

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Subdirección de Postgrado



UTILIZACIÓN DEL FOTOPERIODO ARTIFICIAL Y EL EFECTO  
MACHO PARA ESTIMULAR LA PRODUCCIÓN LÁCTEA Y LA  
CONDUCTA SEXUAL EN CABRAS SUBTROPICALES

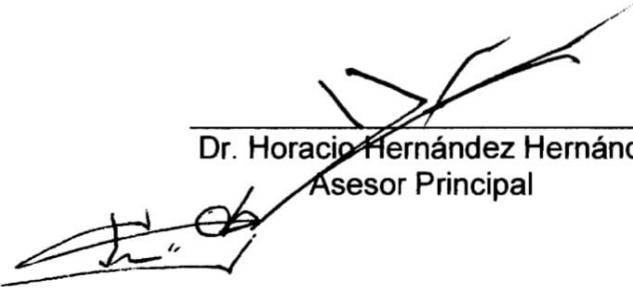
TESIS

Que presenta EDWIN STIVE MENDIETA MIRANDA  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

UTILIZACIÓN DEL FOTOPERIODO ARTIFICIAL Y EL EFECTO MACHO PARA  
ESTIMULAR LA PRODUCCIÓN LÁCTEA Y LA CONDUCTA SEXUAL EN  
CABRAS SUBTROPICALES

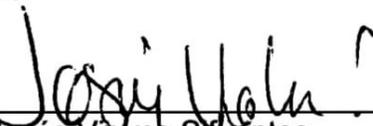
Tesis

Elaborada por EDWIN STIVE MENDIETA MIRANDA 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

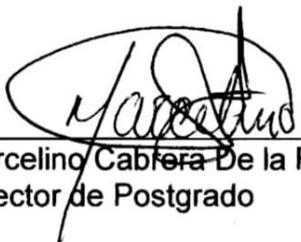
  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alfredo Flores Cabrera  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jesús Vielma Sifuentes  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Angélica Ma. Terrazas García  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Manuel de Jesús Flores Nájera  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán  
Jefa del Departamento de Postgrado

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Noviembre 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A Mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi hogar durante estos años de estudio y por las facilidades y recursos que me brindó para realizar mis estudios de Doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado para llevar a cabo mis estudios de Doctorado

### **A MI ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Horacio Hernández Hernández, por ser mi amigo, asesor, tutor y profesor al mismo tiempo y por el apoyo, y la gran cantidad de conocimiento compartido con este humilde servidor.

### **A MI COMITÉ DE ASESORÍA**

Por su amplia experiencia y conocimientos compartidos para el buen desarrollo de mi formación y en la culminación de este trabajo

Dr. José Alberto Delgadillo, Dr. Jesús Vielma, Dr. José Alfredo Flores, Dr. Manuel de Jesús Flores (INIFAP) y a la Dra. Angélica María Terrazas (UNAM)

### **AL CIRCA:**

A cada uno de los miembros que conforman este equipo de trabajo mis más sinceros agradecimientos por su disponibilidad de ayudarme durante todo el tiempo que duraron mis estudios de doctorado.

### **A LOS PRODUCTORES**

Al Sr. Daniel Hernández del Ejido el Águila, municipio de Torreón Coahuila  
Al Profesor Jesús Abasta, del ejido Andalucía, municipio de Matamoros Coahuila

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

Por darme la templanza, perseverancia y fortaleza para continuar con las metas fijadas en mí camino.

### **A MIS HIJOS**

Steven Joshua Mendieta y Luz María Mendieta Herrera, por ser el motor de mi vida y el motivo más importante para superarme cada día

### **A MIS ABUELOS**

Edmundo Mendieta Escobar, María Sánchez Ramos, Por ese apoyo incondicional que siempre que lo necesite allí estaban al pendiente de mis necesidades y Por ser el bastión tanto de mi desarrollo humano como profesional y por contagiarme de esa fortaleza e ímpetu que les caracteriza.

### **A MIS PADRES**

Edmundo Jesús Mendieta Sánchez, Socorro Miranda Ortega, Por darme la oportunidad de existir y en especial a mi madre Sra. Socorro Miranda Ortega que aunque ya no está con nosotros, como pudo se sacrificó y me ayudo a sacar adelante este proyecto y tal como te lo prometí madre aquí esta otro título más es para ti te lo dedico.

### **A MIS HERMANOS**

Shannen Mendieta Ibarra, María Adriana Mendieta Ibarra, Edmundo Mendieta Ibarra. En especial a Harol Mendieta Miranda por el respaldo para poder lograr la culminación de este proyecto.

### **A MIS TIOS**

Gracias por los consejos, las pláticas motivacionales y apoyo que recibí incondicionalmente de ustedes Adrián Mendieta, Tía Mar Ibarra, David Mendieta, Alejandro Mendieta

## INDICE

|   |     |
|---|-----|
| RESUMEN.....  | VII |
| ABSTRACT.....   | IX  |
| CAPITULO I.....   | 1   |
| INTRODUCCIÓN.....   | 1   |
| CAPÍTULO II.....  | 4   |
| REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 4   |
| 2.1.1. Lactogénesis.....  | 5   |
| 2.1.2. Control Hormonal de la Lactogénesis.....   | 6   |
| 2.2. Galactopoiésis.....  | 8   |
| 2.2.1. Control hormonal de la Galactopoiésis.....   | 8   |
| 2.2.3. Control Físico de la Galactopoiésis.....   | 12  |
| 2.2.4. Factor inhibidor de la lactancia.....  | 13  |
| 3.1. Factores que Influyen en la Producción de Leche en Rumiantes.....  | 13  |
| 3.1.1. Nutrición.....   | 13  |
| 3.1.2. Frecuencia de ordeño.....  | 15  |
| 3.1.3. Efecto del Fotoperiodo de Días Largos Sobre la Producción de Leche.....  | 16  |
| 3.1.4. Mecanismo Fisiológico por el Cual los Días Largos Estimulan la Producción de Leche.....  | 17  |
| 3.1.5. Influencia de Proporcionar un Pulso de luz Durante la Fase Oscura Sobre la Interpretación de los Animales Como un día Largo..... | 18  |
| 4.1. Actividad Sexual Durante la Lactancia.....   | 19  |
| 4.1.2. Influencia de la Producción de Leche y el Balance Negativo de Energía (BNE).....   | 20  |
| 4.1.3. Presencia del Macho y Efecto Macho Durante el Postparto.....   | 22  |
| CAPITULO III.....   | 24  |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 24  |
| CAPITULO IV.....  | 26  |
| OBJETIVOS GENERALES.....  | 26  |
| CAPITULO V.....   | 27  |
| HIPÓTESIS.....  | 27  |
| CAPITULO VI.....  | 28  |
| CARTAS DE ACEPTACIÓN Y ENVÍO DE ARTÍCULOS.....  | 28  |

|                        |    |
|------------------------|----|
| ARTICULO 1.....        | 29 |
| ARTICULO 2.....        | 37 |
| CAPITULO VII.....      | 58 |
| DISCUSIÓN GENERAL..... | 58 |
| VIII. REFERENCIAS..... | 61 |

## RESUMEN

Los objetivos generales de la presente tesis fueron investigar si en las cabras subtropicales que inician su lactancia durante los días cortos naturales las modificaciones en el fotoperiodo artificial pueden tener un efecto sobre la producción láctea y determinar si el efecto macho, usando machos fotoestimulados puede inducir la actividad sexual de cabras tratadas con días largos artificiales. En el primer estudio, 2 experimentos fueron realizados para determinar (i) si en las cabras subtropicales que paren a mitad de diciembre, la exposición a un fotoperiodo artificial de días largos artificiales de 14 h luz/día puede incrementar la producción de leche y (ii) para determinar si esas cabras pueden responder al efecto macho al final del prolongado tratamiento luminoso. En el experimento 1, a partir del día 10 de lactancia 17 cabras lactantes estuvieron mantenidas bajo los días cortos naturales (grupo control), mientras que otras 22 cabras estuvieron mantenidas bajo un fotoperiodo artificial de días largos, consistente (14 h luz/día y 10 h). La exposición continua al fotoperiodo de días largos artificiales produjo un incremento en el nivel de producción de leche durante los primeros 110 días de lactación (interacción tiempo  $\times$  tratamiento;  $P = 0.01$ ), mientras que ninguno de los componentes químicos de la leche fueron modificados debido al tratamiento fotoperiódico ( $P > 0.05$ ). En el experimento 2, todas las cabras anovulatorias del grupo control y del tratado fueron sometidas al efecto macho usando machos fotoestimulados. Todas las cabras mostraron conducta estral dentro de los primeros 10 días que estuvieron en contacto con los machos (100% en ambos grupos;  $P > 0.05$ ). Así, la latencia al inicio del celo no fue diferente entre las cabras del grupo control ( $58.2 \pm 3.0$  h) y las del grupo tratado ( $62 \pm 4.6$  h). La exposición al macho provocó la ovulación independientemente si las cabras estuvieron previamente bajo el fotoperiodo artificial de días largos o días naturales (96 vs 100%, respectivamente;  $P = .79$ ). De este primer estudio se concluyó que en las cabras subtropicales que paren durante días cortos naturales exposición a 14 h de luz/día estimuló la producción de leche, sin inhibir la ovulación en respuesta al efecto macho al final del prolongado tratamiento luminoso.

En el segundo estudio, se probó la hipótesis de que en cabras locales de la comarca lagunera, la exposición a una hora de luz extra proporcionada de 16 a 17 h después del alba (flash) en invierno estimula la producción de leche. Para este estudio se utilizaron veinte cabras criollas multíparas, cuya fecha promedio del parto fue el 25 de diciembre  $\pm$  2.0 días. Un grupo de ellas se mantuvo bajo las condiciones del fotoperiodo corto natural (días naturales; DN (n = 7). Otro grupo de cabras se sometió a un fotoperiodo artificial de días largos, consistente en 16 h de luz y 8 h de oscuridad (días largos; DL (n = 7). Otro tercer grupo de cabras recibió una hora de luz extra a 16 h después del alba fijo (pulso de luz; PL (n = 6). Los resultados mostraron que a través del estudio, las cabras de los grupos DL y PL produjeron más leche que las cabras del grupo DN. La producción de leche no fue diferente entre las cabras de los grupos DL y PL. De manera global, la producción de leche en las cabras de los grupos DL y PL fue del 30% más alta que en el grupo DN a través del periodo de lactancia estudiado. Los contenidos de grasa, proteína y lactosa en leche en (gramos/día) fueron más elevados durante los primeros 45 días de lactación en las cabras del grupo PL que en los otros 2 grupos. De este segundo estudio, se concluyó que en las cabras de doble propósito que inician su lactancia durante los días cortos naturales, la exposición diaria a un pulso de luz extra de 1 hora es suficiente para incrementar la producción de leche comparado con las cabras mantenidas bajo un fotoperiodo natural de días cortos. En conjunto, los resultados vertidos en la presente tesis sugieren que es posible realizar modificaciones en el fotoperiodo que es recibido por las cabras subtropicales que paren durante los días cortos naturales para estimular su nivel de producción láctea. Asimismo, los resultados de la presente tesis confirman la eficacia del efecto macho usando machos fotoestimulados para inducir la actividad sexual en cabras anovulatorias debido al tratamiento luminoso prolongado. La investigación futura de este tema debería ser conducida y centrada en simplificar el uso de la luz artificial como método que promueva la galactopoiésis en los rumiantes.

## ABSTRACT

The general objectives of the present thesis were to investigate if modifications in the artificial photoperiod can have an effect galactopoeitic in subtropical goats that initiates their lactation during the natural short days and if the male effect using photostimulated males induce the sexual activity in goats treated for long-time with artificial long days. In the first study, two experiments were performed to determine (i) if in subtropical goats that gave birth during mid-December, the exposition to an artificial long-day photoperiod consisting in only 14 h. of light per day can increase the milk yield and (ii) to test whether these females can respond to the male effect at the end of the prolonged photoperiodic treatment. In experiment 1, 17 lactating goats were maintained under natural short days (control group), while another 22 goats were maintained under artificial long days (treated group) consisting in 14 h light and 10 h. darkness starting at day 10 of lactation. The continuous exposition to an artificial long-day photoperiod produced an increase in the milk yield level during the first 110 days of lactation (time  $\times$  treatment interaction;  $P= 0.01$ ), while none of the milk components were modified due to the photoperiodic treatment ( $P > .05$ ). In experiment 2, all control and treated anovulatory goats were submitted to the male effect using photostimulated males. All females showed oestrous behaviour within the first 10 days that were in contact with males (100% in both groups;  $P> .05$ ). Thus, the latency to onset of oestrus did not differ between females from control ( $58.2 \pm 3.0$  h) and treated ( $62 \pm 4.6$  h) groups. Male exposition provoked ovulation independently if females were previously under long days or natural photoperiod (96 vs 100%, respectively;  $P= .79$ ). It was concluded that exposure to 14 h of light per day in subtropical goats that gave birth in late autumn stimulates milk yield without preventing the ovulation in response to the male effect at the end of the prolonged photoperiodic treatment. In the second study, the hypothesis that in double-purpose goats the exposure to one hour of extra-light given from 16 to 17 h after dawn (pulse of light) in winter stimulates the milk yield was tested. Twenty multiparous creole goats, which mean date of parturition was on December 25th  $\pm 2.0$  days were used. One group of goats was maintained under natural short photoperiod conditions (natural day; ND ( $n = 7$ )). Another group of lactating females was submitted to an artificial long-

day photoperiod consisting in 16 h light and 8 h darkness (long days; LD (n = 7). A third group of females received one hour of extra-light 16 h after the fixed dawn (light pulse; LP (n = 6). Results showed that across the study, goats from LD and PL yielded more milk than goats from ND group. Milk yield did not differ between goats from LD and PL. Globally, milk yield in the LD and PL groups was about 30% higher than in the ND group throughout the lactation period. Mean percentages of fat, protein and lactose contents in milk did not differ between the 3 groups at any stage of lactation, but these components in grams/day were higher in goats from PLG than in the others two groups within the first 45 d of lactation. It was concluded, that in double-purpose lactating goats that started their lactation during natural short days, the daily exposition to a 1-hour pulse of light is sufficient to stimulate milk yield compared to females maintained under natural short photoperiod.

As a whole, the results expressed in this thesis suggest that it is possible that by making manipulations in the photoperiod received by subtropical lactating goats, which kidding during the natural short days, their milk production will be stimulated. Likewise, the results of this thesis confirm the effectiveness of the male effect using photostimulated males to induce sexual activity in anovulatory goats by prolonged luminous treatment. Future research on this issue should be conducted and focused on simplifying the use of artificial light as a method that promotes galactopoiesis in ruminants.

## CAPITULO I INTRODUCCIÓN

La producción mundial de leche se deriva de ganado bovino, búfalos, cabras, ovejas y camellos. En el año de 2007 las regiones con mayor producción de leche fueron Asia del Sur con: 23% de la producción mundial, destacando en esta región la India y Pakistán. La Unión Europea con 21%, destacando Alemania y Francia. Por último, EEUU con 12 % (IFCN, 2012). En los reportes de la IFCN (Red Internacional de Comparación de Granjas) del 2012 ha señalado a México como el país décimo sexto en la producción mundial de leche.

Con respecto a la población caprina en el mundo está se incrementó en un 33.8% durante el período de 2000 al 2013 (Skapetas y Bampidis, 2016). La población caprina en México estimada en 2015 por el SIAP fue de 8,724,946 cabezas. En la Comarca Lagunera, la caprinocultura es una actividad importante ya que con ella, gran porcentaje de la población rural obtiene los recursos para cubrir sus necesidades básicas. El inventario de cabras en la Comarca Lagunera en 2015 fue de aproximadamente 413,217 cabezas (SIAP, 2015).

En las diferentes especies lecheras estudiadas se ha documentado ampliamente que varios factores extrínsecos o genéticos pueden influenciar de manera importante el desempeño lactacional. Estos factores incluyen la raza, tamaño de camada, el número de partos, el estado de lactación, la disponibilidad de alimento, el estado de salud y la estación de parto. 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 *et al.*, 1978; Peters *et al.*, 1981; Marcek y Swanson, 1984; Stanisiewski *et al.*, 1985; Bilodeau *et al.*, 1989; Phillips y Schofield, 1989; Evans y Hacker, 1989; Dahl *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 1999; Porter y Luhman,

2002). 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). Sin embargo en estos animales se desconoce si el reducir la exposición de 16 a 14 h luz/día pudiera ser efectivo para estimular la producción de leche. Hay que tomar en cuenta que en estos animales se ha demostrado previamente que, el proporcionar 14 h de luz diarias inhibió la ovulación, lo que demostró que este fotoperiodo es interpretado como un día largo (Duarte *et al.*, 2010). Por ello, sería interesante conocer en las cabras que paren en los días cortos naturales si la exposición a 14 h luz diarias podría estimular la producción de leche.

Cuando las cabras inician su lactancia durante los días cortos naturales, ellas permanecen anovulatorias debido a una interacción entre la lactancia y la proximidad del anestro estacional (Flores *et al.*, 2013). Además, en ovejas y cabras se ha reportado que cuando se exponen a días largos artificiales durante los primeros 75 días postparto, ellos permanecen en una completa inhibición de su actividad ovulatoria (Bocquier *et al.*, 1993; Hernández *et al.*, 2006). En el caso de las cabras que se encuentran durante el anestro estacional, se conoce que mediante el efecto macho utilizando machos sexualmente activos se provoca en las hembras la actividad sexual durante esa época. Entonces, sería importante investigar si también mediante el efecto macho se puede inducir la ovulación en las cabras que son expuestas a días largos artificiales durante los primeros 100 días de lactancia.

La aplicación de un fotoperiodo de días largos artificiales para estimular la producción láctea, implica al menos el encendido durante 6 h de luz artificial. Es

probable que este tratamiento con luz pueda ser efectivo con solo proporcionar algunas horas de luz extra. Por ejemplo, de un estudio en carneros donde se determinó la fase fotosensible y donde expusieron diferentes grupos de machos a 1 h de luz a las 10, 13, 16 o 19 h después del alba fijo (encendiendo la luz a las 00:60 horas) encontraron que es a las 16 h después del alba cuando los animales lo interpretaron como un día largo (Ravault y Ortavant, 1977). Entonces, si estos pequeños rumiantes interpretan un pulso de luz proporcionado a 16 h después del alba como un día largo, es muy probable que en la cabra que inicia su lactación en los días cortos naturales, este tratamiento simple de luz pueda interpretarse como un día largo y ello estimule la producción de leche.

Con base a lo descrito anteriormente, el objetivo general de la presente tesis es de contribuir y ampliar el conocimiento sobre la respuesta de las cabras lactantes al reducir las horas luz en el tratamiento fotoperiódico de días largos de 16 h luz/día para estimular la producción de leche cuando los partos se presentan durante los días cortos naturales. Además, se determinará si en las cabras anovulatorias debido al tratamiento prolongado de días largos pueden responder sexualmente al efecto macho.

## CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Lactancia

En los mamíferos, la lactancia representa uno de los pasos finales del ciclo reproductivo. Este estado fisiológico es caracterizado por una intensa actividad secretora de las glándulas mamarias para producir leche (Mepham, 1987). La leche satisface las necesidades inmediatas y de largo plazo de la descendencia. Además, hay aspectos conductuales como el amamantamiento que resultan en el establecimiento de un fuerte vínculo entre la madre y la cría que promueven la supervivencia de esta última.

En los rumiantes, durante la gestación y después del parto, la glándula mamaria sufre una serie de transformaciones anatómicas y endocrinas que culmina con la secreción de leche. En la vida adulta de una hembra, este ciclo se puede dividir en 4 estadios: mamogénesis, lactogénesis, galactopoiésis y la involución glandular (Svennersten-Sjaunja y Olsson, 2005; Neville, 2009). Cada una de estas fases es coordinada principalmente por el sistema endocrino, el cual involucra tres categorías de hormonas que actúan directamente en la glándula mamaria. Entre éstas, se encuentran las hormonas reproductivas como el estrógeno y la progesterona; además, el lactógeno placentario, la prolactina y la oxitocina. Además, las hormonas metabólicas como la hormona de crecimiento (GH), hormonas tiroideas (T3, T4), cortisol, insulina, (Neville *et al.*, 2002).

El proceso de la lactación se ha definido, como un mecanismo de dos etapas. La primera etapa consiste en la diferenciación citológica y enzimática de las células alveolares y coincide con limitadas secreciones mamarias antes del parto (lactogénesis). La segunda etapa (lactancia) consiste en la abundante secreción de calostro comenzando días antes del parto y cambiando a la secreción de leche de 3 a 4 días postparto extendiéndose por un tiempo prolongado, dependiendo de la especie (Tucker, 1981).

### **2.1.1. Lactogénesis**

A la diferenciación del tejido mamario también se le conoce como lactogénesis y consiste de una serie de procesos que conducen a la iniciación de la lactancia completa. Desde hace mucho tiempo, se conoce que la lactogénesis se desarrolla en dos etapas. La lactogénesis 1, inicia a la mitad de la preñez, con una expresión progresiva de la mayoría, pero no de todos, los genes implicados en la síntesis de los componentes de la leche. En el ratón, esta fase puede distinguirse morfológicamente por la presencia de gotitas lipídicas citoplasmáticas en el epitelio mamario. En el humano, con la aparición de la proteína  $\alpha$ -lacto albúmina en la sangre anuncia su inicio. Existe poca información sobre la regulación hormonal de la lactogénesis 1, al parecer están implicados: la progesterona (P4), la prolactina (PRL) y el lactógeno placentario (PL), mientras que en algunas especies la hormona del crecimiento (GH) tiene un papel importante, (Neville *et al.*, 2002). La P4 suprime la secreción de leche durante esta etapa. Alrededor del parto, dependiendo de la especie, la glándula sufre una segunda serie de procesos que conducen a la secreción de calostro y posteriormente leche. Esta fase es referida a la lactogénesis 2 y se caracteriza molecularmente por un aumento adicional en la expresión de los genes para las proteínas de la leche, el cierre de las uniones estrechas entre las células alveolares y el movimiento de gotas lipídicas citoplasmáticas y micelas de caseína dentro de la lámina alveolar. Un incremento transitorio en la transferencia de inmunoglobulinas y otras sustancias inmunes, lo que caracteriza la formación de calostro. La disminución de la P4 junto con la presencia de elevados niveles de PRL son necesarios para esta fase. Con el inicio del amamantamiento, existe un incremento adicional en la expresión de la mayoría de los genes implicados en la secreción de leche y puede producirse una ronda final de división celular, expandiendo aún más el epitelio alveolar.

### **2.1.2. Control Hormonal de la Lactogénesis**

En la preñez temprana la PRL es luteotrópica manteniendo la secreción de estradiol y P4 del ovario (Freeman *et al.*, 2000), y esto estimula la alveologénesis en la glándula mamaria.

En la rata, en la oveja y en muchas otras especies se observa un incremento de la concentración de PRL 24 horas antes del parto siendo esta hasta 100 veces su incremento (Mellor *et al.*, 1987; Andrews *et al.*, 2001). En el humano, la PRL en plasma se eleva de manera significativa a través de la preñez, probablemente estimulada por niveles elevados de estradiol.

Se ha demostrado que la PRL es lactogénica en la rata y el ratón en ausencia de P4. Por ejemplo, al menos se requiere PRL y un corticoide adrenal para que ocurra la lactogénesis en ratas ovariectomizadas, adrenalecomizadas e hipofisectomizadas (Lyons, 1958). En la cabra la disminución en la secreción de PRL, utilizando bromocriptina (agente que actúa como la dopamina) entre la semana 8 y 20 de preñez (que coincide con la primera etapa de lactogénesis) retarda el inicio de la secreción mamaria (Forsyth *et al.*, 1985). Sin embargo, este retardo es superado a la semana 21 de preñez. Esta supresión temporal de la secreción de PRL durante la preñez no afectó la subsecuente producción de leche. Lo anterior sugiere que al menos en las cabras, la PRL no juega un papel importante durante el primer estado de la lactogénesis. Sin embargo y a diferencia de la cabra, en la vaca, en la oveja la supresión en la liberación de PRL preparto reduce significativamente la producción de leche (Kann *et al.*, 1978).

En todas las especies estudiadas la PRL es necesaria para la lactogénesis 2. Si la secreción de prolactina de la pituitaria es inhibida con bromocriptina el inicio de la lactogénesis 2 es retardado mientras la bromocriptina esté presente (Kulski *et al.*, 1978; Forsyth y Lee, 1993; Nguyen *et al.*, 2001). El papel de la GH no está del todo comprendido. Sin embargo se ha reportado que en cabras hipofisectomizadas la combinación de GH, un corticoide y triyodotironina resultó moderadamente lactogénica (Cowie, 1969). El efecto más claro de la GH es sobre la morfogénesis del sistema de ductos galactóforos, donde la GH a los receptores en el estroma inducen a la secreción de IGF1 (factor de crecimiento

similar a la insulina) resultando en un efecto parácrino sobre el epitelio. En varias cepas de ratón, existe evidencia de que la GH incrementa la respuesta lactogénica del tejido mamario cuando se agrega PRL y corticoides. Además se ha sugerido que la GH induce la secreción de los constituyentes de la leche. Al momento del parto, existe un aumento en la secreción de la GH y una disminución en la secreción de la somatostatina en el hipotálamo (neuropéptido que suprime la secreción de GH), sin existir un cambio en la hormona liberadora de la GH (GHRH, neuropéptido que estimula la secreción de GH).

Con referencia al papel que juegan las hormonas esteroideas se ha determinado que la P4 es esencial para la proliferación alveolar y para la lactogénesis 1 y su disminución en la sangre dispara la lactogénesis 2 (Neville *et al.*, 2002). El inicio de la lactogénesis está asociado a una disminución en las concentraciones de P4 y un incremento en las concentraciones de estradiol en sangre justamente antes del parto. En la rata si se induce esta caída en las concentraciones de P4 mediante una lutectomía (remoción quirúrgica del cuerpo lúteo) provoca un prolongado incremento en la PRL circulante induciéndose la lactogénesis (Vermouth y Deis 1972), resultados similares se observan en la cabra (Currie y Thorburn, 1973). En la rata, la colocación de implantes de estradiol en la eminencia media o en la adenohipófisis induce la liberación de cantidades elevadas de PRL resultando en el desarrollo lobuloalveolar y con ello el inicio de la lactogénesis. (Zambrano y Deis, 1970; Caron y Deis, 1978). Al parecer, el estrógeno actúa a nivel hipotalámico o hipofisiario, ejerciendo una acción estimuladora sobre la síntesis y secreción de PRL, la cual a su vez induce el desarrollo mamario y la diferenciación celular. En conjunto, las acciones facilitadoras del sistema neuroendocrino que favorecen la liberación de PRL Y GH, aunado a los cambios en las concentraciones de hormonas esteroideas interactúan para dar el inicio de la secreción láctea en los mamíferos.

## **2.2. Galactopoiésis**

La galactopoiésis es el periodo en el cual la ubre (glándula mamaria) comienza la producción de leche hasta llegar a la eyección de la misma. La producción continua de leche se conoce formalmente como galactopoiésis. Esta fase del ciclo lactacional consta de dos etapas. Una etapa llamada calostrual, durante la cual el producto de la secreción contiene grandes cantidades de inmunoglobulinas. La otra etapa llamada de secreción láctea, en la que se producen grandes cantidades de leche (Neville, 2006). Generalmente, la actividad secretora de la glándula mamaria en esta fase es paralela a la demanda de leche de la camada. Por ello la interacción funcional madre – neonato. o bien el frecuente vaciamiento glandular son de gran importancia. En efecto, la estimulación táctil de los pezones por el amamantamiento u ordeña desencadena la descarga de un complejo de hormonas hacia el torrente sanguíneo, las cuales participan en la secreción de leche de manera variable según la especie. Es importante mencionar que el termino galactopoiésis ha sido usado para definir el mantenimiento de la lactancia.

### **2.2.1. Control hormonal de la Galactopoiésis**

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 triyodotironina (T3). (Cowie, 1969; Larson y Smith, 1974; Peaker, 1977)

En los últimos 50 años ha evolucionado el concepto de que en diferentes especies la PRL es importante en mantener la producción de leche. En los monogástricos, se observó que la PRL se requiere para la síntesis de leche. Por ejemplo en ratas, la supresión de la secreción de PRL con bromocriptina suprimió la síntesis de leche (Shaar y Clemens, 1972). De manera contraria, la administración de PRL incrementó la secreción de leche en conejas durante la lactancia temprana (Kumaresan *et al.*, 1966; Cowie, 1969). Sin embargo, en vacas y en cabras la secreción de PRL no limita la secreción de leche. Por

ejemplo, la concentración de PRL en sangre fue solo ligeramente correlacionada con la producción de leche (Koprowski y Tucke, 1973), y el proporcionar PRL suplementaria no tuvo efecto sobre la producción de leche (Plaut *et al.*, 1987). Además, la bromocriptina y la temperatura ambiental fría redujeron de manera marcada la secreción de PRL sin suprimir la producción de leche en vacas (Smith *et al.*, 1974; Peters y Tucker 1978; Peters *et al.*, 1981). De manera curiosa, la aplicación del estímulo de ordeña a los pezones en vacas, liberó de manera aguda PRL durante la lactancia temprana, pero con el progreso de la lactación la liberación de PRL declina (Koprowski y Tucker, 1973). Estudios más recientes han destacado la importancia de la PRL sobre la secreción de leche (Lacasse y Ollier, 2015; Lacasse *et al.*, 2016), lo cual también se había demostrado en ovejas (Hooly *et al.*, 1978). Por ejemplo, en la cabra lechera una inyección de carbegolina (un inhibidor dopaminérgico de la liberación de PRL), causó un 28% de disminución en la producción de leche un día después de la inyección (Lacasse *et a.*, 2016).

Desde 1930, se demostró que los extractos crudos de pituitaria anterior incrementaban la producción de leche en cabras y ovejas. En 1940 se demostró que la GH como el componente activo de ese efecto. Desde entonces, ha habido mucho progreso en el entendimiento de la actividad galactopoiéticas de la GH en animales lecheros pero quedan interrogantes de su modo de acción (Capuco y Akers, 2002).

Estudios de corto plazo en vacas de raza Holstein han demostrado que inyecciones de GH a animales de alta o media producción durante la lactancia medio o tardía resultó en un incremento constante de 2 a 5 kg de leche por día (Peel y Bauman, 1987; Chilliard, 1988; Bauman y Vernon, 1993). La variación en la respuesta es debida a la duración del tratamiento, la dosis, el estado de la lactancia, las condiciones de manejo y factores no identificados. En vacas, ovejas y cabras, la liberación de GH de la adenohipófisis debido a repetidas inyecciones de somatocrininas (GHRH o potentes análogos), resulta en un incremento en la producción de leche y en los porcentajes de sus componentes. En estudios de

largo plazo, el tratamiento con GH a vacas y ovejas por más de cien días induce un incremento en la producción de leche similar al tratamiento de corto plazo, especialmente durante los estados tardíos de la lactancia. Los incrementos en la producción de leche en vacas Holstein de elevada producción (> de 25 kg/día) llegan entre 8 y un 40% de incremento en la producción diaria promedio (Bachman *et al.*, 1999).

La actividad galactopoiética de la GH radica en coordinar cambios en el metabolismo de los tejidos que promueven el flujo de nutrientes y de energía a la glándula mamaria. El tejido adiposo y el tejido hepático son los que podrían tener un papel predominante en este proceso. En el tejido adiposo, la GH inhibe la lipogénesis cuando los animales están en balance positivo de energía y promueven la lipólisis cuando los animales están en un balance negativo de energía (Capuco y Akers, 2002). En el hígado, la GH promueve la gluconeogénesis la cual es importante en los rumiantes para la síntesis de leche. En otros tejidos, la actividad galactopoiética de la GH parece ser mediada por otros miembros del eje somatotrópico que incluye la IGF-I y sus proteínas de unión (Bauman, 1999).

En el músculo y otros tejidos corporales la GH disminuye la utilización de glucosa y la oxidación de aminoácidos. El resultado neto de esos cambios metabólicos es para mantener los nutrientes y la energía necesaria para la síntesis de lactosa, proteínas y lípidos de la leche. IGFs y sus proteínas de unión parecen ser más mediadores de los efectos sobre la glándula mamaria por lo cual la GH incrementa la síntesis de leche.

Además, se ha comentado de la participación de la tiroides en mantener la lactancia. En 1918, Grimer reportó que la producción de leche se redujo en cabras a las que se les extrajo la tiroides, posteriormente 1934 Graham mostró que la extracción de la tiroides a vacas lecheras redujo la producción de leche. Sin embargo, el tratamiento con tiroxina incrementó en aproximadamente un 20% la producción láctea. Como la tiroxina es eficaz cuando se administra en el alimento, ello despertó un interés considerable en la utilización práctica de la

hormona para incrementar la producción de leche en ganado bovino (Capuco *et al.*, 1989). Esto fue económicamente factible para la producción de la tiroxina y de proteínas iodadas con la actividad tiroidea a costo reducido. Sin embargo, numerosos experimentos indicaron que el proporcionar estos productos en la alimentación incrementó de un 10 a un 40% la producción. Sin embargo, el continuo tratamiento con estos productos tuvo un efecto galactopoiético de duración variable y la producción de leche retorno a un nivel normal o por debajo de lo normal (Capuco y Akers, 2002).

Las IGFs parecen tener un papel en la galactopoiésis cuando se aplica GH exógena. Cuando la producción de IGF-1 esta desacoplada de la regulación de la GH, tal como ocurre durante el balance negativo de energía, entonces la respuesta productora de leche a la GH desaparece. En cabras la infusión de IGF1 cerca de las arterias de la glándula mamaria incrementó la síntesis de leche (Prosser *et al.*, 1994). Esos datos soportan fuertemente el papel galactopoiético de la IGF-1. Sin embargo, hasta hoy se desconoce la actividad galactopoiética de la IGF-II.

La insulina es una hormona que tiene un papel importante en la regulación de la utilización de los nutrientes durante la lactancia, En rumiantes lecheros, la insulina no tiene un efecto sobre la toma de glucosa, acetato,  $\beta$ -hidroxibutirato y aminoácidos por parte de la glándula mamaria. Pero la aplicación de insulina exógena inhibe la producción de leche, en virtud de que tiene efectos metabólicos sobre otros tejidos. Por ejemplo, en el tejido adiposo la insulina promueve la toma de glucosa y acetato y estimula la lipogénesis e inhibe la lipólisis; mientras en el hígado la insulina inhibe la gluconeogénesis. Sin embargo, los atributos homeorréticos de la GH son ampliamente realizados en virtud de su habilidad para inhibir procesos que son estimulados por la insulina.

Con referencia a los glucocorticoides, se ha demostrado en ratas que la adrenalectomía reduce severamente la producción de leche. Además, la administración de glucocorticoides en animales intactos incrementa la producción de leche al retardar el decline en la producción en la lactancia tardía en los

rumiantes, Existe poca evidencia de que los glucocorticoides influyen sobre la producción de leche. Sin embargo la adrenalectomía también redujo la producción de leche y esta se restauró con el tratamiento de glucocorticoides (Capuco y Akers, 2002). El tejido mamario de los bovinos contiene receptores a glucocorticoides que están presentes durante la lactancia pero no antes del parto. Además, en el tejido mamario lactante el número de receptores a glucocorticoides se correlaciona con la toma de glucosa (Capuco y Akers, 2002).

### **2.2.3. Control Físico de la Galactopoiésis**

#### **2.2.3.1. Presión intramamaria**

La extracción de la leche de la glándula mamaria, y que implica la liberación de oxitocina (OT), es también un componente necesario para la galactopoiésis. Lo anterior es evidente del cese de la lactancia debido al ordeño incompleto y contrariamente, de la persistencia de la lactancia en respuesta a la extracción de la leche debido a inyecciones diarias de OT (Capuco y Akers, 2002).

La acumulación de leche en la glándula mamaria producto de la síntesis y secreción por las células epiteliales es regulada por un mecanismo local intramamario (Linzell y Peaker, 1971). Estudios desarrollados en cabras indican que la acumulación de leche a nivel cisternal y alveolar producto del cese del ordeño, ejerce una presión intramamaria ocasionando con ello una distensión del tejido mamario (Fleet y Peaker, 1978). Estos autores reportaron inicialmente que la distensión mamaria redujo la tasa de secreción de leche, debido en parte a una disminución en el flujo sanguíneo, bajo consumo de oxígeno, glucosa y lactato por la glándula mamaria. Sin embargo, la disminución de la secreción de leche no es debido a una disminución del flujo sanguíneo o del consumo de oxígeno o glucosa, si no que la distensión física perjudicó la estructura física de las células epiteliales provocando la pérdida de su actividad secretora (Peaker, 1980). Posteriormente, Henderson y Peaker (1984), propusieron que la secreción de leche no era regulada por la distensión física de la glándula mamaria, si no que más bien a que el agente regulador estaba propiamente incluido en la leche almacenada en la glándula mamaria.

