1996; Ollier et al., 2013). The exposure of dairy cows

MELATONIN AND MILK YIELD IN SUCKLING GOATS

11541

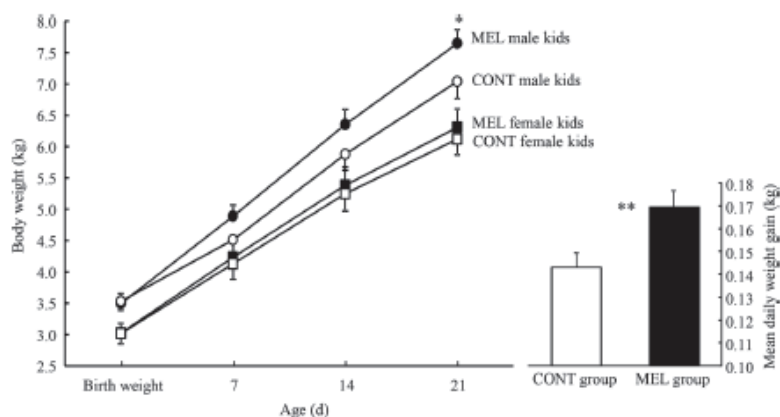


Figure 5. Least squares means (\pm SEM) of changes in BW of kids (male and females) from does that received the natural long days prevailing during the summer solstice at the dry-off (CONT group; $n = 25$; empty markers). The second group was managed in the same conditions, but each doe received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; MEL group; $n = 17$; full markers). There was a significant effect of time as well as an interaction of time \times group ($P < 0.001$ and $P < 0.01$, respectively) on BW of the kids. The right panel shows the mean daily weight gain when taking into account all kids from both groups. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

to a short-day photoperiod during the dry period also reduces plasma PRL concentrations, but PRL receptor expression increases in many tissues, including the liver, mammary gland, and lymphocytes (Auchtung et al., 2003, 2005). Thus, the high melatonin levels and low PRL levels may have resulted in enhanced lactogenesis, activating a larger number of mammary secretory cells or increasing their secretory capacity.

Heat stress during the dry period is another environmental factor that could affect the subsequent milk yield in does from our study. The recorded THI indicated that our pregnant does were under heat stress during their dry period. However, both groups of does were under the same heat stress effect. In other ruminant species heat stress has been reported to modify milk yield in the subsequent lactation (Tao et al., 2012; Fabris et al., 2019). In fact, in dairy cattle cooling during the entire dry period results in a higher milk yield and exposure to heat stress at any time during the dry period reduces milk, protein, and lactose yields in the subsequent lactation. Furthermore, heat stress during the dry period reduces the gestation length and calf birth weight. These effects are probably related to a reduction in DMI by the pregnant cow (Fabris et al., 2019). However, Mabjeesh et al. (2013) confirmed that under heat stress conditions during the dry period, goats under a short-day photoperiod produce more milk during subsequent lactation than goats maintained under a long-day photoperiod. It has been proposed that exposure to short-day photoperiod during dry period

can be used to as a strategy to reduce the carryover effect of heat stress observed during the subsequent lactation (Mabjeesh et al., 2013).

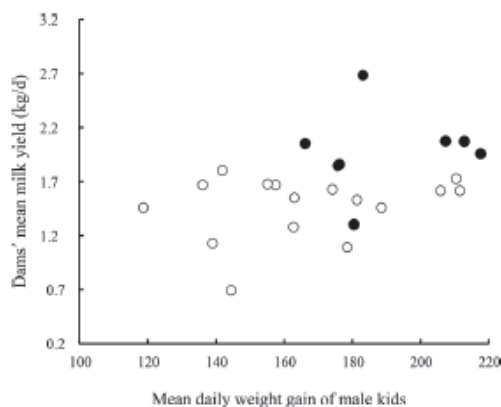


Figure 6. Relationships between mean daily weight gain of male kids and the mean milk yield for their dams exposed to the natural long days during their dry periods prevailing during the summer solstice (control group; $n = 16$; \circ). In the second group of male kids, dams were under in the same conditions during the dry period, but each doe received 2 subcutaneous ear melatonin implants (18 mg of melatonin; $n = 8$; \bullet). A significant positive correlation ($r = 0.4$, $P = 0.05$) was observed.

Results obtained in this study in nursing does disagree with previous studies in dairy cows, where administration of exogenous melatonin during the dry period, either orally or by means of implants, did not affect the milk yield in the subsequent lactation (García-Ispuerto et al., 2013; Lacasse et al., 2014; Morini et al., 2018). Several aspects should be considered for this discrepancy. Possible species differences could explain the discordant response. Moreover, the sensitivity to the effect of exogenous melatonin may differ between cows and does. For example, in dairy cows during dry period melatonin implants moderately suppress prepartum PRL concentration but do not affect milk production (García-Ispuerto et al., 2013). It is thought that this treatment cannot be used to mimic effects on milk production by exposure to a short-day photoperiod (Lacasse et al., 2014). By contrast, it is well documented that for goats, treatment with exogenous melatonin decreases PRL levels (Prandi et al., 1987; Hashizume et al., 2013), which indicates a high sensitivity to treatment with this hormone. For this reason, in male goats from a local breed, the treatment with artificial long days followed by application of exogenous melatonin induces an intense sexual activity during the natural nonbreeding season (Delgadillo et al., 2001).

In this study, in the lactation following melatonin implant treatment does in their dry period, elevated peripheral T3 levels were recorded. However, this was unlikely due to a direct effect of the melatonin implant on the T3, rather being an indication of the elevated metabolism in these does. The higher metabolic activity was probably required for sustaining the increased milk production. This is similar to increased T3 levels observed in Saanen goats exposed to a short-day photoperiod during the dry period, which also yielded more milk than those exposed to a long-day photoperiod (Mabjeesh et al., 2007). Thyroid hormones play an important role in the metabolic regulation of lactation and therefore are part of the galactopoietic hormone complex (Cowie et al., 1980). In fact, in does, the main effects of T3 are to increase the basal metabolic rate, to make more glucose available to cells, to stimulate protein synthesis, and to increase lipid metabolism (Todini et al., 2007).

The higher milk yield in MEL compared with CONT does resulted in some increase in the daily weight gain of their offspring. Interestingly, the significant increase in weight gain was observed only for male kids. Male kids grow and gain weight faster than female kids (Mavrogenis et al., 1984). This sex effect observed in the present study is parallel to those obtained in a recent study by Flores et al. (2018). These authors observed that treatment with artificial long days to goat kids from d 4 up to 27 d of age induces a greater daily

weight gain in males than in females. Similarly, Pehlivan (2019) found that, only in males and not in female kids, IGF-I concentrations (which are related to their growth) are positively correlated with BW, withers height, rump height, body length, and chest depth. In our study, the positive correlation between mean milk yields of dams with the daily weight gain in male kids (Figure 6) supports previous observation that the BW gain of kids is directly related to the level of their dam's milk yield (García y González et al., 2017).

In this study, the tested milk components (fat, protein, and lactose) did not differ between the 2 groups. The absence of milk composition changes caused by melatonin administration during the dry period is consistent with what was reported in goats and dairy cows that were treated with a short-day photoperiod (Auchtung et al., 2005; Mabjeesh et al., 2007).

Undoubtedly, the use of a short-day photoperiod during dry period could be used as a husbandry procedure to stimulate lactation. In addition, the present results support the role played by the greater time of melatonin secretion on the stimulation of subsequent lactation and, in turn, on the weight gain of their offspring.

CONCLUSIONS

We concluded that melatonin administration to does during the dry period resulted in a galactopoietic response in the subsequent lactation and that this effect improved the mean daily weight gain of their suckling kids. It is important to emphasize that the objectives of this study were to determine if, in the does, the milk production could be affected by treatment with melatonin during the dry period and the possible effect on the growth of the offspring.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Jesús Abasta for facilitating the use of their flock and farm where the present study was performed. The authors express thanks to Roy Kirkwood (Davis RC, Adelaide, Australia) for his constructive comments of this manuscript. H. Hernández extends infinite thanks to Pascal Poindron (INRA, Tours, France) for his doctoral training and friendship. He also extends his thanks to Dolores López and Esther Peña from UAAAN for the excellent secretarial assistance. The authors also thank Gumaro Treviño, Carmen Avilés, Erick Ramón Guzmán, Andrés Sánchez, Pablo Sifuentes, and Erika Grimaldo from UAAAN for the care of the animals and the technical assistance during the study. R. Avilés was supported by a grant from CONACyT (CDMX, México) during his doctoral studies. This research was conducted as part of the CA-

BRAA International Associated Laboratory between Mexico (UAAAN-CIRCA) and France (INRA-PRC).





REFERENCES

- Auchtung, T. L., P. E. Kendall, J. L. Salak-Johnson, T. B. McFadden, and G. E. Dahl. 2003. Photoperiod and bromocriptine treatment effects on expression of prolactin receptor mRNA in bovine liver, mammary gland and peripheral blood lymphocytes. *J. Endocrinol.* 179:347-356.
- Auchtung, T. L., A. G. Ruis, P. E. Kendall, T. B. McFadden, and G. E. Dahl. 2005. Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:121-127.
- Auldust, M. J., S. A. Turner, C. D. McMahon, and C. G. Prosser. 2007. Effects of melatonin on the yield and composition of milk from grazing dairy cows in New Zealand. *J. Dairy Res.* 74:52-57.
- Cowie, A. L., L. A. Forsyth, and I. C. Hart. 1980. *Control of Lactation*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Cowie, A. T., G. S. Knaggs, and J. S. Tindal. 1964. Complete restoration of lactation in the goat after hypophysectomy. *J. Endocrinol.* 28:267-279.
- Dahl, G. E., B. A. Buchanan, and H. A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 83:885-893.
- Delgadillo, J. A., E. Carrillo, J. Morán, G. Duarte, P. Chemineau, and B. Malpoux. 2001. Induction of sexual activity of male Creole goats in subtropical northern Mexico using long days and melatonin. *J. Anim. Sci.* 79:2245-2252.
- Deveson, S. L., J. Howarth, J. Arendt, and I. A. Forsyth. 1990. Sensibility of goats to a light pulse during the night as assessed by suppression of melatonin concentration in plasma. *J. Pineal Res.* 8:169-177.
- Duarte, G., M. P. Nava-Hernández, B. Malpoux, and J. A. Delgadillo. 2010. Ovarian activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.* 120:65-70.
- Fabris, T. F., J. Laporta, A. L. Skibiel, F. N. Corra, B. D. Senn, S. E. Wohlgenuth, and G. E. Dahl. 2019. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102:5647-5656.
- Flores, M. J., J. A. Flores, G. Duarte, J. Vielma, J. A. Delgadillo, and H. Hernández. 2018. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases body weight in goat kids born in the autumn. *Small Rumin. Res.* 169:181-185.
- Flores, M. J., J. A. Flores, J. M. Elizundia, A. Mejía, J. A. Delgadillo, and H. Hernández. 2011. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *J. Anim. Sci.* 89:856-862.
- García-Ispuerto, I., A. Abdelfatah, and F. López-Gatius. 2013. Melatonin treatment at dry-off improves reproductive performance postpartum in high-producing dairy cows under heat stress conditions. *Reprod. Domest. Anim.* 48:577-583.
- García y González, E., J. A. Flores, J. A. Delgadillo, T. González-Quirino, I. G. Fernández, A. Terrazas, J. Vielma, E. Nandayapa, E. S. Mendieta, J. Loya-Carrera, M. J. Flores, and H. Hernández. 2017. Early nursing behaviour in ungulate mothers with hider offspring (*Capra hircus*): Correlations between milk yield and kid weight. *Small Rumin. Res.* 151:59-65.
- Hashizume, T., T. Yasgashi, J. Jin, K. Sawai, F. Fülöp, and G. M. Nagy. 2013. Effects of melatonin on salivolin-induced prolactin secretion in goats. *Anim. Sci. J.* 84:334-340.
- Lacasse, P., C. M. Vinet, and D. Petitclerc. 2014. Effect of prepartum photoperiod and melatonin feeding on production and prolactin concentration in dairy heifers and cows. *J. Dairy Sci.* 97:3589-3598.
- Linzell, J. L. 1973. Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goat. *J. Physiol.* 230:225-233.
- Mabjeesh, S. J., O. Gal-Garber, and A. Shamay. 2007. Effect of photoperiod in the third trimester of gestation on milk production and circulating hormones in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 90:699-705.
- Mabjeesh, S. J., C. Sabastian, O. Gal-Garber, and A. Shanny. 2013. Effect of photoperiod and heat stressing the third trimester of gestation on milk production and circulating hormones in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 96:189-197.
- Mavrogenis, A. P., A. Constantinou, and A. Louca. 1984. Environmental and genetic causes of variation in production traits of Damascus goats. 1. Pre-weaning and post-weaning growth. *Anim. Prod.* 38:91-97.
- Morini, G., M. Pittella, A. Poli, and F. De Rensis. 2018. Effect of melatonin administration prior to calving on milk secretion in the next lactation in dairy cows. *Vet. Stanica.* 2:85-89.
- Ollier, S., X. Zhao, and P. Lacasse. 2013. Effect of prolactin-release inhibition on milk production and mammary gland involution at drying-off in cows. *J. Dairy Sci.* 96:335-343.
- Ortavant, R., F. Bocquier, J. Pelletier, J. P. Ravault, J. Thimonier, and P. Volland-Nail. 1988. Seasonality of reproduction in sheep and its control by photoperiod. *Aust. J. Biol. Sci.* 41:69-85.
- Pehlivan, E. 2019. Relationship between insulin-like growth factor-1 (IGF-1) concentrations and body trait measurements and climatic factors in prepubertal goat kids. *Arch. Tierzucht* 62:241-248.
- Peters, R. R., L. T. Chapin, R. S. Emery, and H. A. Tucker. 1981. Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cows to supplemented light. *J. Dairy Sci.* 64:1671-1678.
- Ponchon, B., P. Lacasse, S. Ollier, and X. Zhao. 2017. Effects of photoperiod modulation and melatonin feeding around drying-off on bovine mammary gland involution. *J. Dairy Sci.* 100:8496-8506.
- Prandi, A., G. Romagnoli, F. Chiesa, and C. Taranini. 1987. Plasma prolactin variations and onset of ovarian activity in lactating anestrus goats given melatonin. *Anim. Reprod. Sci.* 13:291-297.
- Ricordeau, G., R. Bocard, and R. Denamur. 1960. Mesure de la production laitière des brebis pendant la période d'allaitement. *Ann. Zootech.* 9:97-120.
- SAGARPA. 2001. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 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. June 18, 2001.
- SIAP (Sistema de información agropecuaria y pesquera). 2014. SAGARPA: Secretaría de agricultura, ganadería desarrollo rural pesca y alimentación. Accessed Dec. 5, 2017. <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/caprino.pdf>
- Tao, S., A. P. A. Monteiro, I. M. Thompson, M. J. Hayden, and G. E. Dahl. 2012. Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:7128-7136.
- Todini, L., A. Malfatti, A. Valbonesi, M. Trabalza-Marinucci, and A. Debenedetti. 2007. Plasma total T3 and T4 concentrations in goats at different physiological stages, as affected by the energy intake. *Small Rumin. Res.* 68:285-290.
- Travers, M. T., M. C. Barber, E. Tonner, L. Quarrie, C. J. Wilde, and D. J. Flint. 1996. The role of prolactin and growth hormone in the regulation of casein gene expression and mammary cell survival: Relationships to milk synthesis and secretion. *Endocrinology* 137:1530-1539.
- Wall, E. H., T. L. Auchtung-Montgomery, G. E. Dahl, and T. B. McFadden. 2005. Short-Day photoperiod during the dry period decreases expression of suppressors of cytokine signaling in mammary gland of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3145-3148.