#### **2.2.4. Factor inhibidor de la lactancia**

Se ha demostrado que existe un importante factor inhibidor de la lactancia. En efecto, es la presencia de un agente químico presente en leche que actúa con una retroalimentación negativa que inhibe la lactancia (Linzell y Peaker, 1971). Para identificar este agente activo, Wilde *et al.* (1987) incluyeron diferentes fracciones de proteína (10-30 kDa) de la leche de cabra en extractos de tejido mamario de conejas y ellos observaron que dicha inclusión inhibía la síntesis de lactosa y caseína. Resultados similares fueron observados en experimentos en vivo, en el cual la fracción de proteína fue inyectada vía intramamaria (Wilde *et al.*, 1988). El constituyente activo fue posteriormente purificado por cromatografía. Una de ocho fracciones de proteína fue potencialmente inhibitoria sobre la síntesis de proteína y caseína de la leche. La fracción de proteína identificada resultó ser una glicoproteína de 7.6 kDa sintetizada y secretada por las células epiteliales de la glándula mamaria y conocida como FIL (Wilde *et al.*, 1995). La acumulación de esta glicoproteína en la glándula mamaria entre intervalos de ordeño, provoca un feedback negativo sobre las células epiteliales productoras de leche (Peaker y Wilde, 1996). El frecuente vaciado de las glándulas mamarias, entonces, es una manera de eliminar el FIL e incrementar la producción de leche.

### **3.1. Factores que Influyen en la Producción de Leche en Rumiantes**

#### **3.1.1. Nutrición**

En vacas, ovejas y cabras, está bien documentado que el estado nutricional de las hembras antes y después del parto tiene un efecto importante sobre la producción de leche (Treacher, 1970; Morand-Fehr y Sauvant, 1980). Durante esta fase, la demanda de nutrientes para su oxidación en energía, es más alta en la glándula mamaria que en otros tejidos (Bauman *et al.*, 1980). En vacas, por ejemplo, el incremento en la demanda de nutrientes va de un 30 a un 50% (Bell, 1995), mientras que en cabras lecheras, el incremento es de un 47% (Annison y Linzell, 1964). Sin embargo, la demanda de nutrientes por la glándula mamaria depende mucho de la cantidad y calidad de la leche producida por los animales (Oftedal, 2000). Así, las hembras con alto potencial genético para la producción de leche, requieren una mejor calidad de nutrientes que los animales con bajo

valor genético (Lefryleux *et al.*, 2008). El efecto de la nutrición sobre la producción de leche, depende de entre otros factores de la proporción forraje: concentrado, el contenido de nutrientes en la dieta, la proporción energía: proteína y la cantidad de materia seca consumida (Kesler y Spahr, 1964; Morand-Fehr y Sauvant, 1978). En vacas con 305 días de lactancia, la producción de leche fue más alta (8295 kg) en hembras alimentadas con una proporción forraje/concentrado de 38:62 que en aquellas que fueron alimentadas con una proporción de 68:32 (6849 kg; Tessmann *et al.*, 1991). En cabras, la proporción 35:65 de forraje/concentrado, produjo más leche/ día (1.83 kg) que las cabras alimentadas con una proporción de 65:35 (1.55 kg; Tufarelli *et al.*, 2009). En un estudio realizado por Min *et al.* (2005), reportaron un incremento de 22% en la producción de leche, cuando las cabras pasaron de no recibir, a recibir 0.66 kg/día de concentrado.

El nivel de energía y proteína incluido en la dieta, es otro factor que puede limitar la cantidad de leche producida (Clark y Davis, 1980). En cabras de la raza Damascus y Zaraibi por ejemplo, la producción de leche fue más alta en las cabras que consumieron un nivel alto de energía en la dieta (Damascus, 0.960 kg/día y Zaraibi, 0.730 kg/día), que en aquellas que recibieron un nivel bajo (Damascus, 0.743 kg/día y Zaraibi, 0.691 kg/día; Gihad *et al.*, 1987). En otro estudio desarrollado por Sahlou *et al.* (1995), en cabras de la raza Alpina, se demostró que el aporte de 2.53 Mcal/kg de energía metabolizable en materia seca produjo más leche (3.26 kg/d) que un aporte de 1.8 Mcal/kg de energía metabolizable en materia seca (2.63 kg/d).

La cantidad de proteína en la dieta, es otro factor que modifica la producción de leche. En vacas Holstein Fresian, Oldham *et al.* (1979), reportaron una reducción en el porcentaje de proteína de la dieta de 22.3 a 10.7% redujo hasta 4 litros de leche por día, durante los primeras 10 semanas de lactancia. En ovejas de la raza Aragonesa, se reportó que la producción de leche fue más alta en las hembras que consumieron un nivel alto de proteína en la dieta (1.19 kg:216 g PC/día; 16.1% PC), que en aquellas que consumieron un nivel bajo de proteína (0.90 kg de leche: 175 g PC/día; 13.1% PC; Purroy, 1995).

### 3.1.2. Frecuencia de ordeño

El incremento en la frecuencia de ordeño ha sido una técnica que en animales lecheros ejerce una estimulación en el nivel de leche producida. En la vaca lechera una ordeña diaria durante la lactancia temprana se practica en algunos países para reducir el estrés metabólico (Davis *et al.*, 1999). En vacas, la comparación de 2 ordeñas contra una ordeña reduce desde un 7 hasta un 38 % la producción de leche (Knight, 1977 y Stelwagen *et al.*, 1994a). En ovejas, lo anterior reduce de un 15 a un 48% (Knight *et al.*, 1993; Negro *et al.*, 2001). En cabras Mocquot *et al.* (1981), indicaron que el doble ordeño aumenta la producción de leche en un 35% y que incluso el realizarlo 3 veces al día logra un alza adicional del 20%. El grado de la pérdida en la producción debido a una ordeña en estudios de corto plazo (duración de días a varias semanas) varía considerablemente y los rangos son tan pequeños del 7 % en la lactancia tardía (Stelwagen *et al.*, 1994a) hasta rangos del 40% en la lactancia temprana (Rémond *et al.*, 1999).

Salama *et al.* (2003) demostraron en la raza Murcino-Granadina que practicando una ordeña por día se reduce en un 18% la producción de leche sin afectar negativamente la composición, comparado con 2 ordeños. 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; Stelwagen y Knight, 1997). Este mecanismo ha sido demostrado en la lactación establecida. En vacas Wilde y Knight (1990) y en cabras Linzell y Peaker (1971) y Henderson *et al.* (1993) demostraron que si una glándula de un animal es ordeñada 3 veces al día, su producción se incrementa rápidamente en comparación a la otra glándula del mismo animal ordeñada solo 2 veces al día.

### **3.1.3. Efecto del Fotoperiodo de Días Largos Sobre la Producción de Leche**

Linzell, en 1973, reportó por vez primera en caprinos el efecto del fotoperiodo (duración del ciclo de luz-oscuridad en un día) sobre la producción de leche. Este autor observó que la producción de leche oscila de una manera estacional, siendo alto durante el verano (días largos) y baja durante el invierno (días cortos). Esta variación estacional en la producción de leche persistió independiente de la alimentación de las hembras, lo cual sugiere que la variación en la producción de leche en cabras, depende de la duración del día. Posteriormente, en condiciones de fotoperiodo artificial, el efecto de los días largos fue demostrado en ganado lechero. Al respecto, Peters *et al.* (1978), demostraron que cuando las vacas son sometidas a un fotoperiodo de días largos artificiales (16 h luz: 8 h oscuridad), la producción de leche es mayor que en aquellas hembras mantenidas bajo condiciones de fotoperiodo natural. A partir de ese tiempo se iniciaron una serie de estudios encaminados a determinar el efecto galactopoiético de los días largos sobre la producción de leche. En vacas, se han encontrado incrementos en la producción de leche que van de 2 a 3 kg por vaca por día, cuando las hembras se encuentran bajo un fotoperiodo de días largos artificiales, en comparación con las hembras mantenidas en un fotoperiodo de días cortos naturales o artificiales (Dahl *et al.*, 2000, 2003). En cabras de la raza Saanen en Francia, Delouis y Mirman (1984) demostraron un efecto de los días largos artificiales sobre la producción de leche. Estos autores encontraron un incremento de un 33% en la producción de leche cuando sometieron las cabras a un fotoperiodo de días largos artificiales durante el invierno, en comparación a las cabras mantenidas bajo condiciones de fotoperiodo natural. En cabras originarias de latitudes subtropicales, Garcia-Hernandez *et al.* (2007) encontraron que la exposición de las hembras a un fotoperiodo de días largos, 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).

Sin embargo, en esos animales hasta hoy se desconoce si reduciendo el tiempo de exposición de 16 a 14 horas de los por día puede ser efectivo para estimular la producción de leche. Con relación a esto, se ha reportado previamente que un fotoperiodo de 14 horas luz por día, los animales lo perciben como un día largo ya que ello inhibió la ovulación en animales no lactantes (Duarte *et al.*, 2010). Por lo que sería de gran interés investigar si exponiendo los animales a 14 horas luz por día pueda también estimular la producción de leche comparado con los animales que están en fotoperiodo corto natural.

#### **3.1.4. Mecanismo Fisiológico por el Cual los Días Largos Estimulan la Producción de Leche**

El mecanismo mediante el cual los días largos incrementan la producción de leche no está bien definido. Sin embargo, el efecto galactopoiético de los días largos ha sido asociado a un incremento en la GH y en consecuencia de la IGF-I. En efecto, en carneros como en machos cabríos la exposición al fotoperiodo de días largos incrementa las concentraciones de la GH (Barenton *et al.*, 1989; Gazal *et al.*, 2002), lo cual en las hembras podría promover la producción láctea. En vacas lecheras por ejemplo, Dahl *et al.* (1997) encontraron que las vacas expuestas a un fotoperiodo de días largos artificiales incrementaron su producción de leche, pero también mostraron un incremento en la secreción de IGF-I. Es probable que el incremento en la producción de leche, provocado por los días largos sea mediado por la IGF-I a nivel de la glándula mamaria. Por ejemplo, cuando las cabras son inyectadas vía intramamaria utilizando IGF-I, la producción de leche se incrementa en la glándula mamaria inyectada en comparación a la glándula no tratada (Prosser *et al.*, 1990). La GH, al parecer es otra hormona por la cual los días largos podrían inducir un efecto galactopoiético. Sin embargo, existe poca evidencia del efecto del fotoperiodo sobre la producción de leche a través de la secreción de GH (Peters y Tucker, 1978; Miller *et al.*, 2002

1999). De hecho, en vacas lecheras, se demostró que el incremento de la IGF-I como consecuencia del efecto del fotoperiodo de días largos, fue independiente de la secreción de la GH. Por lo tanto, el incremento de la IGF-I en animales expuestos a un fotoperiodo de días largos es regulado a nivel glándula mamaria y no por la liberación de estos factores a nivel sistémico (Kendall *et al.*, 2003). La PRL es otra hormona mediante la cual los días largos podría ejercer un efecto galactopoiético (Dahl *et al.*, 2000). Las concentraciones de esta hormona son mayores durante los días largos y disminuyen cuando se reduce la duración del día. Similarmente, cuando los animales son sometidos a una alternancia de días cortos artificiales seguido de días largos artificiales la secreción de la PRL es mayor en días largos que en días cortos (Mabjesh *et al.*, 2007; Morrisey *et al.*, 2008). Como esta hormona es parte del complejo hormonal galactopoiético, entonces es posible que a mayor concentración de ésta también la producción láctea sea mayor. En efecto, estudios recientes han destacado la importancia de la PRL sobre la secreción de leche (Lacasse y Ollier, 2015; Lacasse *et al.*, 2016), lo cual también se había demostrado en ovejas (Hooly *et al.*, 1978). Por ejemplo, en la cabra lechera una inyección de carbegolina (un inhibidor dopaminérgico de la liberación de prolactina), causó un 28% de disminución en la producción de leche un día después de la inyección (Lacasse *et al.*, 2016).

### **3.1.5. Influencia de Proporcionar un Pulso de luz Durante la Fase Oscura Sobre la Interpretación de los Animales Como un día Largo**

Estudios previos en el carnero en los que se pretendía investigar una fase fotosensible para que los animales al proporcionarles un pulso de luz extra (1h) dado a las 10, 13, 16 o 19 horas después del alba, concluyeron que es a 16 horas cuando los animales respondieron ha dicho pulso de luz como un día largo (Ravault y Ortavant, 1977). En efecto, los carneros sometidos a este esquema luminoso (1 h de luz extra a 16 h después del alba) presentaron mayores concentraciones de PRL (indicativo de percibir días largos) que los carneros a los que se les proporcionó el pulso de luz en las otras horas mencionadas (Ravault y Ortavant, 1977). Lo anterior fue soportado por estudios en carneros a los que se les proporcionó el pulso de luz durante 2 meses (días largos) seguido de 3

meses de días cortos lo que resultó en un crecimiento significativo de los testículos, comparado con los carneros control (Chemineau *et al.*, 1988).

Tomando en consideración estos argumentos y con el hallazgo de que el pulso de luz proporcionado a 16 h después del alba induce elevadas concentraciones de PRL, ¿sería probable que en las cabras que paren durante los días cortos naturales, el exponerlas a un pulso de luz durante la fase oscura pueda estimular su producción de leche como ocurre cuando son expuestas a un fotoperíodo de 16 h luz?

#### **4.1. Actividad Sexual Durante la Lactancia**

##### **4.1.1 Influencia del Amamantamiento de las Crías**

Se ha demostrado que el intervalo del parto al primer estro postparto es más largo en vacas que amamantan a sus becerros que en las que no los amamantan y que en las vacas que son ordeñadas (Oxenreider y Wagner, 1971). Asimismo, se ha demostrado que este efecto es la mera estimulación que recibe la glándula mamaria durante la succión de los pezones que provoca la liberación de péptidos opioides que inhiben la liberación de la LH (Gordon y Siegmann, 1991; McNeilly, 2006). En la oveja, estudios previos demostraron también que la intensidad del amamantamiento es la causa de la inhibición de la actividad sexual postparto. De manera que Fletcher (1971) reportó en ovejas que existe una correlación positiva entre la frecuencia de amamantamiento con la duración del período de anestro postparto. Es decir, que las ovejas que amamantaron más frecuentemente a sus corderos también tuvieron un anestro postparto más prolongado. De hecho, algunos estudios en los que se ha controlado o reducido los periodos de amamantamiento se ha reducido el período de anestro postparto. Por ejemplo, Reeves y Gaskins (1981) reportaron que en las vacas Angus que amamantaron a sus becerros una vez/día durante 30 min iniciando a los 21 días postparto mostraron celo 20 días antes que las vacas en continuo amamantamiento de sus becerros. De manera similar, Randel (1981) reportó que en las vaquillas Brahman- x Hereford que amamantaron una vez diaria por 30 min a partir del día 30 postparto se redujo el intervalo de anestro postparto de 168 a 69 días sin que se afectara los pesos de los becerros al destete. Sin embargo, en vacas

productoras de carne, un equipo de estadounidenses demostró que no solo es el amamantamiento *per se* lo que causa la inhibición de la actividad sexual postparto. En efecto, ellos demostraron que el período de anovulación postparto fue más corto cuando a las vacas se les destetó los becerros poco después del parto y en las vacas que se les forzó amamantar a un becerro ajeno. En cambio, el período de anovulación postparto fue más largo en el grupo de vacas que amamantaron a sus propios becerros (Silveira *et al.*, 1993). Lo anterior demuestra que es el vínculo madre-cría el que también es un componente en la inhibición de la actividad sexual postparto causado por el amamantamiento de las crías.

#### **4.1.2. Influencia de la Producción de Leche y el Balance Negativo de Energía (BNE)**

En el ganado Holstein Friesian, el pico de lactancia coincide con un intervalo parto–primer servicio que es recomendado sea a los 60 días postparto. La importancia de este período crítico es vital para la eficiencia productiva y reproductiva en el animal. Por ejemplo, es recomendable que en el ganado lechero exista un intervalo entre partos de 12 meses (Esslemont, 1974; Bar-Anan y Soller, 1979) y para lograr esto la vaca deberá gestarse aproximadamente a los 85 días postparto (De Kruif y Brand, 1978). Bar-Anan *et al.* (1985) encontraron que las vacas que son inseminadas coincidente con su pico de lactancia tuvieron tasas de concepción bajas que otras vacas que no estaban en su pico de lactancia. Durante la lactancia temprana, el aumento en la ingesta no logra mantener el ritmo de la elevada producción de leche; así, resultando en un BNE y la movilización de reservas corporales, lo cual afectan directamente el intervalo del parto a la primera ovulación postparto (Dhaliwal *et al.*, 1996). Asimismo, el retardo en el inicio del crecimiento folicular en el ovario limita el número de ciclos estrales antes de la reproducción y resulta en una disminución de la fertilidad. Thatcher y Wilcox (1973) sugirieron que las vacas que muestran varios períodos de celo durante los primeros 30 días postparto requirieron menos inseminaciones que las vacas que no mostraron celo durante ese tiempo. En vacas, los días al primer celo han sido correlacionados de manera negativa con la producción de leche (Harrison, 1985). Asimismo, en las vacas altas productoras de leche tienen

períodos prolongados para poder expresar la conducta estral (Harrinson *et al.*, 1990).

Las vacas con baja condición corporal (CC) al parto, o que sufren una pérdida excesiva de CC al inicio del postparto, tienen menos probabilidades de ovular, también tienen una mayor probabilidad de pérdida de la gestación y un incrementado intervalo del parto a la concepción (Berry *et al.*, 2007; Roche *et al.*, 2009). La fertilidad en vacas que paren con una  $CC \geq 3.5$  puntos se ve comprometida, ya que ellas reducen el consumo de materia seca justo antes del parto. También durante el postparto ellas tardan más en incrementar su consumo de materia seca y tienden a tener mayor movilización de grasa y por ello, un severo BNE que las vacas que paren con una CC óptima (Roche *et al.*, 2009). Además, se ha reportado que el BNE causa sub fertilidad de la 6-10 semanas postparto (Britt, 1992), es decir, el tiempo requerido para la recuperación del balance de energía.

En la cabra, no existe abundante literatura que describa estas relaciones entre la producción de leche y el estado anovulatorio durante la lactancia. La raza, la duración de la lactancia y la producción de leche ejercen efectos negativos sobre la recuperación de la actividad reproductiva postparto en cabras de regiones tropicales (Takayama *et al.*, 2010). Los efectos de un BNE sobre la fertilidad están relacionados a cambios endócrinos y metabólicos. Lo anterior influye sobre el crecimiento folicular y consecuentemente en la producción de progesterona por el cuerpo lúteo (McGregor, 2005). En acuerdo con las recomendaciones de la NRC (2007), el consumo de energía durante el postparto en cabras fluctúa en base al número de crías, producción de leche y la CC al parto. De manera que el proporcionar una adecuada nutrición permita que las hembras paren con una condición corporal de entre 2.5 y 3.5 (Cezar y Souza, 2006), lo cual ayuda a reducir los efectos de un BNE y facilita el pronto reinicio de la actividad ovárica.

#### **4.1.3. Presencia del Macho y Efecto Macho Durante el Postparto**

En ungulados, la presencia del macho junto a las hembras lactantes puede influenciar el tiempo al cual se inicia la actividad sexual postparto. Así, como es conocido en la cerda, la actividad ovárica después del parto es inhibida debido a los efectos de la lactación. Sin embargo, Rowlinson *et al.* (1975) agruparon cerdas y sus camadas a tres semanas postparto y subsecuentemente las expuso al macho y ello resultó en que todas las cerdas presentaran celo. Así, el intervalo del momento de agruparlas y la presentación del celo fue de 12 días, con una tasa de concepción del 85%. Posteriormente, Walton (1986) reportó que la exposición al macho antes o después del destete de las crías fue eficiente en reducir el anestro postparto. Así, esta exposición al macho resultó en que un 95% de las cerdas mostraran celo y ovularan dentro de los 20 días después del destete comparado con las cerdas aisladas que solo mostraron celo un 45% de ellas y el 38% ovularon.