ORCID

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

Artículo 2

Responder  Eliminar  No deseado  Bloquear 

RV: RV: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Para: Esther Peña Revuelta <estherpr2006@hotmail.com>, RICARDO AVILES <ricardo7900aviles@hotmail.com>
Asunto: RV: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

De: Dr. Enrique Márquez Ríos <biotecnia@ciencias.uson.mx>
Enviado: sábado, 30 de noviembre de 2019 02:12 p. m.
Para: hernandezhoracio@hotmail.com
Asunto: [BIOTECNIA] Acuse de recibo de envío

Dr Horacio ANTONIO Hernández:

Gracias por enviar el manuscrito, "Practicar el periodo seco en cabras bajo condiciones de pastoreo, incrementa la producción láctea durante la lactancia subsecuente y por ello la cantidad de sus componentes" a Biotecnia. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/author/submission/1168>
Nombre de usuario/a: hernandezhoracio66

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para

1 **Practicar el periodo seco en cabras bajo condiciones de pastoreo, incrementa la producción**
2 **láctea durante la lactancia subsecuente y por ello la cantidad de sus componentes**

3 Practice the dry period in goats under grazing conditions, increase milk production during
4 subsequent lactation and therefore the quantity of its components

5 Ricardo Avilés Ruiz^{1,2}, José Alberto Delgadillo Sánchez¹, José Alfredo Flores¹, Manuel de Jesús
6 Flores Nájera³, Alexis Adrián Vargas Cruz¹, Oscar Barrón Bravo², Andrés Sánchez Hernández¹,
7 Horacio Hernández Hernández^{1*}

8 ¹ Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad
9 Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez. C.P. 27054. Torreón,
10 Coahuila, México.

11 ² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental
12 Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc carretera Tampico Mante kilómetro 55. C.P. 89610. Altamira,
13 Tamaulipas, México.

14 ³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental
15 La Laguna, Matamoros, Boulevard José Santos Valdez. C.P. 27440. Matamoros, Coahuila,
16 México.

17

18

19 *Autor para correspondencia: hernandezhoracio@outlook.com

20 |

RESUMEN

21

22 El objetivo del presente fue determinar si el practicar el periodo seco en cabras bajo
23 condiciones de pastoreo incrementa la producción láctea y la cantidad de los componentes
24 químicos de la leche. En el grupo de cabras sin periodo seco los animales se mantuvieron
25 diariamente en ordeño manual hasta la ocurrencia del parto (SPS; n = 9). En las cabras del grupo
26 con periodo seco se practicó el secado al suspender el ordeño manual desde 50 días antes del parto
27 (CPS; n = 11). Se utilizó un diseño factorial con un modelo lineal de efectos fijos para evaluar la
28 producción de leche y la cantidad de sus componentes en respuesta al tratamiento, el factor tiempo
29 y la interacción tiempo×tratamiento. Existió un efecto del tratamiento sobre la producción de leche
30 durante la lactancia, por lo que ésta fue mayor para el grupo CPS que para el grupo SPS ($P < 0.001$).
31 De igual manera la cantidad de componentes de la leche mostró un efecto significativo del
32 tratamiento ($P < 0.001$). Se concluye que en cabras lactantes mantenidas en condiciones de pastoreo
33 el practicar el periodo seco promueve una mayor producción de leche en la subsiguiente lactancia
34 y por ello también una mayor cantidad de sus contenidos.

35 **Palabras clave:** Periodo seco, Cabras, Lactancia, producción de leche, pastoreo.

36

37

ABSTRAC

38 The objective of the present was to investigate if the practice of a dry-off period in does
39 maintained under grazing conditions increases the milk yield and therefore the quantity of their
40 contents. In the does without dry-off females were hand milked until parturition (SPS; n = 9). Does
41 from dry-off period hand milking was stopped from 50 days previous occurrence of parturition
42 (CPS; n = 11). A factorial design using a lineal model with fixed effects was used to compare the
43 milk yield and the quantity of their main contents in response to treatment, the time effect and the
44 time × treatment interaction. There was a treatment effect on the milk yield during lactation and
45 therefore it was higher in CPS group than SPS group ($P < 0.001$). In the same way, in the quantity
46 of the milk contents the statistical model shown a treatment effect ($P < 0.001$). It was concluded that
47 the practice the dry period in goats under grazing conditions, increase milk production during
48 subsequent lactation and therefore the quantity of its components.

49 **Keywords:** Dry-off period, goats, lactation, milk yield, grazing.

50

INTRODUCCIÓN

52

53 De manera global, la mayoría de los sistemas de pastoreo extensivos caprinos están situados
54 en zonas áridas o semiáridas (Albenzio *et al.*, 2016). En México, existen tres regiones que practican
55 la caprinocultura (noreste, centro y sureste) y esta actividad proporciona los ingresos a los
56 productores en estas regiones (Montaldo *et al.*, 2010). Sin embargo, muchas de las unidades de
57 producción se caracterizan por tener un bajo nivel socioeconómico, escasos recursos naturales
58 como el agua, y los animales son mantenidos en una vegetación nativa que presenta variaciones en
59 cantidad y calidad nutricional a lo largo del año (Baraza *et al.* 2008). La Comarca Lagunera ubicada
60 en la región noreste de México, posee un inventario poblacional de 416,820 caprinos y una
61 producción de leche anual de 58,964,000 litros (SIAP, 2017).

62 En esta región de manera natural, las hembras adultas son preñadas en el mes de junio-julio,
63 cuando los machos inician su periodo de actividad sexual. Una vez que las cabras son preñadas se
64 desarrolla la gestación sin que el productor practique el periodo seco hacia el final de la gestación
65 en las hembras y la mayoría de ellas presenten un secado natural paulatino (Escareño *et al.*, 2011).
66 Sin embargo, en rumiantes mantenidos en un sistema intensivo está bien conocido que cuando se
67 practica el secado, ello resulta en una mayor producción de leche en la lactancia siguiente (Caja *et*
68 *al.*, 2006). El secado, es el periodo en el que las células alveolares dañadas o senescentes del tejido
69 mamario son remplazadas para asegurar una producción de leche eficientemente en el periodo
70 lactacional subsecuente (Capuco *et al.*, 1997). Por ello, en cabras con un potencial lechero elevado
71 y a las que se les practicó el periodo seco de 50 días produjeron más leche en la lactancia
72 subsecuente que en las cabras que no se les aplicó el sacado (Salama *et al.*, 2005). Incluso, se ha

73 demostrado que en cabras lecheras mantenidas bajo un sistema semi-intensivo, que con solo 27
74 días de sacado es suficiente para mejorar la calidad del calostro y leche (Caja *et al.*, 2006).

75 Hasta hoy, existe escasa información del efecto que tiene el practicar el periodo seco sobre
76 la producción de leche en la lactancia subsecuente en animales mantenidos bajo condiciones de
77 pastoreo. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar si el practicar el periodo seco en
78 cabras bajo condiciones de pastoreo incrementa la producción y por consecuencia la cantidad de
79 los componentes químicos de la leche.

80 MATERIALES Y METODOS

81 Los procedimientos experimentales reportados en el artículo actual estaban de acuerdo con
82 la Norma Oficial Mexicana para las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de
83 animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999; Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo
84 Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2001).

85 Localización del estudio

86 El estudio se realizó en la parte subtropical norte de México, en la región de la Comarca
87 Lagunera (Estado de Coahuila; latitud 26 ° N; 1100 msnm). Las temperaturas máximas y mínimas
88 promedio registradas durante el estudio fueron 24.6 ° C y 6.0 ° C, respectivamente.

89 Animales, condiciones de manejo y diseño experimental

90 En el presente estudio se utilizaron 20 cabras locales multiparas encastadas (*Capra hircus*).
91 Esta especie de cabras se deriva de las razas española Granadina, Murciana y Malagueña, con
92 cruza de las razas Alpina, Saanen y Anglo-Nubian (Duarte *et al.* 2008). Todas las cabras se
93 encontraban bajo un sistema de pastoreo extensivo. Estas fueron pastoreadas diariamente de 10:00
94 a 13:00 horas y de 15:00 a 18:00 horas y permanecían en corrales durante la noche. Las cabras se

95 alimentaron de la vegetación nativa y se complementaron con 0.2 kg de concentrado comercial el
96 cual contenía 18% de PC (Generaleche, Purina ®, Irapuato, México). Aproximadamente a 50 días
97 previos a la fecha promedio del parto se conformaron 2 grupos con base al número de fetos
98 detectados por ultrasonografía transrectal, la producción de leche y la condición corporal. En el
99 grupo de cabras sin periodo seco los animales se mantuvieron diariamente en ordeño manual hasta
100 la ocurrencia del parto (SPS; n = 9). En cambio, las cabras del grupo con periodo seco se practicó
101 el secado al suspender el ordeño manual hasta el parto (CPS; n = 11). En la última ordeña a estas
102 cabras se les administró vía intramamaria 5 ml de desecador comercial (Cepravin Intervet®
103 Kenilworth, USA) para prevenir infecciones.

104 La fecha promedio (\pm SEM) del parto para todas las cabras fue el 31 de agosto (\pm 1.0 día).
105 Las crías se mantuvieron con su respectiva madre durante los primeros 21 días post-parto. Ellas
106 fueron amamantadas libremente desde que sus madres regresaban del pastoreo hasta la mañana
107 siguiente. Después del retiro de las crías, las cabras se ordeñaron una vez al día (07:00 horas) hasta
108 el final del experimento.

109 **Variables evaluadas**

110 **Estimación de la producción de leche durante el parto**

111 Durante este periodo y solo en las cabras del grupo SPS se midió de manera semanal la
112 cantidad de leche obtenida en 24 h. La leche obtenida en el ordeño se pesó en una báscula
113 electrónica con una capacidad de 40 kg y una precisión de 0.005 kg y esta cantidad fue registrada
114 en un formato en papel.

115 **Estimación de la producción de leche durante el periodo de amamantamiento**

116 La producción de leche durante el periodo de amamantamiento para ambos grupos fue
117 estimada por el método de la diferencia de peso de las crías antes y después de un amamantamiento
118 controlado (Ricordeau *et al.*, 1960). Este consistió en el vaciado completo de la ubre a las 19:00
119 horas y la (s) cría (s) se separaron de su madre toda la noche. Al día siguiente a las 07:00 horas se
120 pesó a la cría vacía, después de esto, se le permitió un amamantamiento controlado de 3 min y la
121 (s) cría (s) nuevamente fueron pesadas. Por diferencia de pesos de la (s) cría (s) se obtuvo la
122 producción láctea de la madre. Finalmente se administró 2 UI de oxitocina exógena (OT; Oxilac-
123 Proquivet, Guadalajara, México) para extraer la leche residual, la cual se sumó a la leche obtenida
124 por la diferencia de pesos de la cría.

125 **Estimación de la producción de leche durante el periodo de ordeño**

126 Una vez que las crías fueron separadas definitivamente de sus madres, la producción de
127 leche durante el periodo de ordeño fue evaluada cada semana por 2.5 meses de lactación. Así, en
128 cada ocasión se registró la cantidad de leche obtenida en la ordeña manual. Al final del ordeño, se
129 administró por vía IV de la yugular 2 UI de OT exógena, e inmediatamente se procedió a ordeñar
130 para extraer la leche residual, la cual se sumó a la leche obtenida en el ordeño.

131 **Cantidad obtenida de los componentes de la leche**

132 En cada ocasión cuando la producción de leche fue estimada, se tomó una muestra de leche
133 de 20 mL de la ordeña manual la cual se recolectó en bolsas plásticas estériles etiquetadas,
134 manteniéndolas en refrigeración y fueron transportadas a laboratorio. Utilizando un equipo
135 automatizado (Milkoscope Expert®, Scope Electric. Ratisbona, Alemania), se realizó el análisis de
136 las muestras de leche y se obtuvieron los porcentajes de sólidos totales, grasa, lactosa y proteína.

137 Para calcular en gramos/día los porcentajes de estos componentes se utilizó una regla de tres simple
138 directa, considerando la producción de leche de cada cabra como el 100%.