De los primeros estudios en bovinos, McMillan *et al.* (1979) reportaron que la exposición a machos vasectomizados antes del período natural de apareamiento en vacas que paren en la primavera se asoció con un incremento significativo en el porcentaje de vacas detectadas en estro durante un programa de inseminación (69 y 40 % en vacas expuestas previamente al macho y en aisladas del mismo respectivamente). Otros estudios previos han examinado el efecto de la exposición al toro en el reinicio de la actividad estral posparto en la vaca. Así, Zalesky *et al.* (1984) encontraron que las vacas expuestas a toros maduros durante el período posparto temprano iniciaron su ciclos estrales antes que aquellas no expuestas a toros (41 y 62 d, respectivamente).

La influencia de la presencia de toros maduros puede depender del tiempo posparto cuando los toros son introducidos a las vacas. Así, Alberio *et al.* (1987) informaron que la exposición de las vacas a los toros vasectomizados a los 58 d después del parto resultó en un porcentaje más alto exhibiendo estro dentro de los 28 días de exposición en comparación con las vacas no expuestas (67.9 y 32.7%, respectivamente). Por otra parte, Scott y Montgomery (1987) reportaron que no hubo diferencia en anestro postparto cuando los toros se introdujeron

21 d antes de la inicio de la temporada de cría (69 y 73 días para vacas expuestas y no expuestas).

En la oveja, también se ha demostrado que la presencia del carnero puede tener influencia importante sobre el retorno de la actividad sexual postparto. Por ejemplo, Lassoued *et al.* (2004) reportaron que el 100% de las ovejas paridas que tuvieron contacto permanente con el carnero ovularon, mientras que solo el 50% de las aisladas del macho lo hicieron. Más recientemente, Ferreira-Silva *et al.* (2016) trataron ovejas de la raza Santa Inés y Morada Nova durante el postparto con insulina y progesterona y las sometieron a efecto macho. Estos investigadores encontraron que independientemente del tratamiento hormonal, el efecto macho por si solo fue efectivo para inducir y sincronizar el estro en ovejas durante el postparto.

De manera importante, cuando las ovejas y las cabras que parieron en los días cortos naturales y que fueron expuestas a un tratamiento de días largos artificiales se les indujo una completa inhibición de la actividad ovulatoria postparto en los primeros 75 días de lactancia (Bocquier *et al.*, 1993; Hernández *et al.*, 2006). Con estos argumentos surge una pregunta importante ¿podría la introducción de un macho sexualmente activo estimular la actividad sexual en un grupo de cabras anovulatorias debido a que han recibido un tratamiento de días largos artificiales por 100 días?.

### **CAPITULO III.**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las cabras subtropicales son sensibles a los cambios del fotoperiodo. Estudios previos han demostrado que cuando las cabras son expuestas de manera alternada a 3 meses de días cortos artificiales (de 8 h luz/día) y 3 meses de días largos artificiales (14 h luz por/ día) se estimula e inhibe la actividad ovárica respectivamente. Estos resultados sugieren fuertemente que el fotoperiodo de 14 h luz por día es interpretado por estas cabras subtropicales como un día largo. Como la mayoría de los trabajos en rumiantes en los que se estimuló la producción de leche con la administración de días largos han sido realizados proporcionando 16 h luz/día o más, entonces, surge la pregunta de que el proporcionar solo 14 luz/día pueda estimular el nivel de producción de leche cuando las cabras subtropicales paren durante los días cortos naturales. Por ello, uno de los objetivos generales de la presente tesis fue investigar si en las cabras que paren en días cortos naturales la exposición a 14 h de luz/día pueda resultar en un efecto galactopoiético. De igual forma, cuando las hembras ovinas y caprinas son expuestas al menos durante los primeros 75 días de la lactancia a días largos artificiales para estimular su producción de leche, se induce una completa inhibición de su actividad sexual. Con este hecho, y conociendo que el efecto macho utilizando machos fotoestimulados puede estimular la actividad sexual de las cabras estacionalmente anovulatorias, resulta interesante investigar si en las cabras tratadas por más de 100 días con días largos artificiales para estimular su producción láctea el efecto macho puede inducir la actividad sexual de esas hembras. Por lo cual el segundo objetivo de la presente tesis fue investigar si el tratamiento con días largos artificiales por más de 100 días a cabras que parieron en días cortos naturales no sea un impedimento para que mediante el efecto macho se estimule su actividad sexual.

Por 30 años estudios realizados por investigadores franceses en carneros y cabras determinaron que los animales tienen una fase fotosensible y que con solo proporcionarles 1 h de luz extra a 16 h después del alba (flash) ello fue interpretado como un día largo. Lo anterior fue confirmado por los niveles de PRL

circulantes en los animales. Es decir, los animales expuestos al flash de una hora mostraron mayores niveles de PRL que los animales mantenidos en fotoperiodo corto artificial. Entonces, con el hallazgo anterior surge la pregunta ¿es posible que si las cabras subtropicales que inician su lactación en invierno sean expuestas a un flash de 1 hora se estimule su producción láctea? Por lo que el tercer objetivo general de la presente tesis fue determinar en cabras locales de la comarca lagunera si dicho flash de luz en cabras que paren en invierno estimule la producción de leche.

#### **CAPITULO IV. OBJETIVOS GENERALES**

3.1. Investigar si en las cabras locales que paren en los días cortos naturales la exposición a un fotoperiodo artificial de 14 horas luz por día estimula la producción de leche (**Artículo 1**).

3.2. Investigar si en las cabras locales que paren en los días cortos naturales y que son expuestas a días largos artificiales por más de 100 días para estimular su producción de leche son capaces de responder sexualmente al efecto macho al término del tratamiento luminoso (**Artículo 1**).

3.3. Investigar si en las cabras locales que paren en los días cortos naturales si la exposición a una hora de luz extra (flash) proporcionada a 16 horas después del alba tiene un efecto galactopoiético (**Artículo 2**).

## **CAPITULO V. HIPÓTESIS**

4.1. En las cabras locales que paren en los días cortos naturales la exposición a un fotoperiodo largo consistente en 14 horas luz por día estimula la producción de leche (**Artículo 1**).

4.2. En las cabras anovulatorias que paren en los días cortos naturales y que son expuestas de manera prolongada a días largos artificiales, el efecto macho induce su actividad sexual al final del tratamiento luminoso (**Artículo 1**).

4.3. En las cabras locales que paren en los días cortos naturales la exposición a una hora de luz extra (flash) proporcionada a 16 horas después del alba tiene un efecto galactopoiético (**Artículo 2**).

**CAPITULO VI.**  
**CARTAS DE ACEPTACIÓN Y ENVÍO DE ARTÍCULOS**

Reproduction in Domestic Animals - Decision on Manuscript ID RDA-  
OA-Feb-2018-0071.R1

Reproduction in Domestic Animals <onbehalf@manuscriptcentral.com>

lun 19/03/2018 03:44 a.m.

Para: hernandezhoracio@outlook.com <hernandezhoracio@outlook.com>;

19-Mar-2018

Dear Dr Hernández:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield" in its current form for publication in the *Reproduction in Domestic Animals*.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the *Reproduction in Domestic Animals*, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Your article cannot be published until the publisher has received the appropriate signed license agreement. Within the next few days the corresponding author will receive an email from Wiley's Author Services system which will ask them to log in and will present them with the appropriate license for completion.

If you wish your article to be available to non-subscribers on publication, please see the information on Online Open at the bottom of this email.

Please note that, effective with the 2015 volume, this journal is published in an online-only format.

Sincerely,  
Professor Heriberto Rodriguez-Martinez  
Editor, *Reproduction in Domestic Animals*  
hrm.rda@ike.liu.se

Referee(s)' Comments to Author:

Referee: 1

Comments to the Author

"OnlineOpen is available to authors of primary research articles who wish to make their article available to non-subscribers on publication, or whose funding agency requires grantees to archive the final version of their article. With OnlineOpen, the author, the author's funding agency, or the author's institution pays a fee to ensure that the article is made available to non-subscribers upon publication via Wiley Online Library, as well as deposited in the funding agency's preferred archive.

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/search/rp>

## ARTICULO 1

Received: 13 February 2018 | Accepted: 19 March 2018

DOI: 10.1111/rda.13194

## ORIGINAL ARTICLE

WILEY 

# Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield

ES Mendieta<sup>1</sup> | JA Delgadillo<sup>1</sup> | JA Flores<sup>1</sup> | MJ Flores<sup>2</sup> | E Nandayapa<sup>1</sup> |  
 LI Vélez<sup>2</sup> | LA Zarazaga<sup>3</sup>  | M Bedos<sup>4</sup> | A Terrazas<sup>5</sup> | H Hernández<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, Mexico

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, Mexico

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, Palos de la Frontera, Huelva, Spain

<sup>4</sup>CONACYT - Instituto de Neurobiología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNAM-Juriquilla, Querétaro, Querétaro, Mexico

<sup>5</sup>Departamento de Ciencias Pecuarias, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Mexico

## Correspondence

Horacio Hernández, Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, Mexico.  
 Email: hernandezhoracio@outlook.com

## Contents

The objectives of this study were to determine (i) if in subtropical goats that gave birth during mid-December, the exposition to an artificial long-day photoperiod consisting in only 14 hr of light per day can increase the milk yield and (ii) to test whether these females can respond to the male effect at the end of the prolonged photoperiodic treatment. In experiment 1, 17 lactating goats were maintained under natural short days (control group), while another 22 goats were maintained under artificial long days (treated group) consisting in 14 hr light and 10 hr darkness starting at day 10 of lactation. The continuous exposition to an artificial long-day photoperiod produced an increase in the milk yield level during the first 110 days of lactation (time × treatment interaction;  $p = .01$ ), while none of the milk components were modified due to the photoperiodic treatment ( $p > .05$ ). In experiment 2, all control and treated anovulatory goats were submitted to the male effect using photostimulated males. All females showed oestrous behaviour within the first 10 days that were in contact with males (100% in both groups;  $p > .05$ ). Thus, the latency to onset of oestrus did not differ between females from control ( $58.2 \pm 3.0$  hr) and treated ( $62 \pm 4.6$  hr) groups. Male exposition provoked ovulation independently if females were previously under long days or natural photoperiod (96 vs 100%, respectively;  $p = .79$ ). It was concluded that exposure to 14 hr of light per day in subtropical goats that gave birth in late autumn stimulates milk yield without preventing the ovulation in response to the male effect at the end of the prolonged photoperiodic treatment.

## 1 | INTRODUCTION

Several ruminant species have developed physiological mechanisms to cope with the environmental changes and ensure the neonate survival, thus propagating these species. In some small ruminants, such as goats and sheep, animals restrict their breeding season to a short period of the year, allowing births to occur during favourable environmental temperatures and high availability of pastures (Bronson, 1989). The reproductive seasonality in goats and sheep is mainly modulated by changes in the day length; natural decreasing

or artificial short days stimulate ovulations, whereas natural increasing or artificial long days inhibit it (Thimonier, 1981). In goats from subtropical regions, ovulation is always stimulated during artificial short days (10 hr light/day) when exposed to alternations between 3 months of long and 3 months of short days (Duarte, Nava-Hernández, Malpaux, & Delgadillo, 2010). It is important to mention that in these subtropical animals, proportioning only 14 hr light/day inhibited the ovulatory activity, so it is deduced that these goats interpreted it as long days (Duarte et al., 2010). In addition, in these subtropical regions, the maximum duration of the day is 14 hr

light, so it is possible that these animals interpret this duration of the day as long day.

Photoperiod does not only time the reproductive activity, but also modifies the physiology of lactation in reproductive seasonal and non-seasonal species (Bocquier, Kann, & Thériez, 1990; Peters, Chapin, Leining, & Tucker, 1978). Lactating cows exposed during 3 or 4 weeks to artificial long days (16 hr light: 8 hr darkness) produced 3 kg/day more milk than cows maintained under artificial short days (Dahl, Buchanan, & Tucker, 2000). In goats, Garcia-Hernandez, Newton, Horner, and Nuti (2007) reported that exposure to a photoperiod consisting in 20 hr light and 4 hr of darkness was effective to increase the milk yield. In subtropical goats that gave birth during autumn, several studies demonstrated that exposition to artificial long days consisting of 16 hr light and 8 hr darkness increased by 21% the milk yield compared with animals under natural decreasing days (Flores et al., 2011, 2013, 2015; Hernández et al., 2016). However, in these animals, it remains unknown if reducing the exposure from 16 to 14 hr of light/day can be effective to stimulate milk production, like reported previously that this light regime inhibits ovulation (Duarte et al., 2010).

When goats start their lactation in November, they remained anovulatory due to an interaction between lactation and the closeness to seasonal anestrus (Flores et al., 2013). Interestingly, when lactating ewes or goats were exposed to artificial long-day treatments during the first 75 days of lactation, a complete inhibition in post-partum ovulatory activity was induced (Bocquier, Kann, & Thimonier, 1993). Indeed, the long-day photoperiod exposition inhibits the recovery of post-partum ovulatory activity, as observed in non-lactating goats (Duarte et al., 2010; Maeda, Mori, & Kano, 1988).

In anovulatory goats, the introduction of male goats rendered sexually active during the seasonal rest by a photoperiodic treatment consisting of artificial long days, successfully induced ovulations in most females, whereas the untreated males, and therefore sexually inactive, did not so. In addition, the permanent presence of the photostimulated males allows females to ovulate during the seasonal anestrus (Delgadillo et al., 2015). However, we do not know whether lactating goats exposed for more than 100 days to artificial long days to increase their milk yield can ovulate in response to the introduction of photostimulated males. Therefore, considering the findings described previously, we hypothesized that (i) goats kidding during late autumn and exposed to long days consisting in 14 hr of light and 10 hr of darkness will produce more milk than those under natural short photoperiod and (ii) that these goats will ovulate when exposed to the photostimulated males at the end of the photoperiodic treatment.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

### 2.1 | Animals and general management conditions

The experimental procedures reported in this study were in accordance with the Official Mexican Rule NOM-062-ZOO-1999 of the Technical Specifications for the Production, Care, and Use of

Laboratory Animals (SAGARPA, 2001) and with the ARRIVE guidelines (Kilkenny, Browne, Cuthill, Emerson, & Altman, 2010).

We used 39 Creole multiparous female goats of 2- to 3-year-old that had given birth on 12 December 2014 ( $\pm 2.0$  days; mean  $\pm$  SEM). All used goats in this study belonged from the same farm. The goats were fed 2.5 kg/animal of alfalfa hay (18% CP) and 0.3 kg/day of commercial concentrate (14% CP; 1.7 Mcal/kg)/animal. Mineral blocks and clean water were available in the pens.

### 2.2 | Groups

Seventeen goats ( $42.7 \pm 2$  kg of body weight (BW) and  $1.8 \pm 0.1$  points of body condition score (BCS) and with a milk yield of  $1.5 \pm 0.1$  kg) were maintained under natural photoperiodic conditions from December to March (control group). During the experiment, the mean time at sunrise was 07:21 a.m. and the mean time at sunset was 18:46 p.m., resulting in average a day length of 11 hr 25 min. On the other hand, another 22 goats (BW:  $45.4 \pm 2$  kg; BCS:  $1.7 \pm 0.1$  points) with a milk yield of  $1.5 \pm 0.1$  kg were exposed to artificial long days consisting of 14 hr light and 10 hr darkness starting at day 10 of lactation (treated group). The prolificacy was not different between the females from the control and treated groups (1.4 in both cases). In the treated group, artificial long days was possible since the pens ( $10 \times 10$  m) were equipped with daylight type lamps that emitted a minimum luminous intensity of 400 lx at the eye level of the goats. Lights were on from 06:00 to 09:00 a.m. and from 17:00 to 20:00 p.m. to extend the duration of the natural day and obtain a total of 14 hr light/day.

### 2.3 | Experiment 1

The objective of this experiment was to test the hypothesis that goats kidding during late autumn and exposed to artificial long days consisting in 14 hr of light and 10 hr of darkness produce more milk than those under natural short photoperiod.

#### 2.3.1 | Milk yield

The weaning of all kids was performed at day 17 post-partum. After weaning, milk yield was assessed weekly as follows: females were hand milked twice daily, a first emptying of the udder was performed at 19:00 p.m. the day before starting each measurement, and the milk production was measured on the following two milking at 12-hour intervals (at 07:00 a.m. and 19:00 p.m.) the next day. After each hand milking, oxytocin (2 IU) was injected into a jugular vein of each female to extract residual milk. The obtained milk was weighed and added to the amount previously obtained from hand milking. The milk yield was assessed up to day 110 post-partum.

#### 2.3.2 | Milk components

The milk contents were determined weekly starting at 26 days post-partum. To this end, in each measurement, a sample of milk (20 ml) was

collected in a plastic tube from the total quantity obtained by hand milking after assessing milk yield. Samples of milk were transported to the laboratory in a cooler box containing refrigerant gels. In the laboratory, we determined fat, protein and lactose contents by means of a milk analyser (MilkoScope Expert, Scope Electric, Razgrad, Bulgaria).

## 2.4 | Experiment 2

### 2.4.1 | Male effect

When females from the experiment 1 reached 113 days of lactation, they were submitted to the male effect to induce the oestrous and ovulatory activity. Previously, two transrectal ultrasonographies were performed 20 and 5 days before introducing the males to confirm the anovulatory condition of females, that is absence of corpus luteum. Inspection of the ovaries was made using an Aloka SSD-500 scanner connected to a transrectal 7.5-MHz linear probe. Four male goats were induced to an intense sexual activity by means of a long-day treatment lasting from 1 November to 15 January (Delgadillo et al., 2015). From 16 January onwards, male goats were exposed to natural photoperiodic conditions. This photoperiodic treatment induces an intense sexual behaviour of males during the sexual, allowing them to stimulate the ovulatory and oestrous activity in most of the seasonal anovulatory females (Bedos, Muñoz, Orihuela, & Delgadillo, 2016).

### 2.4.2 | Measurements

Oestrous behaviour was monitored twice a day (a.m.–p.m.) during the first 10 days of contact with the males. The males were provided

with a harness to avoid penetration of the females during oestrous detection. For this purpose, males were switched between groups in the morning and afternoon, to stimulate them to search the goats in oestrus.