139 **Condición corporal (CC)**

140 La CC se midió cada semana durante todo el estudio mediante la técnica descrita por
141 Walkden-Brown *et al.* (1997), la cual consiste en estimar por palpación la cantidad de tejido
142 muscular y graso de la región lumbar del animal. Utilizando una escala de valores que van del 1 a
143 4 puntos con una precisión de 0.5.

144 **Mediciones de la ubre**

145 En las cabras de ambos grupos las mediciones externas de la ubre se registraron 1 semana
146 antes de la fecha promedio esperada del parto. Se utilizó la técnica descrita por Emediato *et al.*
147 (2008) para medir el ancho, profundidad y circunferencia de la ubre antes del ordeño en el grupo
148 SPS.

149 **Cálculo de variables y análisis estadístico**

150 Con los datos individuales de producción de leche de cada cabra obtenidos cada semana en
151 ambos periodos (amamantamiento y ordeña) se calculó el promedio total durante el tiempo de
152 estudio. Con cada uno de estos datos se calculó el promedio ponderado de cada grupo y este se
153 comparó con una *t* de student independiente. Se utilizó un diseño factorial con un modelo lineal de
154 efectos fijos para evaluar la producción y los compuestos químicos de la leche en respuesta al factor
155 tratamiento (dos niveles: SPS y CPS), el factor tiempo (14 niveles, correspondientes a las semanas
156 de medición durante la segunda lactancia del experimento) y la interacción tiempo×tratamiento en
157 el periodo amamantamiento y ordeña.

158 El modelo usado fue:

159 $Y_{ijk} = \mu + \text{tratamiento}_i + \text{tiempo}_j + \text{tratamiento} \times \text{tiempo}_{ij} + e_{ijk}$, donde:

160 Y_{ijk} es el ijk ésima observación de la variable medida (producción de leche, y componentes
161 químicos), μ es la media general, tratamiento_i es el efecto del i ésimo tratamiento, tiempo_j es el
162 efecto de la j ésima semana de medición, $\text{tratamiento} \times \text{tiempo}_{ij}$ es la interacción entre tratamiento
163 y tiempo, y e_{ijk} representa el error aleatorio asociado a cada observación.

164 Las variables de las mediciones de la ubre, el peso de las crías y su tasa de crecimiento se
165 compararon entre grupos con una t de student independiente. Todos los análisis se llevaron a cabo
166 utilizando el paquete estadístico Statgraphics plus versión (Statpoint, Herndon, VA). El nivel de
167 significancia se estableció a $P < 0.05$.

168 RESULTADOS Y DISCUSION

169 Los presentes resultados confirman que en cabras mantenidas en pastoreo extensivo el
170 inducir un periodo de descanso de la ubre o periodo seco repercute de manera importante sobre la
171 producción de leche en la lactancia subsecuente. En efecto, como se muestra en la Figura 1, la
172 producción de leche varió a través del tiempo para ambos grupos ($P < 0.001$). Existió un efecto del
173 tratamiento sobre la producción de leche durante el periodo de amamantamiento y de ordeño, por
174 lo que ésta fue mayor para el grupo CPS que para el grupo SPS ($P < 0.001$). Los análisis estadísticos
175 demostraron que la interacción tratamiento \times tiempo no fue significativa ($P > 0.05$). Los resultados
176 presentados en la Tabla 1, refuerzan lo anterior, ya que se observan hasta el periodo evaluado
177 porcentajes de pérdidas tanto para la producción como para sus componentes químicos. Estos
178 resultados concuerdan con los obtenidos por Caja *et al.* (2006) quienes observaron que en las cabras
179 con alto potencial lechero mantenidas en un sistema semi-intensivo y a las que se les omitió
180 practicar un periodo de sacado produjeron menos leche que a las que se les practicó dicho periodo
181 seco. Además, este mismo equipo de investigadores demostró que en la cabra Murciano-Granadina

182 que de manera espontanea se secaron por solo 21 dias, su produccion de leche subsecuente no
183 difirió de aquellas que fueron secadas por 50 dias.

184 **INSERTAR FIGURA 1 Y TABLA 1 AQUI**

185 La producción por día de los diferentes contenidos evaluados en la leche mostró variaciones
186 a través del tiempo ($P<0.001$), como se muestra en la Figura 2. En ella, además se observa que la
187 cantidad por día en todos los componentes fue mayor en las cabras del grupo CPS que en las del
188 grupo SPS, sobre todo en el periodo que permanecieron las crías con sus madres. En efecto, el
189 modelo estadístico indicó en los cuatro componentes un efecto significativo del tratamiento
190 ($P<0.001$). Estos resultados aportan información novedosa en los rumiantes en general.
191 Efectivamente, no se tiene literatura acerca de cómo los componentes químicos de la leche se
192 disminuyen por efecto de la práctica de no del secado, sobre todo en la lactancia temprana. Estos
193 resultados son congruentes con los reportados en cabras por Caja *et al.* (2006), quienes observaron
194 que los componentes del calostro producido estuvieron en menor cantidad en las hembras a las que
195 no se les practicó el secado que en aquellas que se sometieron al secado. Del mismo modo, en las
196 vacas Holstein italianas, Mantovani *et al.* (2010) no encontró diferencia en el porcentaje de grasa
197 y proteína contenida en la leche de vacas que fueron secadas por 50 días y de aquellas que no
198 fueron secadas. Sin embargo, al igual que en el presente estudio, como la producción de leche fue
199 mayor en las vacas que fueron secadas, ello resultaría en mayor producción en gramos/día de esos
200 componentes de la leche. Sin embargo, estudios en los cuales se establecieron diferentes duraciones
201 del periodo seco en vacas, indicaron que a menor tiempo de secado se obtienen menores cantidades
202 de los componentes de la leche que a mayor tiempo de secado (Sorensen y Enevoldsen, 1991).

203 **INSERTAR FIGURA 2 AQUI**

204 Las mediciones de la profundidad, la circunferencia y el ancho de la ubre evaluadas a 1
205 semana antes del parto se muestran en la Tabla 1. En esta tabla es claro el efecto que ejerce el
206 ordeño continuo (grupo SPS) sobre esas mediciones, ya todas fueron mayores en el grupo CPS; sin
207 embargo, solo la profundidad de la ubre alcanzó significancia ($P < 0.05$). Posiblemente este
208 crecimiento de la ubre hacia el final del periodo seco en las cabras del grupo CPS es reflejo de un
209 proceso de hipertrofia en el parénquima mamario (Turner, 1965).

210 La tasa de crecimiento de las crías del grupo CPS fue mayor que el registrado en las crías
211 del grupo SPS, aunque no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$; Tabla 1). Es probable que como
212 se ha reportado previamente (García y González *et al.*, 2017) el peso de las crías está correlacionado
213 positivamente con el nivel de producción láctea de las madres. En otras palabras, es posible que
214 como las madres del grupo CPS produjeron mayor cantidad de leche entonces sus crías fueron más
215 pesadas que en el grupo SPS.