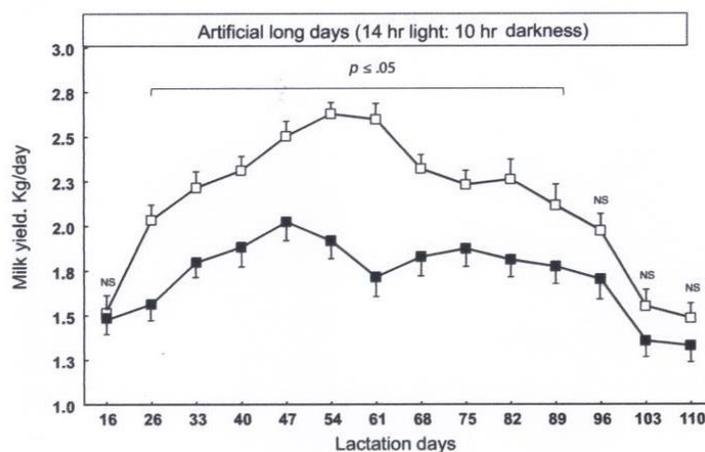
The mounting behaviour of the buck was observed and a female was recorded as being in oestrus when she accepted at least one mounting attempt by the male. Ovulations were determined by the presence of a corpora luteum in one of the ovaries by means of an ultrasonography performed 15 days after the introduction of the males. The occurrence of oestrous behaviour with ovulation was calculated.

### 2.5 | Body condition score (BCS)

At days 26, 40, 54, 68, 82, 96 and 110 post-partum, the BCS was monitored in all females from both groups. For this purpose, a trained person palpated the spinous and lateral processes, as well as the musculature of the lumbar spine of each female as described previously in this species by Santucci and Maestrini (1985).

### 2.6 | Statistical analyses

In experiment 1, the comparison of milk yield and their contents between the two groups was analysed using an ANOVA for repeated measures considering the time of lactation as within factor and treatment as between factor and their interactions. Due to the discrete nature from BCS data, this variable was compared using a non-parametric Friedman test. In experiment 2, the proportions of goats that showed oestrus and ovulation in response to male introduction



**FIGURE 1** Mean ( $\pm$  SEM) daily milk yield during first 110 days of lactation in subtropical female goats ( $n = 17$ ) that initiated their lactation in late autumn and were maintained under natural short-day photoperiod (control, ■). Another group of female goats ( $n = 22$ ) was maintained under a long-day photoperiod consisting in 14 hr of light per day (treated, □). The ANOVA reveals a significant effect of time of lactation ( $p = .0001$ ) as well as an interaction time  $\times$  treatment ( $p = .01$ ). Statistical differences between treatments are indicated by the  $p$  value. NS, Non-significant

were compared using the Fisher exact test. The latency from male introduction to the onset of oestrous behaviour was compared using a two-sample *t* test. The level of statistical significance was set at  $p \leq .05$ . All analyses were run using SYSTAT 13 software package (Systat Software, San Jose, CA).

### 3 | RESULTS

#### 3.1 | Experiment 1

##### 3.1.1 | Effect of exposure to artificial long-day photoperiod (14 h light: 10 h darkness) on milk yield

In goats from the control and treated groups, milk yield varied throughout the study (Figure 1;  $p = .0001$ ) and a main effect of the treatment was observed on milk yield ( $p = .001$ ). In addition, there was an interaction time  $\times$  treatment (repeated measures ANOVA;  $p = .0001$ ), indicating that the milk yield differed among groups through the study (Figure 1). In fact, goats exposed to artificial long days (treated, 14 hr light) yielded about 23% more milk than goats under natural photoperiod (control) throughout the experiment ( $p = .001$ ).

##### 3.1.2 | Effect of exposure to artificial long-day photoperiod (14 h light: 10 h darkness) on milk components

Fat content did not differ between control and treated goats (Figure 2, upper). In fact, ANOVA evidenced an effect of the time of lactation on fat content ( $p = .0001$ ); however, neither a treatment effect nor an interaction time  $\times$  treatment was detected statistically significant ( $p = .54$  and  $p = .83$ , respectively). The general effect of time explains the fat content decrease in milk production observed throughout the study.

Protein content did not differ between the samples of milk obtained in the two groups of goats (Figure 2, middle). Thus, ANOVA evidenced an effect of the time of lactation on protein content ( $p = .0001$ ); nonetheless, neither the treatment effect nor the interaction time  $\times$  treatment was detected statistically significant ( $p = .59$  and  $p = .94$ , respectively).

In relation to lactose content, there was no difference between control and treated goats (Figure 2, bottom). The ANOVA revealed an effect of the time of lactation on lactose content ( $p = .0001$ ); nonetheless, neither the treatment effect nor the interaction time  $\times$  treatment was detected statistically significant ( $p = .94$  and  $p = .99$ , respectively).

#### 3.2 | Experiment 2

##### 3.2.1 | Oestrous response

All females from control and treated groups displayed oestrous behaviour during the 10 days of contact with the males (Table 1,

$p > .05$ ). The daily proportion of goats in oestrus for the 10 days of contact with the males and the interval between the introduction of males and the onset of oestrous behaviour did not differ among groups (Figure 3; Table 1,  $p = .48$ ).

##### 3.2.2 | Ovulatory response

The proportion of goats that ovulated in response to the introduction of males did not differ between control and treated groups (Table 1,  $p = 1.0$ ). Overall, most females of both groups ovulated in response to the male effect (95.5 and 100% in treated and control groups, respectively).

##### 3.2.3 | Oestrous–ovulation association and frequency of short oestrous cycles

The proportion of females that displayed ovulation associated with oestrous behaviour did not differ between control and treated groups (76%, 14/17 vs 55%, 12/22, respectively;  $p = 0.19$ ). The proportion of females that showed only ovulation without oestrous behaviour was not different between control and treated groups (6.0%, 1/17 vs 23%, 5/22, respectively;  $p = 0.20$ ). The frequency of short cycles did not differ between females from control and treated groups (53%, 9/17 vs 46%, 10/22, respectively;  $p = .75$ ).

#### 3.3 | BCS of the females during the study

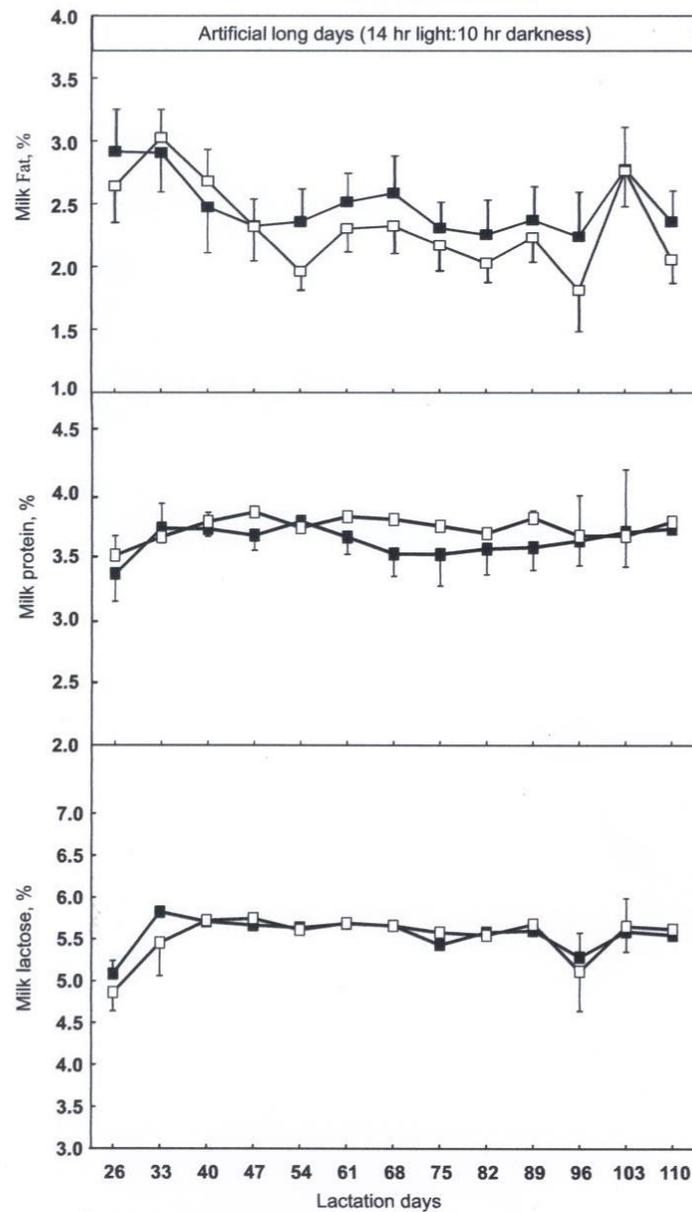
The BCS of the females from both groups displayed variations throughout the time of lactation ( $p < .01$ ); however, this variable did not differ between the females from control and treated groups at any stage of lactation ( $p \geq .22$ ; Figure 4).

## 4 | DISCUSSION

The results of the present study confirmed the hypothesis that exposure to only 14 hr of light per day in lactating goats giving birth during late autumn stimulates their milk yield level compared with goats under natural short days, and this treatment did not modify the milk components. Furthermore, our results showed that the continuous exposure for 100 days to this photoperiodic treatment did not prevent the induction of the oestrous and ovulatory activity in response to the male effect at the end of the photoperiodic treatment.

##### 4.1 | Effect of exposure to long photoperiod (14 h light: 10 h darkness) on milk yield and its contents

In the present study, the continuous exposure to an artificial long-day photoperiod of 14 hr of light per day increased milk production during the first 100 days of lactation in goats that had given birth during late autumn. The findings of the current study agree with those described by Garcia-Hernandez et al. (2007) and Flores et al.



**FIGURE 2** Mean ( $\pm$  SEM) content of fat (upper), protein (middle) and lactose (bottom) in milk from subtropical goats kidding during late autumn and maintained under natural short-day photoperiod ( $n = 17$ ; control, ■) or submitted to an artificial long-day photoperiod consisting in 14 hr of light per day ( $n = 22$ ; treated, □). For the three components, ANOVA only revealed an effect of time of lactation ( $p = .0001$ ), but neither treatment effect nor time  $\times$  treatment interaction was significant ( $p \leq .94$  and  $p \leq .99$ , respectively)

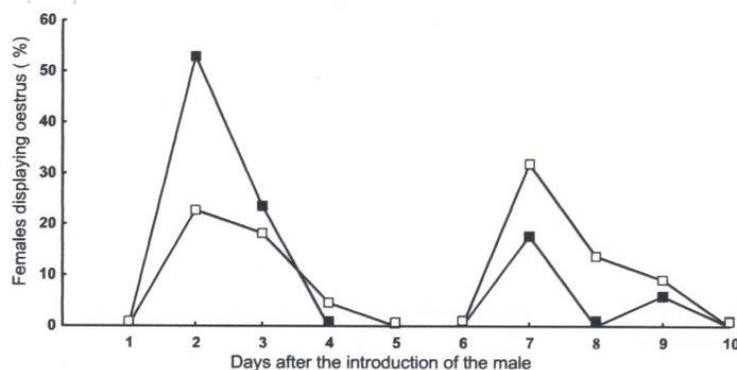
(2011, 2015) and Hernández et al. (2016). Indeed, goats exposed to 20 or 16 hr of light per day showed an increase in milk production level compared with control animals. Even if our study did not include a group of animals exposed to 16 hr of light per day, the response observed in goats that were exposed to 14 hr of light per

day was similar to that of goats exposed to 16 hr of light per day previously reported in the literature. In fact, in subtropical goats, it is well documented that exposure to artificial long days consisting in 20 (García-Hernández et al., 2007) or 16 hr of light/day during natural decreasing photoperiod increased milk yield level. This

| Group            | Latency to onset of oestrus (hr; mean $\pm$ SEM) | Total proportion of goats in oestrus (%) | Total proportion of goats ovulated (%) |
|------------------|--|--|--|
| Control (n = 17) | 58.2 $\pm$ 3.0                                   | 17/17<br>100%                            | 17/17<br>100%                          |
| p-value          | .48  | 1.0                                      | 1.0                                    |
| Treated (n = 22) | 62 $\pm$ 4.6                                     | 22/22<br>100%                            | 21/22<br>95.5%                         |

A group of females was maintained under natural decreasing days from late autumn (control group). The other group of females was submitted during the same period to artificial long days aimed to increase their milk yield (treated group).

In the two groups, males were in contact with females during 10 days. p-value refers to comparison between control vs treated groups



**TABLE 1** Sexual response of lactating goats submitted to male effect at 113 days of lactation

**FIGURE 3** Daily proportion of females showing oestrus in response to the male effect. In the control group, lactating goats were maintained under natural short-day photoperiod (n = 17; ■) and in the treated group, females were previously submitted during 100 days to an artificial long-day photoperiod consisting in 14 hr of light per day (n = 22; □)

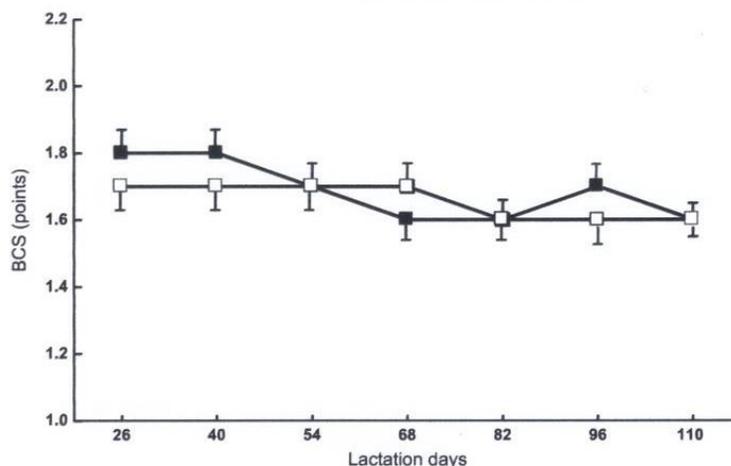
effect was observed regardless if animals were milked once or twice per day (Flores et al., 2011; Hernández et al., 2016) or if they were under extensive grazing conditions with a food supplement (Flores et al., 2015). The results of the current study clearly show that the administration of 14 hr of light per day in goats starting their lactation during late autumn is a skeleton photocycle that results in a strong galactopoietic effect. Until today, the physiological mechanism proposed to explain the galactopoietic effect of the long days in ruminants is based on an increase in the peripheral levels of IGF-I in the treated animals. In fact, in both female and male of goat and cow, the exposition to an artificial long-day photoperiod provokes an increase in circulating IGF-I levels (Dahl et al., 2000; Flores et al., 2015; Hernández et al., 2016; Jin, Sawai, & Hashizume, 2013a). In female goats, these levels were positively correlated with the milk yield (Hernández et al., 2016). Another possible candidate to be involved in the galactopoietic response due to the exposure to artificial long days is PRL (Lacasse, Ollier, Lollivier, & Boutinaud, 2016). In fact, high peripheral levels of PRL were detected in Shiba goats exposed to long days in comparison with goats exposed to artificial short days (Jin, Yaegashi, & Hashizume, 2013b).

In the present study, we found that milk components were not significantly modified by the photoperiodic treatment, which represents an advantage for goat breeders as they will obtain more milk and the sale price will be not reduced because of the decrease in fat percentage, for example. This result contrasts with those reported in

cows and ewes. Indeed, Stanisiewski, Mellenberger, Anderson, and Tucker (1985) found a slight reduction in the percentage of milk fat during exposure to long days and Bocquier et al. (1990) found that protein content of milk was reduced when ewes were under long days.

#### 4.2 | Sexual response to male effect in control and treated goats

The present data show that long-term exposure to artificial long days for 100 days to increase milk production does not prevent anovulatory goats from ovulating when they are exposed to sexually active males at the end of photoperiodic treatment. In fact, all control as the treated females displayed oestrus during the first 10 days of contact with males. The present results confirm that a male effect using photostimulated males can break the anovulatory state of the lactating goats either during natural anestrus season (as the control group) or in females maintained anovulatory due prolonged exposition to artificial long days (as the treated group). Interestingly, Flores et al. (2013) reported that approximately 60% of lactating goats ovulated spontaneously after 160 days of continuous exposition to artificial long days. In this case, the spontaneous reoccurrence of ovulation was attributed to the appearance of a refractory state to artificial long days (Maeda et al., 1988). The present results clearly indicate that by means of the male effect using sexually active males, they can induce the sexual



**FIGURE 4** Mean evolution ( $\pm$  SEM) of BCS during the study in subtropical goats kidding during late autumn and maintained under natural short-day photoperiod ( $n = 17$ ; control, ■) or submitted to an artificial long-day photoperiod consisting in 14 hr of light per day ( $n = 22$ ; treated, □)

activity of the goats subjected for long time to artificial long days with the objective to increase their milk yield. In other words, neither the previous exposure to artificial long days nor their high milk yield of the females inhibits ovulation in response to the male effect.

The prolonged luminous treatment had not an effect on BCS of the females; therefore, the effects of the artificial long days on milk yield and on the ovulatory response to the males were independently of the body state of the animals. This last result is in concordance with previous studies in these same Creole goats that were treated with artificial long days consisting in 16 hr of light per day aimed to increase the milk yield (Flores et al., 2011; Hernández et al., 2016).

## 5 | CONCLUSION

The results obtained in the present study confirmed the hypothesis that in subtropical goats that gave birth during natural short days (late autumn), exposure to an artificial long-day photoperiod consisting in 14 hr of light/day has a galactopoietic effect during the first 110 days of lactation. In addition, the prolonged administration of artificial long days in these lactating females did not prevent the ovulation in response to the introduction of sexually active males at the end of photoperiodic treatment.

In the present study, the economic costs of light treatment to animals were not calculated; however, it would be very interesting to determine in future studies a balance in the cost-benefits of the technique to assess the economic benefit that goat producers could obtain using this treatment. The latter is relevant since we showed that the components of the milk were not modified due to the light treatment and therefore the price of the milk would not be reduced. Moreover, it is well known that the induction of ovulation through the male effect in anovulatory females allows an early pregnancy and thus early born (September) of the goat kids which, after their weaning, can be sold at a better price due to their scarce availability at that time (Delgado & Martín, 2015).

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Mr. Daniel Hernandez, goat producer (ejido El Aguila, Torreón Coahuila, Mexico) for the facilitation of animals used in the present study. Authors also expressed its deep appreciation to Dolores Lopez and Esther Peña for her secretarial support. E.S. Mendieta was supported by a grant from CONACyT during his doctoral studies. This research was conducted as part of the CABRAA International Associated Laboratory between Mexico (UAAAN-CIRCA) and France (INRA-PRC).

## CONFLICT OF INTERESTS

None of the authors has any conflict of interest to declare.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Part of this work constituted his Doctoral Thesis of ESM, who contributed to experimental design, experimental work and paper draughting. JAD contributed to data analyses, data interpretation and paper draughting. JAF, MJF, LAZ, MB and AT contributed in experimental work, as well as in the writing of the manuscript. EN and LIV helped in the experimental work and in the correction of the manuscript. HH proposed the experimental design, data analysis and interpretation and manuscript draughting.

## ORCID

LA Zarazaga  <http://orcid.org/0000-0003-0726-7990>

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

## REFERENCES

Bedos, M., Muñoz, A. L., Orihuela, A., & Delgado, J. A. (2016). The sexual behavior of male goats exposed to long days is as intense as

- during their breeding season. *Applied Animal Behaviour Science*, 184, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.08.002>
- Bocquier, F., Kann, G., & Thériez, M. (1990). Relationships between secretory patterns of growth hormone, prolactin and body reserves and milk yield in dairy ewes under different photoperiod and feeding conditions. *Animal Science*, 51, 115–125. <https://doi.org/10.1017/S0003356100005213>
- Bocquier, F., Kann, G., & Thimonier, J. (1993). Effects of body composition variations on the duration of the postpartum anovulatory period in milked ewes submitted to two different photoperiods. *Reproduction Nutrition Development*, 33, 395–403. <https://doi.org/10.1051/rnd:19930408>
- Bronson, F. H. (1989). Seasonal strategies: Ultimate factors. In F. H. Bronson (Ed.), *Mammalian Reproductive Biology* (pp. 28–59). Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Dahl, G. E., Buchanan, B. A., & Tucker, H. A. (2000). Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science*, 83, 885–893. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74952-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74952-6)
- Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Hernández, H., Poindron, P., Keller, M., Fitz-Rodríguez, I. G., ... Chemineau, P. (2015). Sexually active males prevent the display of seasonal anestrus in female goats. *Hormones and Behavior*, 69, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2014.12.001>
- Delgadillo, J. A., & Martin, G. B. (2015). Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. *Animal Frontiers*, 5, 57–65. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0009>
- Duarte, G., Nava-Hernández, M. P., Malpaux, B., & Delgadillo, J. A. (2010). Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Animal Reproduction Science*, 120, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.004>
- Flores, M. J., Delgadillo, J. A., Flores, J. A., Pastor, F. J., Duarte, G., Vielma, J., & Hernandez, H. (2015). Artificial long days increase milk production in subtropical lactating goats managed under extensive grazing conditions. *Journal of Agricultural Science*, 153, 335–342. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000379>
- Flores, M. J., Flores, J. A., Duarte, G., Vielma, J., Delgadillo, J. A., & Hernandez, H. (2013). Long-day photoperiod exposure in lactating goats to induce post-partum ovulatory activity. *Small Ruminant Research*, 109, 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.07.027>
- Flores, M. J., Flores, J. A., Elizundia, J. M., Mejía, A., Delgadillo, J. A., & Hernandez, H. (2011). Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *Journal of Animal Science*, 89, 856–862. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3232>
- García-Hernández, 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. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.11.005>
- Hernández, H., Flores, J. A., Delgadillo, J. A., Fernández, I. G., Flores, M. J., Mejía, A., ... 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. <https://doi.org/10.1111/asj.12451>
- Jin, J., Sawai, K., & Hashizume, T. (2013a). Effects of photoperiod on secretory patterns of growth hormone in adult male goats. *Animal Science Journal*, 84, 790–797. <https://doi.org/10.1111/asj.12073>
- Jin, J., Yaegashi, T., & Hashizume, T. (2013b). Effects of photoperiod on the secretion of growth hormone and prolactin during nighttime in female goats. *Animal Science Journal*, 84, 130–135. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2012.01050.x>
- Kilkenny, C., Browne, W. J., Cuthill, I. C., Emerson, M., & Altman, D. G. (2010). Improving Bioscience Research Reporting: The ARRIVE Guidelines for Reporting Animal Research. *PLoS Biology*, 8, e1000412.
- 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10035>
- Maeda, K. I., Mori, Y., & Kano, Y. (1988). Involvement of melatonin in the seasonal changes of the gonadal function and prolactin secretion in female goats. *Reproduction Nutrition Development*, 28, 487–497. <https://doi.org/10.1051/rnd:19880313>
- Peters, R. R., Chapin, L. T., Leining, K. B., & Tucker, H. A. (1978). Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. *Science*, 199, 911–912. <https://doi.org/10.1126/science.622576>
- Santucci, P. M., & Maestrini, O. (1985). Body conditions of dairy goats in extensive systems of production: Method of estimation. *Annales de Zootechnie*, 34, 473–474. <https://doi.org/10.1051/animres:19850409>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. (2001). Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio, Diario Oficial de la Federación, México DF, 22 August 2001.
- 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, 1134–1140. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80939-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80939-5)
- Thimonier, J. (1981). Control of seasonal reproduction in sheep and goats by light and hormones. *Journal of Reproduction and fertility Supplement*, 30, 33–45.

**How to cite this article:** Mendieta ES, Delgadillo JA, Flores JA, et al. Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield. *Reprod Dom Anim*. 2018;00:1–8. <https://doi.org/10.1111/rda.13194>

## ARTICULO 2

mendieta5396

Chris Knight &lt;breathescience@outlook.com&gt;

lun 27/08/2018 06:52 a.m.

Para: 'hernandezhoracio@outlook.com' &lt;hernandezhoracio@outlook.com&gt;;

Journal of  
Dairy Research

Dear Author

MS Ref: mendieta5396

Your manuscript has passed Validation Assessment and has been sent to an Editorial Board Member for further review. Your manuscript is now uploaded and you can view its progress through Peer Review online. You are already registered in our database. Please visit [www.journalofdairyresearch.org](http://www.journalofdairyresearch.org) and log in. In your log in page you will have access to your manuscript. If you have forgotten your password you can reset it in the log in page.

With best wishes



Editor in Chief, Journal of Dairy Research

**Chris Knight**  
Professor Emeritus, University of Copenhagen  
Editor, Journal of Dairy Research  
Partner, CKP BreatheScience  
0044 7426899282



#### VALIDATION REPORT

##### Article Reference

mendieta5396

##### Author email address

[hernandezhoracio@outlook.com](mailto:hernandezhoracio@outlook.com)

##### Article type

Research Paper

##### Article Profile

Animal

##### Article category

Hypothesis led

##### Length

Good

##### Clear Statement of Purpose

Good

##### Citation style

Good

##### General House Style

Good

##### English Language

Good

##### Recommendation

Submit to EBM for Peer Review

##### Comments to Authors

Dear Horacio

The paper is clear and the hypothesis is well tested, but the data presentation is not as concise as it could be: Fig 2 and Fig 3 could easily be combined into one figure and figures 4 and 5 could easily be moved to Supplementary File (Fig 4 is computed data that is essentially evident from figs 2 and 3, and fig 5 reports no differences: the point could easily be made in text). If scientific review is positive we shall probably ask you to amend at revision stage

Best wishes

Chris

**In dual-purpose subtropical goats, one hour of extra-light given from 16 to 17 h after dawn (pulse of light) in winter stimulates the milk yield**

Edwin S. Mendieta<sup>1</sup>, José A. Delgadillo<sup>1</sup>, José A. Flores<sup>1</sup>, Marie Bedos<sup>2</sup>, Luís A. Zarazaga<sup>3</sup>, Manuel de J. Flores<sup>4</sup>, Ricardo Avilés<sup>1</sup>, Angélica Terrazas<sup>5</sup>, Jesús Vielma<sup>1</sup>, Gerardo Duarte<sup>1</sup> and Horacio Hernández<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Reproducción Caprina, Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, Mexico

<sup>2</sup>CONACYT - Instituto de Neurobiología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus UNAM-Juriquilla, Querétaro, Querétaro, Mexico

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, Palos de la Frontera, Huelva, Spain

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, Mexico

<sup>5</sup> Departamento de Ciencias Pecuarias, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Mexico

\*For correspondence; e-mail: [hernandezhoracio@outlook.com](mailto:hernandezhoracio@outlook.com)

## Summary

This research paper addresses the hypothesis that in double-purpose goats the exposure to one hour of extra-light given from 16 to 17 h after dawn (pulse of light) in winter stimulates the milk yield. Twenty multiparous creole goats, which mean date of parturition was on December 25<sup>th</sup>  $\pm$  2.0 days were used. One group of goats was maintained under natural short photoperiod conditions (natural day; ND (n = 7)). Another group of lactating females was submitted to an artificial long-day photoperiod consisting in 16 h light and 8 h darkness (long days; LD (n = 7)). A third group of females received one hour of extra-light 16 h after the fixed dawn (light pulse; LP (n = 6)). Results showed that across the study, goats from LD and PL yielded more milk than goats from ND. Milk yield did not differ between goats from LD and PL. Globally, milk yield in the LD and PL groups was about 30% higher than in the ND group throughout the lactation period. Mean percentages of fat, protein and lactose contents in milk did not differ between the 3 groups at any stage of lactation, but these components in grams/day were higher in goats from PLG than in the others two groups within the first 45 d of lactation. It was concluded, that in double-purpose lactating goats that started their lactation during natural short days, the daily exposition to a 1-hour pulse of light is sufficient to stimulate milk yield compared to females maintained under natural short photoperiod.

In female mammals, lactation represent one of the final steps to complete the reproductive cycle. This phase is characterized by an intense secretory activity from the mammary glands to produce milk. In ruminants, factors such as nutrition, milking frequency and photoperiod can modulate the milk yield during lactation (Capuco et al., 2008). Photoperiod is the primary environmental cue that synchronizes the annual reproductive cycles of small ruminants in temperate and subtropical latitudes (Ortavant et al., 1985; Duarte et al., 2010). Artificial long photoperiod also stimulates milk yield (Delouis and Mirman, 1984). Thus, goats exposed to artificial long days consisting in 16 or 14 h light/day when kidding during late autumn or in winter, yielded about 20% more milk than goats under natural short days (Flores et al., 2011, 2015; Mendieta et al., 2018).

In rams, studies investigating a photoinducible phase exposed males to a pulse of extra-light (of 1 h) given at 10, 13, 16 or 19 h after a fixed dawn and demonstrated that 16 h after the dawn is when animals were able to respond the extra-light pulse as a long day (Ravault and Ortavant, 1977). In fact, rams under this photoperiodic scheme (one hour of extra-light at 16 h after dawn) had greater PRL levels (indicative that long days are perceived) than rams under other treatments (10, 13 and 19 h after dawn; Ravault and Ortavant, 1977). In addition, in rams born in October, a treatment starting at 3 months age consisting of 2 months during which 1 h of extra-light was given (interpreted as a long day) from 16 to 17 h after dawn, followed by 3 months of short days, results in a significant increase in testis growth compared to control rams (Chemineau et al., 1988). A study in dairy goats showed that the exposition to 2 h of extra-light given from 16 to 18 h after dawn during 2 months (starting in January) followed by melatonin treatment caused ovulation in 75% of females after being in contact with males for 2.5 months, compared with none female in non-treated does (Chemineau et al., 1986). This previous studies show that one or two hours of extra-light given at 16 h after dawn in winter is interpreted as a long day in both males and females.

Taking into account the previous findings, the following question arises: can one hour of extra-light given at 16 h after dawn stimulate the milk yield level in subtropical goats

initiating their lactation during the natural short days, as when they are exposed to artificial long days of 16 h light?.

In the present study we compared the milk yield of three groups of goats that had given birth in winter: one control group of goats that was maintained under natural short photoperiod; one group of females that was submitted to an artificial long-day photoperiod consisting in 16 h of light after kidding and one group of females that was maintained under natural photoperiod and received an hour of extra-light from 16 to 17 h after fixed dawn.

### **Material and methods**

During the study, the procedures used in this study were in strict accordance with the rules of the Official Mexican Standard (NOM-062-ZOO-1999), referring to the technical specifications for the production, care and use of laboratory animals (SAGARPA, 2001).

#### *Location*

The study was carried out from the end of December to March in the Laguna region situated in the northern part of Mexico. During the study, the mean time at sunrise was 07:23 and the mean time at sunset was 18:37 with a mean duration of the day of 11 h 14 min.

#### *Animals, management and general conditions*

Twenty multiparous creole goats, which mean date of parturition was on December 25<sup>th</sup>  $\pm$  2.0 days were used. All goats used in the present study belonged to the same flock and were maintained under intensive conditions. All animals were fed alfalfa hay (1.0 kg/animal: 1.95 Mcal of ME/kg of DM; 17.0% CP); corn silage (2.0 kg/animal: 2.27 Mcal ME/kg of DM; 9.4% CP) and commercial concentrate (0.2 kg/animal: 1.7 Mcal of ME/kg of DM; 18% CP). The average prolificacy was 1.3. All females nursed their kids up to day 30 of lactation and thereafter the goats were hand milked once a day until the end of the study. Body condition score (BCS) was assessed by palpating the spinous and lateral processes and the musculature of the lumbar region of the spine, and a score from 1 (very lean) to 4 (fat) in increments of 0.5 was assigned (Santucci and Maestrini, 1985).

### *Experimental design*

A schematic representation of the experimental design is shown in Fig. 1. One group of lactating goats was maintained throughout the study under natural short photoperiod conditions (natural day; ND (n = 7)). This group of lactating females received a mean 11 h 14 min of natural light during the study. Another group of lactating females was submitted to an artificial long-day photoperiod (long days; LD (n = 7)). In this group, the pen (10 × 10 m) was equipped with daylight type lamps that emitted a minimum luminous intensity of 400 lx at the eye level of the goats. Lights were on from 06:00 to 09:00 h and from 17:00 to 22:00 h to extend the duration of the natural day and obtain a total of 16 h light/day. This artificial long-day photoperiod was provided starting at 5 d postpartum. A third group of females received one hour of extra-light 16 h after the fixed dawn (light pulse; LP (n = 6)). In this group, artificial dawn was fixed at 06:00 h and the lamps were off when natural light was sufficient. During the night, the lamps were on from 22:00 h to 23:00 h to provide the light pulse (Fig. 1). All groups were balanced for milk yield ( $1.1 \pm 0.1$ ;  $1.1 \pm 0.2$  and  $1.2 \pm 0.2$ , respectively) and BCS ( $1.6 \pm 0.1$ ;  $1.7 \pm 0.1$  and  $1.8 \pm 0.1$ , respectively) at the beginning of the study.

INSERT FIG. 1 ABOUT HERE

### *Measurements*

#### *Milk yield*

In all goats, the milk yield was assessed at 17 and 24 d postpartum (suckling phase) using the weight-suckle-weight method (Ricoardeau et al., 1960). Thus, two-controlled suckling were performed with 12 h apart after the emptying of the udder a day previous. When finished each controlled suckling, 2 IU of oxytocin (OT) were injected into the jugular vein and goats were hand-milked to obtain the residual milk. After the weaning of the kids, females from the three groups were machine-milked once a day (milking phase). The milk yield in this phase was assessed at 31, 38, 45, 52, 59, 66 and 75 d postpartum using the once a day milking method associated with OT application. Thus, one day before in the morning (07:00 h), the mammary glands were emptied by means of a total milking; in addition, immediately 2 IU of oxytocin was injected in order to

extract the residual milk. The procedure was repeated the next day at the same hour and the quantity (kg) of milk obtained was considered as that obtained in a 24-hours period.

#### *Milk contents*

When milk yield was assessed, a milk sample (10 mL) was collected from total quantity of milk obtained from each female. The milk samples were placed in a cooler containing refrigerants gel and transported to the laboratory. The contents in percentage of fat, protein and lactose in milk samples were determined with a milk analyser (Milkoscan 6000; Foss Electric, Hillerød, Denmark). Using the individual data of milk yield and the percentage of each milk content, the mean quantity of each component obtained/day was calculated.

#### *Body Condition Score (BCS) of the females*

The BCS of the females from the 3 groups was determined as described above once a week from d 10 postpartum until the end of the study .

#### *Statistical Analysis*

Data from milk yield obtained during different stages of lactation were analyzed using a two-factors ANOVA with repeated measures. The model included the time of the study as a within factor and the photoperiod treatments as between factor and the interactions were also verified. When significances in main effects or in their interactions were detected a one-way ANOVA followed by a Tuckey test were used to compare each point between the three groups. This same procedure was used to analyze the fat, protein and lactose contents (percentage and grams/day) in milk samples. Data from BCS was compared between the three groups with non-parametric *U* Mann–Whitney test. The statistical significance was set at  $P < 0.05$  level. All statistical procedures were performed using the software package SYSTAT 13 (Systat Software, San Jose, CA).

## **Results**

#### *Milk yield*

Overall, the levels of milk yield of the 3 groups showed variations through the study ( $P < 0.0001$ ; Fig. 2). At 10 d, milk yield did not differ between the three groups ( $P > 0.05$ ).

However, later during the suckling phase, at 17 and 24 d postpartum, goats from LD and PL started producing more milk than goats from ND ( $P \leq 0.01$ ). Across the rest of the study, corresponding to the milking phase, milk yield did not differ between goats from LD and PL ( $P > 0.05$ ), and these groups yielded more milk than goats from ND ( $P \leq 0.01$ ). Globally, milk yield in the LD and PL groups was about 30% higher than in the ND group throughout the lactation period.

INSERT FIG. 2 ABOUT HERE

#### *The milk contents and their performance*

Mean percentages of fat, protein and lactose contents in milk samples varied throughout the study ( $P < 0.0001$ ; Fig. 3). Nevertheless, these percentages in milk did not differ between the 3 groups at any stage of lactation (Fig. 3), since ANOVA did not reveal an effect of the group ( $P > 0.05$ ), nor an interaction group  $\times$  time of lactation ( $P > 0.05$ ).

INSERT FIG. 3 ABOUT HERE

In addition, the mean grams of milk fat/day, milk protein/day and lactose/day were higher during some stages of lactation in goats from PLG than in the others two groups within the first 45 d of lactation (Fig. 4).

INSERT FIG. 4 ABOUT HERE

#### *BCS of the females during lactation*

The BCS of females from the 3 groups are show in Fig. 5. The ANOVA did not reveal any variation of this body measurement throughout the study ( $P > 0.05$ ). The ANOVA also did not reveal an effect of the group ( $P > 0.05$ ) and the interaction time  $\times$  group was not significant ( $P > 0.05$ ).

## Discussion

These are the first results that document for the first time that in dual-purpose subtropical goats that gave birth during winter, the perception of a 1-hour pulse light 16 h after the fixed dawn stimulated the milk yield as in goats under artificial long days.

The present results are in accordance with other works in which the exposure to artificial long days from 14 or 16 h of light in animals that started their lactation at the beginning or during the natural short days increased the milk yield. In fact, subtropical goats that kidded during late autumn or winter yielded about 25% more milk when they were exposed to artificial long days (Flores et al., 2011; Mendieta et al., 2018). In the literature, the galactopoietic response to artificial long days was observed whether goats were milked once or twice a day (Flores et al., 2011) and in grazing goats as long as they were provided with a nutritional supplement (Flores et al., 2015).