216 La CC en las cabras de ambos grupos en diferentes periodos del estudio se muestra en la
217 Figura 3. No se encontró un efecto del tratamiento ($P > 0.05$) sobre esta variable en ningún momento
218 del estudio. Sin embargo, en ambos grupos esta variable mostró variaciones a través del tiempo
219 ($P < 0.001$). Aunque en el presente estudio la CC no fue afectada por el tratamiento, en vacas
220 lecheras se ha reportado que las hembras que ganan CC durante el periodo seco producen más
221 leche, grasa y proteína que aquellas que no ganan CC (Chebel *et al.*, 2018).

222 **INSERTAR FIGURA 3 AQUI**

223 **CONCLUSIONES**

224 Los resultados obtenidos en el presente estudio nos permiten concluir que, en las cabras
225 mantenidas bajo un sistema extensivo, el practicar un periodo de sacado de 50 días promueve de

226 manera importante una mayor producción láctea tanto en el periodo de amamantamiento como
227 durante el periodo de ordeño. Sería importante determinar, como se ha hecho en cabras con mayor
228 potencial lechero, si este periodo de secado pueda reducirse, sin comprometer el desempeño de la
229 lactancia subsecuente.

230

AGRADECIMIENTOS

231 Los autores agradecen al Prof. Jesús Abasta por la facilitación de los animales utilizados en
232 el presente estudio. Asimismo, agradecen a la Lic. Dolores López Magaña, a Esther Peña y a todos
233 los Investigadores y alumnos del CIRCA-UAAAN y del Posgrado en Ciencias Agrarias por su
234 apoyo técnico para la realización del presente estudio.

235

236

237

REFERENCIAS

238 Albenzio, M., Santillo, A., Avondo, M., Nudda, A., Chessa, S., Pirisi, A. and Banni, S. 2016.

239 Nutritional properties of small ruminant food products and their role in human health. *Small*240 *Ruminant Research*. 135:3-12.

241 Baraza, E., Angeles, S., García, A. y Valiente, B.A. 2008. Nuevos recursos naturales como

242 complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán,

243 México. *Interciencia*. 33:12-15.

244 Caja, G., Salama, A.A.K. and Such, X. 2006. Omitting the dry-off period negatively affects

245 colostrum and milk yield in dairy goats. *Journal of Dairy Science*. 89:4220-4228.

246 Capuco, A.V., Akers, R.M. and Smith, J.J. 1997. Mammary growth in Holstein cows during the

247 dry period: Quantification of nucleic acids and histology. *Journal of Dairy Science*. 80:477-

248 487.

249 Chebel, R.C., Mendonça, L.G.D. and Baruselli, P.S. 2018. Association between body condition

250 score change during the dry period and postpartum health and performance. *Journal of*251 *Dairy Science*. 101:4595-4614.

252 Delgadillo J. A. (2011). Environmental and social cues can be used in combination to develop

253 sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. *Animal*. 1:74-81.

254 Duarte, G., Flores, J.A., Malpoux, B. and Delgadillo, J.A. 2008. Reproductive seasonality in female

255 goats adapted to a subtropical environment persists independently of food availability.

256 *Domestic Animal Endocrinology*. 35:362-370.

- 257 Emediato, R.M.R., Siqueira, E.R., Stradiotto, M.M., Maesta, S.A. and Fernández, S. 2008.
258 Relationship between udder measurements and milk yield in Bergamasca in Brazil. *Small*
259 *Ruminant Research*. 75:232-235.
- 260 Escareño, L., Wurzinger, M., Pastor, F., Salinas, H., Sollner, J. y Iñiguez, L. 2011. La cabra y los
261 sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la Comarca Lagunera, en
262 el norte de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17:235-
263 246.
- 264 García y González, E., Flores, J.A., Delgadillo, J.A., González-Quirino, T., Fernández, I.G.,
265 Terrazas, A. and Hernández, H. 2017. Early nursing behaviour in ungulate mothers with
266 hider offspring (*Capra hircus*): Correlations between milk yield and kid weight. *Small*
267 *Ruminant Research*. 151:59-65.
- 268 Hoyos L.G., Sáenz P. y Salinas H. 1991. Diagnóstico de la caprinocultura en la Región Lagunera.
269 INIFAP-CIID. 1991:1-11.
- 270 Hurley, W.L. 1998. Symposium: Mammary gland function during involution and the declining
271 phase of lactation. *Journal Dairy Science*. 72:1637-1646.
- 272 Mantovani, R., Marinelli, L., Bailoni, L., Gabai, G. and Bittante G. 2010. Omission of dry period
273 and effects on the subsequent lactation curve and on milk quality around calving in Italian
274 Holstein cows. *Italian Journal of Animal Science*. 9:110-118.
- 275 Montaldo, H.H., Torres-Hernández, G. and Valencia-Posadas, M. 2010. Goat breeding research in
276 México. *Small Ruminant Research*. 89:155-163.

- 277 Ricordeau, G., Boccard, R. and Denamur, R. 1960. Mesure de la production laitière des bribis
278 pendant la période d'allaitement. *Annals Zootechnical*. 9:97-120.
- 279 SAGARPA. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para
280 la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. *Diario Oficial de la*
281 *Federación*. June 18th, 2001. Ciudad de México, México.
- 282 Salama, A.A.L., Caja, G., Such, X., Cassals, R. and Albanell, E. 2005. Effect of pregnancy and
283 extended lactation on milk production in dairy goats milked once daily. *Journal of Dairy*
284 *Science*. 88:3894-3904.
- 285 SIAP. 2017: Población caprina en México 2008-2017. Secretaría de agricultura, ganadería
286 desarrollo rural pesca y alimentación. Ciudad de México,
287 México.<http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/caprino.pdf> (12/05/2017).
- 288 SØrensen, J.T. and Enevoldsen, C. 1991. Effect of dry period length on milk production in
289 subsequent lactation. *Journal Dairy Science*. 79:1277-1283.
- 290 Turner, C.W. 1965. What cause high production? *Boletín* 836. University of Missouri. Agricultural
291 Experiment Station.
- 292 Walkden-Brown, S.W., Restall, B.J., Scaramuzzi, R.J, Martin, G.B. and Blackberry, M.A. 1997.
293 Seasonality in male Australian cashmere goats: long term effects of castration and
294 testosterone or oestradiol treatment on changes in LH, FSH, and prolactin concentrations,
295 and body growth. *Small Ruminant Research*. 26:239-252.
- 296

297 **Leyendas de las Figuras**

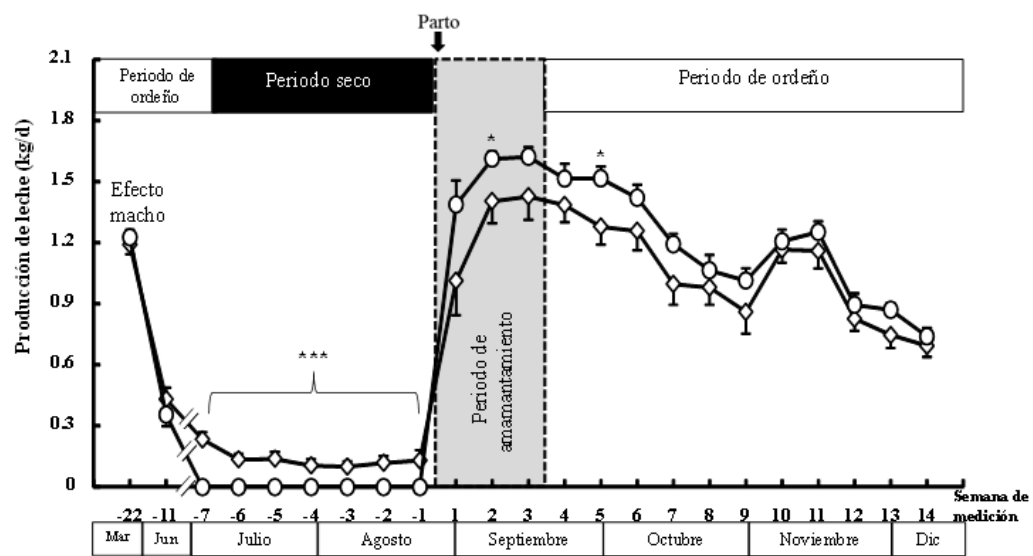
298 **Figura 1.** Medias de mínimos cuadrados (\pm EEM) de producción de leche del grupo de cabras en
299 pastoreo a las que se les practicó periodo seco (grupo CPS; \circ ; $n = 11$), y de otro grupo que fueron
300 manejadas en las mismas condiciones, pero en las que no se practicó el periodo seco (grupo SPS;
301 \diamond ; $n = 9$). Diferencias significativas entre tratamientos en cada semana son indicados por los
302 asteriscos ($*P < 0.05$ y $***P < 0.001$).

303 **Figura 2.** Medias de mínimos cuadrados (\pm SEM) de las cantidades de contenidos por medición de
304 sólidos totales, grasa, proteína y lactosa de cabras en pastoreo a las que se les practicó periodo seco
305 (grupo CPS; \circ ; $n = 11$), y de otro grupo que fueron manejadas en las mismas condiciones, pero en
306 las que no se practicó el periodo seco (grupo SPS; \diamond ; $n = 9$). Diferencias significativas entre
307 tratamientos en cada semana son indicados por los asteriscos ($*P < 0.05$).

308 **Figura 3.** Patrones de medias (\pm SEM) de la condición corporal de cabras en pastoreo a las que se
309 les practicó periodo seco (grupo CPS; \circ ; $n = 11$), y de otro grupo que fueron manejadas en las
310 mismas condiciones, pero en las que no se practicó el periodo seco (grupo SPS; \diamond ; $n = 9$).

311

312

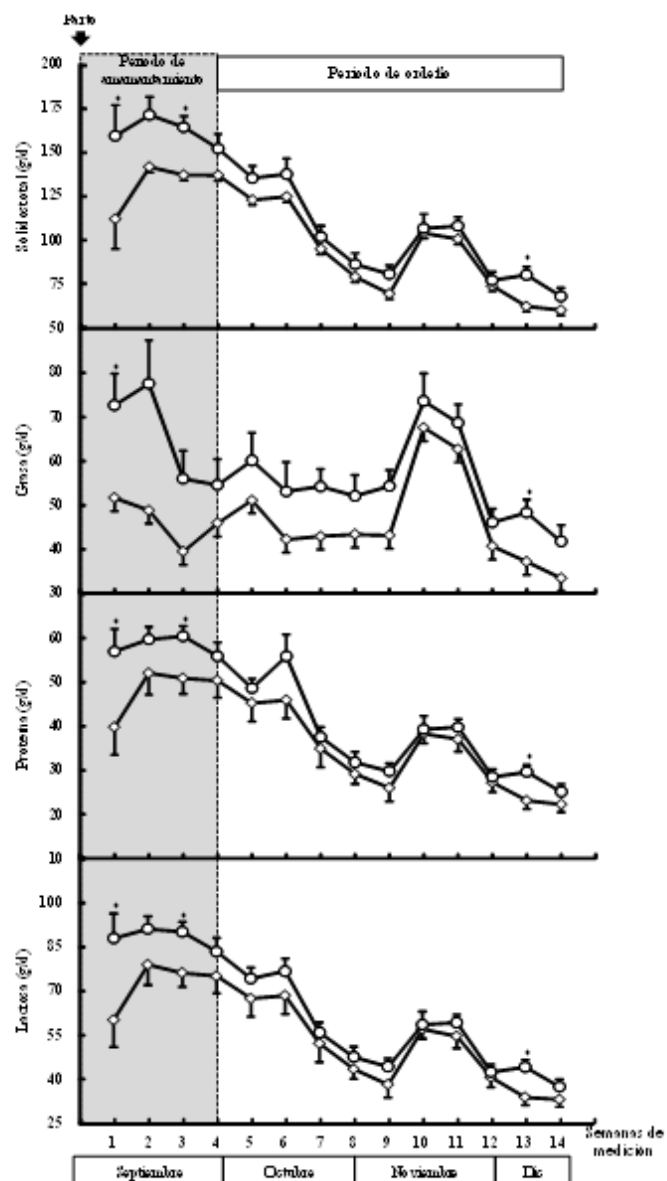


313

314 **Figura 1. Avilés et al.**

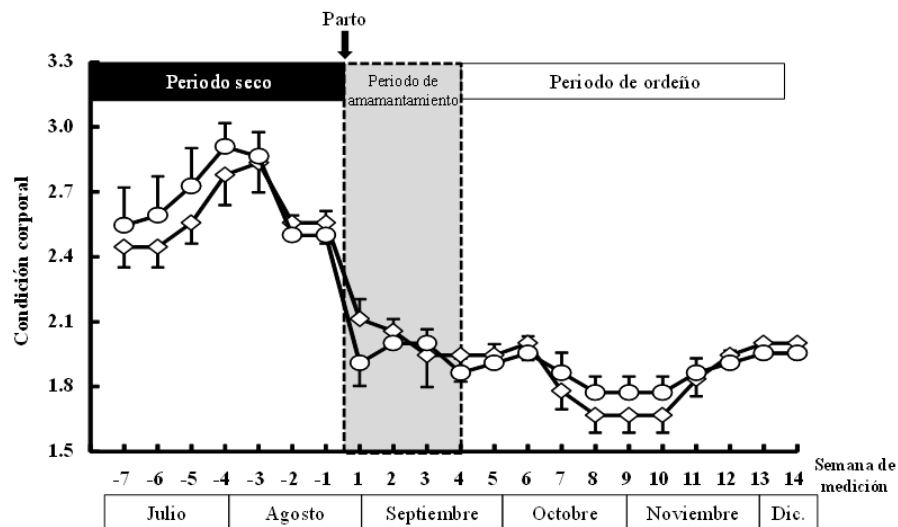
315

316



317

318 **Figura 2. Avilés et al.**



320

321 **Figura 3. Avilés et al.**

322

323

324 **Tabla 1.** Valores promedios ponderados (\pm EEP) de los totales de diferentes variables de producción, dimensiones de la ubre y parámetros de
 325 sus crías de cabras en pastoreo a las que se les practicó periodo seco (grupo CPS; \circ ; $n = 11$), y de otro grupo que fueron manejadas en las
 326 mismas condiciones, pero en las que no se practicó el periodo seco (grupo SPS; \diamond ; $n = 9$).