The present results are in agreement with a study performed in rams that were maintained under the same photoperiodic scheme as in the present study (one hour of extra-light 16 h after dawn; Ravault and Ortavant, 1977), which showed increased PRL levels. Although the endocrine response to the photoperiodic treatment was not measured in our study, it is very likely that, as in rams, goats from LD and PL groups had higher PRL levels than goats of the ND. Indeed, it was demonstrated that circulating plasma PRL concentrations increased in goats exposed to artificial long days from 16 h light/day (Hart, 1975; Jin et al., 2012). Under natural photoperiodic conditions, seasonal prolactin levels can be regulated by melatonin at the level of the pituitary gland (Lincoln and Clarke, 1994, 1995). In fact, rams submitted to a long photoperiod showed a reduction in melatonin along with an increase in prolactin levels compared to males under a short photoperiod (Lincoln and Clarke, 1994). In goats, Deveson et al. (1990) demonstrated that the exposition to a pulse of light during the night suppressed the plasma melatonin. Besides, the participation of PRL on milk secretion and yield was highlighted in dairy cattle (Lacasse and Ollier, 2015; Lacasse et al., 2016) and in lactating ewes (Hooley et al., 1978). In dairy goats, a single injection of cabergoline (a dopaminergic inhibitor of PRL secretion), caused a 28% decrease in milk yield the day after the injection (Lacasse et al., 2016). Thus, it is likely that in the present study,

additional artificial light mimicking long days stimulated the secretion of PRL, which in turn led to a higher milk production. Therefore, it would be interesting to study the endocrine response of the lactating goats maintained under a pulse of light when initiation of lactation coincides with natural short days.

Another well-documented explanation for the galactopoietic effect of long days, or in its case, the exposition to a pulse of light, are the increased levels of IGF-1. In fact, lactating cows and goats submitted to an artificial long-day photoperiod had increased IGF-1 levels, which were associated with high milk yield in this species (Dahl et al., 2000; Flores et al., 2015). Although the milk contents did not differ between groups of the present study, it is important to mention that due to the individual higher milk yield of goats from LD and PL groups, the total quantity of these contents was also increased. Overall, this influence of the exposition to a pulse of light on the total milk yield and their components can be considered as an effective tool in goats kidding under natural short days to increase the incomes of goat producers. In the present study, the weight of the kids was not assessed because they were weaned at one month of age. However, it would be interesting to investigate if goat kids born during natural short days and raised by goats subjected to the photoperiodic treatment tested in the present study (pulse of light) would benefit from the increased milk production of their mothers.

### **Conclusion**

As a conclusion, in double-purpose lactating goats that started their lactation during natural short days, the daily exposition to a 1-hour pulse of light is sufficient to stimulate milk yield compared to females maintained under natural photoperiod. In addition, the milk yield levels are similar to those of goats that were submitted to artificial long days (16 h of light).

## References

**Chemineau P, Pelletier J, Guérin Y, Colas G, Ravault JP, Touré G & Almeida GJ**

1988 Photoperiodic and melatonin treatments for the control of seasonal reproduction in sheep and goats. *Reproduction Nutrition Développement* **28** 409–422

**Chemineau P, Normant E, Ravault JP & Thimonier J** 1986 Induction and persistence of pituitary and ovarian activity in the out-of-season lactating dairy goat after a treatment combining a skeleton photoperiod, melatonin and the male effect. *Journal of Reproduction and Fertility* **78** 497–504

**Dahl GE, Buchanan BA & Tucker HA** 2000 Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science* **83** 885–893

**Deveson SL, Josphine A & Isabel AF** 1990 Sensitivity of goats to a light pulse during the night as assessed by suppression of melatonin concentrations in the plasma *Journal of Pineal Research* **8** 169–177

**Duarte G, Nava-Hernández MP, Malpaux B & Delgadillo JA** 2010 Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Animal Reproduction Science* **120** 65–70

**Flores MJ, Delgadillo JA, Flores JA, Pastor FJ, Duarte G, Vielma J, & Hernández H** 2015 Artificial long days increase milk production in subtropical lactating goats managed under extensive grazing conditions. *Journal of Agricultural Science* **153** 335–342

**Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejia A, Delgadillo JA & Hernandez 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

- Hart IC** 1975 Concentrations of prolactin in serial blood samples from goats before, during and after milking throughout lactation. *Journal of Endocrinology* **64** 305–3012
- Hooley RD, Jeanette J, Campbell & Findlay JK** 1978 the importance of prolactin for lactation in the ewe. *Journal of Endocrinology* **79** 301–310
- Jin J, Yaegashi T & Hashizume T** 2013 Effects of photoperiod on the secretion of growth hormone and prolactin during nighttime in female goats. *Animal Science Journal* **84** 130–135
- Lacasse P & Ollier S** 2015 The dopamine antagonist domperidone increases prolactin concentration and enhances milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **98** 7856–7864
- 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
- Lincoln GA & Clarke IJ** 1994 Photoperiodically-induced cycles in the secretion of prolactin in hypothalamo-pituitary disconnected rams: evidence for translation of the melatonin signal in the pituitary gland. *Journal of endocrinology* **6** 251–260
- Lincoln GA & Clarke IJ** 1995 Evidence that melatonin acts in the pituitary gland through a dopamine-independent mechanism to mediate effects of daylength on the secretion of prolactin in the ram. *Journal of endocrinology* **7** 637–643
- Mendieta ES, Delgadillo JA, Flores JA, Flores MJ, Nandayapa E, Vélez LI, Zarazaga LA, Bedos M, Terrazas A & Hernández H** 2018 Subtropical goats ovulate in response to the male effect after a prolonged treatment of artificial long days to stimulate their milk yield. *Reproduction in Domestic Animals* **53** 1–8

**Ortavant R, Pelletier J, Ravault JP, Thimonier J, & Volland-Nail P** 1985 Photoperiod: main proximal and distal factor of the circannual cycle of reproduction in farm mammals. *Oxford Reviews of Reproductive Biology* **7** 305–45

**Ravault JP & Ortavant R** 1977 Light control of prolactin secretion in sheep. Evidence for a photoinducible phase during a diurnal rhythm. *Annales de Biologie Animal, Biochimie Biophysique* **17** 459–473

**Ricordeau G, Boccard R & Denamur R** 1960 Measure de la production laitiere des brebis pendant la période d'allaitement. *Annales de Zootechnie* **9** 97–120

**Santucci PM & Maestrini O** 1985 Body condition of dairy goats in extensive systems of production: method of estimation. *Annales de Zootechnie* **34** 473–474

**Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación**, Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 2001 Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio, Diario Oficial de la Federación México

### Figure legends:

**Fig. 1.** Schematic representation of the different photoperiodic treatments used in the present study. Goats had given birth December 25<sup>th</sup> ± 2.0 days, during the natural short days. A first group of goats perceived the natural photoperiod (short days) throughout the study (ND). Another group was submitted to an artificial long-day photoperiod (LD); lights were on from 06:00 to 09:00 h and from 17:00 to 22:00 h to extend the duration of the natural day and obtain a total of 16 h light/d. A third group of goats was subjected to an artificial fixed down set at 06:00 h and lights were on until 08:00 h. Then, a 1-hour pulse of light was given from 22:00 to 23:00 h (PL). Black areas represent the dark phase, while white areas represent the artificial or natural luminous phase. The bulb picture represents lamps, while the sun represents the natural light.

**Fig. 2.** Mean variation (± SEM) of milk yield during suckling (grey area) and milking (white area) phase in goats that had given birth December 25<sup>th</sup> ± 2.0 days, during the natural short days. A first group of goats perceived the natural photoperiod (short days) throughout the study (ND, ▲). Another group was submitted to an artificial long-day photoperiod (LD, ○). A third group of goats was subjected to an artificial fixed down and a 1-hour pulse of light during the dark phase (PL, □). Different letters between groups denotes differences ( $P \leq 0.01$ ).

**Fig. 3.** Mean variation (± SEM) of percentages in milk fat (top), protein (middle) and lactose (bottom) during the first 75 d of lactation in goats that had given birth December 25<sup>th</sup> ± 2.0 days, during the natural short days. A first group of goats perceived the natural photoperiod (short days) throughout the study (ND, ▲). Another group was submitted to an artificial long-day photoperiod (LD, ○). A third group of goats was subjected to an artificial fixed down and a 1-hour pulse of light during the dark phase (PL, □). No differences were found between the 3 groups ( $P > 0.05$ ); however, the milk contents varied throughout the study ( $P < 0.01$ ).

**Fig. 4.** Mean evolution (± SEM) of milk fat (top), protein (middle) and lactose (bottom) produced in grams/d during first 75 d of lactation in goats received the natural photoperiod starting on late December (NDG, ▲), and in goats that were submitted to

an artificial long-day photoperiod (LDG, ○) and in those where an hour of artificial light was given from 22·00 to 23·00 h (pulse of light, PLG, □). Different literals in the same point denotes differences between groups ( $P \leq 0\cdot05$ ).

**Fig. 5.** Mean variation ( $\pm$  SEM) of BCS during the first 75 d of lactation in goats that had given birth December 25<sup>th</sup>  $\pm$  2.0 days, during the natural short days. A first group of goats perceived the natural photoperiod (short days) throughout the study (ND, ▲). Another group was submitted to an artificial long-day photoperiod (LD, ○). A third group of goats was subjected to an artificial fixed down and a 1-hour pulse of light during the dark phase (PL, □). No differences were found ( $P > 0.05$ ).