Grupos	Producción y componentes químicos					Mediciones de ubre			Parámetros cría	
	PL (kg)	Grasa (g)	Proteína (g)	Lactosa (g)	Sólidos Totales (g)	Profundidad (cm)	Circunferencia (cm)	Ancho (cm)	Peso Nacimiento (kg)	Tasa crecimiento (g)
SPS (n=9)	1.08 \pm 0.06	46 \pm 3	37 \pm 2	56 \pm 3	101 \pm 6	17.5 \pm 0.5	38.2 \pm 1.9	11.8 \pm 0.6	3.21 \pm 0.18 (n = 13)	167 \pm 10 (n = 13)
CPS (n = 11)	1.23 \pm 0.02	58 \pm 3	43 \pm 1	64 \pm 2	116 \pm 3	19.9 \pm 0.7	43.3 \pm 2.2	13.2 \pm 0.5	3.58 \pm 0.11 (n = 18)	179 \pm 15 (n = 18)
% pérdida	12.19	20.69	13.95	12.50	12.93	12.06	11.77	10.6	10.33	6.7
P valor	0.041	0.020	0.037	0.035	0.041	0.025	0.120	0.130	0.095	0.500

327

328

329

330

Nota: † Las mediciones de ubre se llevaron a cabo una semana previa a la fecha promedio del parto.

*La tasa de crecimiento de las crías de cálculo a los 21 días de vida

DISCUSIÓN GENERAL

A manera general, los resultados de la presente tesis muestran que en las cabras mantenidas en pastoreo, que la aplicación de melatonina exógena en el periodo seco y la puesta en práctica de este último de al menos 50 días de duración tienen repercusiones profundas en estimular la lactancia siguiente.

Los presentes resultados sobre la aplicación de melatonina explica el papel de esta hormona en el efecto estimulante de los días cortos artificiales al reducir posiblemente las concentraciones de PRL. Aunque la PRL no fue determinada en la presente tesis, varios estudios en roedores y ganado lechero soportan este argumento anterior. Este resultado es único y original, puesto que los anteriores intentos de estimular la subsecuente lactancia en ganado lechero fallaron en demostrarlo. Como se mencionó en el primer artículo (Avilés et al., 2019) es muy probable que la cabra es más sensible a la melatonina exógena que en la vaca. De hecho, este también constituye un resultado novedoso de la presente tesis, es decir, en ganado lechero inclusive la aplicación de hasta 12 implantes de melatonina exógena durante el secado no fue eficiente en estimular la producción de leche en la siguiente lactancia. En cambio, en el presente con solo 2 implantes fue suficiente para estimular la lactancia siguiente. Aunque uno de los objetivos de la presente fue solo con fines de probar fisiológicamente el efecto de la melatonina, estos resultados podrían tener una aplicación práctica sobre todo en países en desarrollo en donde la hormona podría estar disponible y a bajo costo en el mercado. Sin embargo, también las políticas actuales en esos países prohíben el uso de hormonas exógenas para la producción animal. Solo quedaría confirmar si en estas cabras que se encuentran amamantando a sus crías, si la exposición a días cortos artificiales durante el periodo seco ejerce el mismo efecto que la melatonina sobre la producción subsecuente de leche, así como sobre el crecimiento de sus crías. Además, queda por confirmar si la exposición a días cortos artificiales o la aplicación de melatonina al final de la lactancia influyen sobre la cantidad y composición del calostro producido y disponible para las crías.

Lo anterior sin dejar de evaluar los posibles efectos de la mayor disposición de calostro para las crías en los mecanismos de vinculación con su madre. Asimismo, queda por determinar en la cabra cómo se ha sugerido en vacas y roedores, si la melatonina exógena o la exposición a días cortos artificiales disminuyen el pico preparto de PRL.

Con referencia al efecto de poner en práctica el periodo seco hacia el final de la gestación en animales mantenidos en pastoreo, los resultados de la presente tesis amplían lo ya conocido en animales con elevado potencial lechero en los que se ha demostrado los diversos beneficios sobre la próxima lactancia y la salud de la ubre. Los efectos del periodo seco sobre la subsecuente producción de leche han sido estudiados de manera intensiva en ganado lechero y poca atención se ha puesto en cabras y ovejas sobre este aspecto. Por ejemplo, Remond *et al.* (1997) observaron que las vacas lecheras a las que no se les practicó el periodo seco produjeron 5.6 kg menos de leche por día en comparación con aquellas a las que se les impuso un periodo seco de 60 días. Lo anterior resultó en un 22% de disminución en la producción total de leche por lactancia. Es importante que los resultados obtenidos en el segundo artículo (Avilés *et al.*, sometido) sean conocidos por los productores en regiones en donde los animales son mantenidos bajo el pastoreo extensivo. En efecto, en muchos sistemas de producción caprina extensivos, una vez que las cabras son preñadas se desarrolla la gestación sin que el productor se percate de si la hembra se secó paulatinamente o bien algunas de ellas sigan produciendo, tal vez asociado a buena disponibilidad de alimento en el pastoreo. Sin embargo, como se observó en los resultados del segundo estudio de la presente tesis, son grandes los beneficios de imponer un periodo seco posiblemente desde un punto de vista productivo, pero también desde un punto de vista de bienestar de los animales (Zobel *et al.*, 2015).

Del efecto de inducir un adecuado secado en estos animales en pastoreo y que amamantan a sus crías quedan todavía muchas interrogantes por contestar. Por

ejemplo, se desconoce si en estas condiciones de pastoreo extensivo el asegurarse que las hembras tengan un periodo de secado estimule una mayor producción de calostro, como ya se reportó en animales más lecheros pero en los que las crías fueron retiradas después del nacimiento (Caja *et al.*, 2006). Si eso aplica en cabras que están amamantando a sus crías, es de esperarse una mejoría en los mecanismos de vinculación entre la madre y su camada tales como un reconocimiento mutuo temprano. Asimismo, es muy probable que las crías de cabras a las que se les indujo un periodo de secado tengan un mayor peso al mes que las crías de cabras que no se les practicó el secado. Además, queda por contestar si es necesario 50 días de secado o solo con 25 días es suficiente para tener los efectos en la lactancia subsiguiente.

CONCLUSIÓN GENERAL

En conjunto, los resultados de la presente tesis muestran que en las cabras mantenidas en pastoreo, que la aplicación de melatonina exógena en el periodo seco y la puesta en práctica de este último de al menos 50 días de duración tienen repercusiones profundas en estimular la lactancia siguiente.

Por último, queda por investigar si el aplicar melatonina exógena o exponer a días cortos artificiales a las cabras que continúan ordeñándose hasta el parto pueda ser eficiente para obtener los efectos benéficos sobre la lactancia subsecuente reportados en la presente tesis.