Figure 1

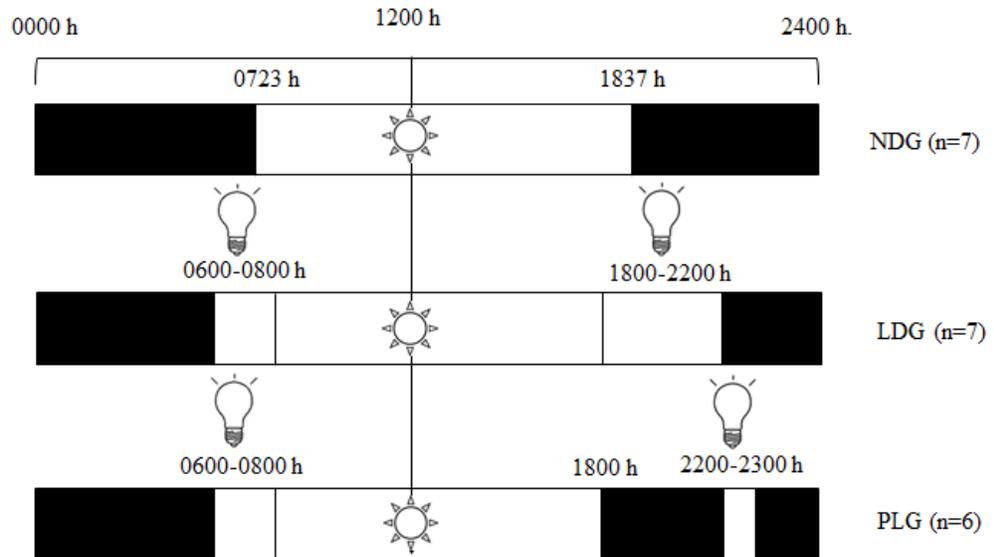


Figure 2

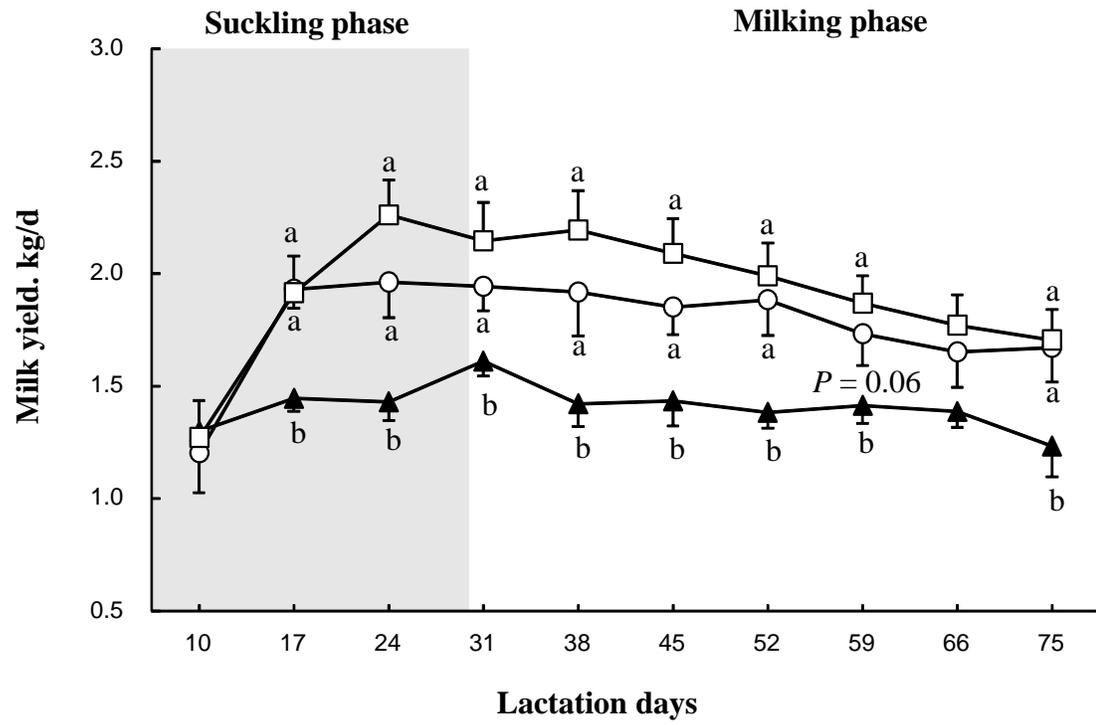


Figure 3

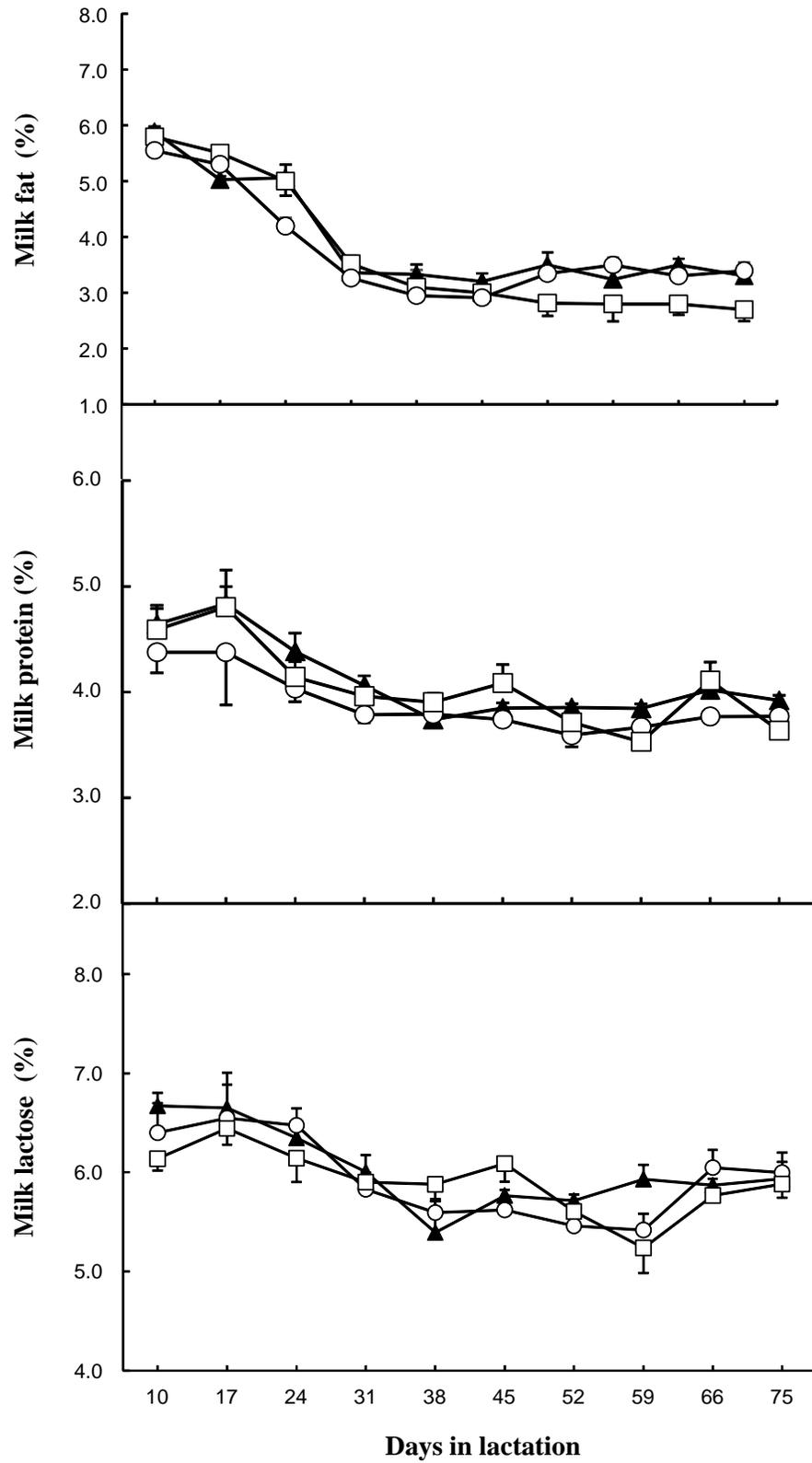


Figure 4

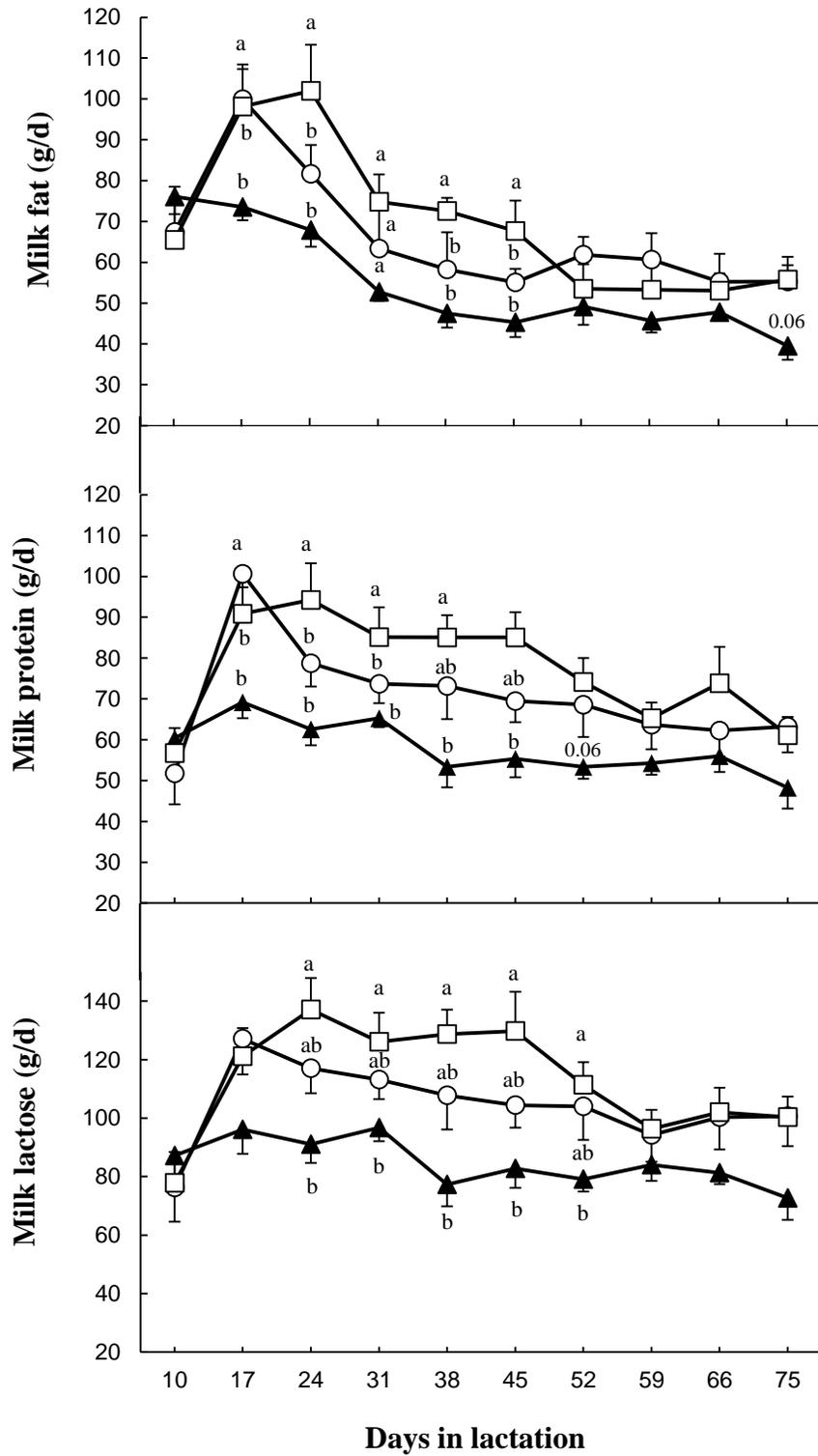
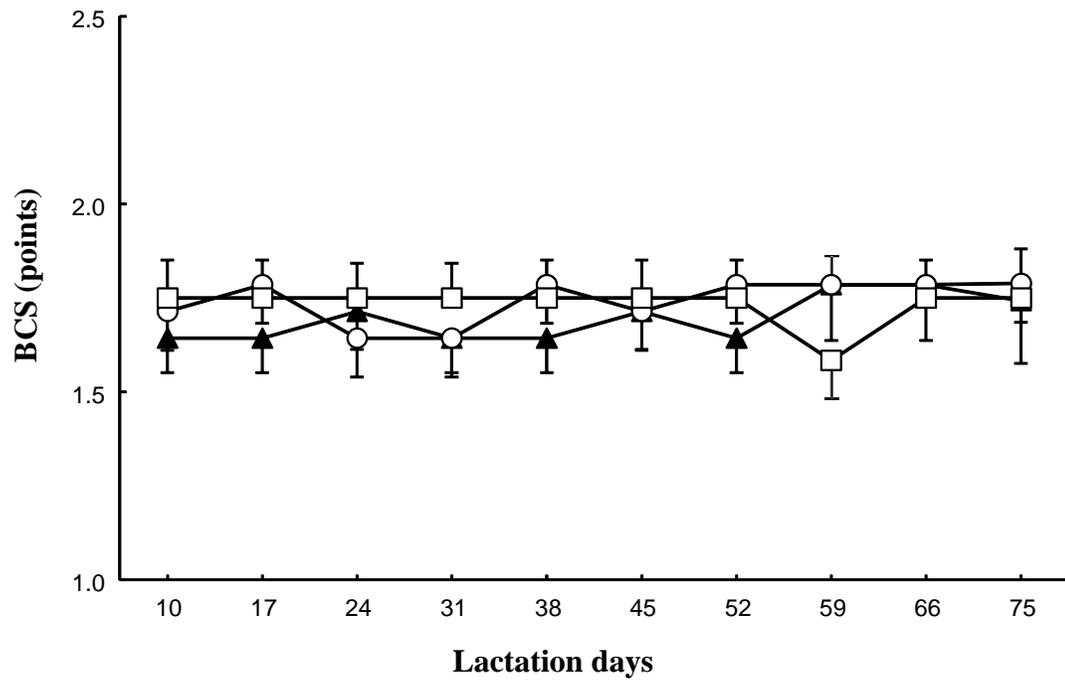


Figure 5



## **CAPITULO VII.**

### **DISCUSIÓN GENERAL**

Los resultados obtenidos en la presente tesis demuestran realizar manipulaciones en el fotoperiodo con el fin de que en las cabras lactantes que paren en los días cortos naturales estimule su producción láctea. En efecto, con solo proporcionarles 14 h de luz/día o bien, al solo proporcionar un flash de 1 h a 16 horas después del alba se estimuló la producción de leche. Además, los presentes resultados muestran claramente que la exposición a días largos artificiales por más de 100 días, con el fin de estimular la producción láctea no es un impedimento para que las hembras respondan sexualmente al efecto macho al final del tratamiento luminoso.

Los presentes resultados muestran evidencias que confirman que en estos animales locales (encastados) la percepción de 14 h luz/día es interpretado por los animales como un día largo. En efecto, este resultado coincide con lo anteriormente reportado por Duarte *et al.* (2010) quienes reportaron que en las cabras de esta región subtropical al someterlas a tres meses de días cortos artificiales (8 h luz/día) y tres meses de días largos artificiales de 14 h luz/día, se estimuló e inhibió, respectivamente la actividad ovárica (Duarte *et al.*, 2010). En conjunto, los resultados de la presente tesis, indican que un fotoperiodo artificial de 14 h luz, es interpretado como un día largo y ello promueve una mayor producción de leche similar a lo ya ampliamente conocido que se ejerce cuando se proporcionan 16 h de luz/día.

Sin embargo, todavía permanecería la pregunta, ¿es posible que este esquema de proporcionar 14 h de luz/ día modifique en parte la endocrinología de la lactación? De estudios en bovinos se ha determinado que la exposición de las vacas lecheras a un fotoperiodo artificial de 16 h de luz/día induce mayores niveles de PRL en sangre que en las vacas que se mantiene en días cortos artificiales o naturales. De estudios previos en cabras no lactantes se determinó que la exposición a un fotoperiodo largo de 16 h luz/día incrementó de manera significativa las concentraciones circulantes de PRL en comparación con las mantenidas en días cortos (Jin *et al.*, 2013). Hasta hoy, en estas cabras subtropicales no se ha determinado si el fotoperiodo artificial modifique las

concentraciones de PRL en sangre. Lo que se conoce es que las madres expuestas a días largos artificiales poseen mayores niveles de IGF-I (Flores *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2016) y que posiblemente al igual que en las vacas, esta mayor concentración de IGF-I en sangre promueva la mayor producción de leche, posiblemente mediante una vía metabólica.

Los resultados de la presente tesis reportan por vez primera que la exposición prolongada por más de 100 días a días largos artificiales, lo cual, en ovejas y cabras resulta en una completa inhibición de la actividad ovulatoria, no es un impedimento para que respondan sexualmente al efecto macho. Esto anterior, resalta que ni la exposición a días largos artificiales por tiempo prolongado, ni la elevada producción láctea de las hembras modifican la respuesta sexual cuando se exponen a machos fotoestimulados. Es decir, mediante el efecto macho, utilizando machos sexualmente activos se induce la actividad estral y ovárica en hembras durante el anestro estacional y en cabras que permanecen anovulatorias por exposición prolongada a días largos artificiales.

Los resultados del segundo estudio de la presente tesis (artículo 2) confirman lo reportado hace 3 décadas en los machos ovinos y en cabras por investigadores franceses, de que una hora de luz extra proporcionada a 16 h después del alba (flash) sea interpretado por los animales como un día largo artificial y que ello, promueva una mayor producción láctea. Aunque sin evidencias endócrinas, los resultados del experimento 2 mostraron que esa exposición a dicho flash de luz se asoció con una mayor producción de leche en comparación con los animales que estuvieron bajo los días cortos naturales en una región subtropical. De hecho, la producción registrada en esas cabras no difirió de la registrada en las mantenidas en un fotoperíodo de días largos artificiales. En otras palabras, con solo establecer el alba fijo al proporcionar 2 h de luz por la mañana y una hora de luz a 16 horas después del alba es posible estimular la producción de leche en estas cabras subtropicales. Sin embargo, todavía falta determinar los mecanismos fisiológicos mediante los cuales, esa

hora de luz extra influye positivamente en el nivel de producción de leche de los animales que inician su lactancia durante los días cortos naturales.

En conjunto, los resultados vertidos en la presente tesis sugieren que es posible que al realizar manipulaciones en el fotoperiodo que reciben las cabras lactantes subtropicales, que paren en los días cortos naturales se estimule su producción láctea. Asimismo, los resultados de la presente tesis, confirman la eficacia del efecto macho utilizando machos fotoestimulados para inducir la actividad sexual en cabras que permanecen anovulatorias debido al tratamiento luminoso prolongado. La investigación futura de este tema debería ser conducida y centrada en simplificar el uso de la luz artificial como método que promueva la galactopoiésis en los rumiantes.

## VIII. REFERENCIAS

- Alberio, R.H., Schiersmann, G., Carou, N., Mestre, J. 1987. Effect of a teaser bull on ovarian and behavioural activity of suckling beef cows. *Anim. Reprod. Sci.* 14: 263-272.
- 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.
- Annison, E.F., Linzell, J.L. 1964. The oxidation and utilization of glucose and acetate by the mammary gland of the goats in relation to their over-all metabolism and to milk formation. *J. Physiol.* 175: 372-385.
- Bauman, D.E., Vernon, R.G. 1993. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. *Annu. Rev. Nutr.* 13: 437-461.
- Bauman, D.E. 1999. Bovine somatotropin and lactation: from basic science to commercial application. *Domest Anim Endocrinol.* 17: 101-116.
- Bachman, K. C., Elvinge, F., Head, H. H. 1999. Somatotropin (Growth hormone): Effects on lactogenesis and milk production. In: Martinet, J., Houdebine, L. M., Head, H. H. (Eds). *Biology of Lactation*. INRA Editions. 261-306.
- Bauman, D.E., Currie, W.B. 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63: 1514-1529.
- Bell, A.W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73: 2804-2819.
- Berry, D. P., Lee, J. M., Macdonald, K. A., Roche, J. R. 2007. Body Condition score and Body Weight Effects on Dystocia and Stillbirths and consequent effects on postcalving performance. *J. Dairy Sci.* 90: 4201-4211.
- Bocquier, F., Kann, G., Thimonier J. 1993. Effects of body composition variations on the duration of the postpartum anovulatory period in milked ewes submitted to two different photoperiods. *Reprod. Nutr. Dev.* 33: 395-403.
- Britt, J.H. 1992. Reproductive efficiency in dairy cattle as related to nutrition and environment. En: *Proc. of the advanced nutrition seminar for feed professionals*. University of Wisconsin, USA. pp 30.
- Capuco, A., Keys, J., Smith, J. 1989. Somatotrophin increases thyroxine-5 - monodeiodine activity in lactating mammary tissue of the cow. *J. Endocrinol.* 121: 205-211.
- Capuco, A.V., R.M. Akers. 2002. Galactopoieses: Effects of hormones and growth factors. En, *Encyclopedia of Dairy Science*.
- Cezar, M.F., Sousa, W.H. 2006. Avaliação e utilização da condição corporal como ferramenta de melhoria da reprodução e produção de ovinos e caprinos de corte. *R. Bras. Zootec.* 35: 541-565.
- Clark, J. H., C. L. Davis. 1980. Some aspects of feeding high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63: 873-885.
- Chemineau, P., Martin, G.B., Saumande, J., Normant E. 1988. Seasonal and hormonal control of pulsatile LH secretion in dairy goat (*Capra hircus*). *J. Reprod. Fertil.* 83: 91-98.

- Cowie, A. T., Tindal, J. S. 1969. The maintenance of lactation in goat after hypophysectomy. *J. Endocrinol.* 23: 79-96.
- Dahl, G. E., Buchanan, B. A., Tucker H. A. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 83: 885-893.
- Dahl, G. E., Petitclerc D. 2003. Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *J. Anim. Sci.* 3: 11-17.
- Davis, S., Farr, V., Stelwagen K. 1999. Regulation of yield loss and milk composition during once-daily milking: A review. *Livest. Prod. Sci.* 59: 77-94.
- Delouis, C., Mirman B. 1984. Influence de la durée quotidienne d'éclairage sur la production laitière de la chèvre. In 9e Journées Rech. Ovine et Caprine. Paris, France. P 352-360,
- Duarte, G., Nava-Hernández, M.P., Malpaux, B., Delgadillo, J.A. 2010. Ovulatory activity of female goats adapted to the subtropics is responsive to photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.* 120: 65-70.
- Ferreira-Silva J.C, Basto SRL, Tenório Filho F, Moura M.T, Silva Filho M.L, Oliveira MAL. 2017. Reproductive performance of postpartum ewes treated with insulin or progesterone hormones in association with ram effect. *Reprod. Dom. Anim.* 52: 610-616.
- Fletcher, I.C.1971. Relationships between frequency of suckling, lamb growth and post-partum oestrus behaviour in ewes. *Anim. Behav.* 19: 108-111.
- 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. *J. Anim. Sci.* 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 Rumin. Res.* 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. *J. Agr. Sci.* 153: 335-342.
- Fleet, I. R., Peker, M. 1978. Mammary function and its control at the cessation of lactation in the goat. *J. Physiol.* 279: 491-507.
- Forsyth I. A., Lee P.D. 1993. Bromocriptine treatment of periparturient goats: Long-term suppression of prolactin and lack of effect on lactation. *J. Dairy Res.* 60: 307-317.
- Freeman, M, E., Kanyicska, B., Lerant, A. and Nagy, G. 2000. Prolactin: structure, function, and regulation of secretion. *Physiol. Rev.* 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. *Livest. Sci.* 110: 214-220.
- Gihad, E., El-Gallad T., Allam, S., El-Bedawy T. 1987. Performance of Zaraibi and Damascus lactating does fed high and low energy rations. *Ann. Zootech.* 36: 336-337.
- Gordon, K., Siegmann, M. 1991. Suckling behavior of ewes in early lactation. *Physiol. Behav.* 50: 1079-1081.

- Henderson, A.J., Peaker, M. 1984. Feedback control of milk secretion in the goat by a chemical in milk. *J. Physiol. Lond.* 35, 1: 39-45.
- Hernández, H., Flores, J. A., Delgadillo, J. A., Fernández, I. G., Flores, M. J., Mejía, A., 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. *Anim. Sci. J.*87: 484-491.
- Hernandez, H., Mejia, A., Flores, J.A., Lopez, J.C., Fernandez, I.G., Poindron, P., Delgadillo, J.A. 2006. Artificial long days prolongs postpartum anovulation in Creole goats from subtropical Mexico kidding in autumn. In: Proceedings of the 10th Annual Conference of the European Society for Domestic Animals Reproduction (ESDAR). *Reprod. Domest. Anim.*p. 377. 41 (4).
- IFCN. Dairy Report (Red Internacional de Comparación de Granjas). 2012. IFCN Dairy research center. Schauenburger Straße. Kiel, Germany.
- Jin, J., Yaegashi, T., Hashizume, T. 2013. Effects of photoperiod on the secretion of growth hormone and prolactin during nighttime in female goats. *Anim. Sci. J.* 84: 130-135.
- Kann, G., Carpentier, M. C., Févre, J., Martinet, J., Maubon, M., Meusnier, C., Play, J., Vermière, N. 1978. Lactation and prolactin in sheep, role of prolactin in initiation of milk secretion In: Robyn, C. Herter, M., (Eds), *progress in prolactin physiology and pathology*, Elsevier-North Holland Biomedical Press, Amsterdam. pp. 201-212.
- Kesler, E., Spahr S. 1964. Physiological effects of high level concentrate feeding. *J. Dairy Sci.* 47: 1122-1128.
- Kendall, P.E., Auchtung T.L., Swanson K.S., Radcliff R.P., Lucy M.C., Drackley J.K., Dahl G.E. 2003. Effect of photoperiod on hepatic growth hormones receptor 1A expression in steer calves. *J. Animal. Sci.* 81: 1440-1446.
- Knight, C.H. 2001. Overview of prolactin's in farm animal lactation. *Livest. Prod. Sci.* 70: 87-93.
- Kulski, J. K., Hartmann, P. E., Martin, J. D., Smith M. 1978. Effects of bromocriptine mesylate on the composition of the mammary secretion in non-breast-feeding women. *Obstet. Gynecol.* 52:38-42.
- Kumaresan, P., Anderson, R. R., Turner, C. W. 1966. Effect of graded levels of lactogenic hormon upon mammary gland growth and lactation in rats. *Proc. Soc. Exp. Bol. Med.* 123: 581-584.
- Larson BL, Smith VR, editors. 1974. *Lactation: a comprehensive treatise*, vol. 3. New York: Academic. p. 3-107.
- Lacasse, P., Ollier S. 2015. The dopamine antagonist domperidone increases prolactin concentration and enhances milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98: 7856-7864.
- Lacasse, P., Ollier, S., Lollivier, V., Boutinaud, M. 2016. New insights into the importance of prolactin in dairy ruminants. *J. Dairy Sci.*99: 864-874.
- Lassoued, N., Naouali, M., Khaldi, G. and Rekik, M. 2004. Influence of the permanent presence of rams on the resumption of sexual activity in postpartum Barbarine ewes. *Small. Rumin. Res.* 54: 25-31.
- Lefrileux, Y., Morand-Fehr, P., Pommaret, A. 2008. Capacity of high milk yielding goats for utilizing cultivated pasture. *Small Rumin. Res.* 77: 113-126.

- Linzell, J. L., Peaker, M. 1971. The effects of oxytocin and milk removal on milk secretion in the goat. *J. Physiol.* 216: 717-734.
- Linzell, J. L., Peaker, M. 1971. Mechanism of milk secretion. *Physiol. Rev.* 51: 564-597.
- Linzell, J. L. 1973. Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goats. *J. Physiol.* 230: 225-233.
- Lyons, W. R. 1958. Hormonal Synergism in mammary growth. *Proc. Roy. Soc. Lond. (Biol).* 149: 495-499.
- Mabjeesh, S.J., Gal-Garber O., Shamay A. 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.
- Macmillan, K., Allison, A., Struthers, G. 1979. Some effects of running bulls with suckling cows during the pre-mating period. *N.Z.J. Exp. Agric.*, 7: 121-124.
- McNeilly, A.S. 2006. Suckling and control of gonadotrophin secretion. In: Knobil E, Neilly JD. *The physiology of reproduction*. Raven Press, New York. Vol. 2, 1179-1212.
- Mellor, D. J., Flint, D. J., Vernon, R.G., Forsyth, I. A. 1987. Relationships between plasma hormone concentrations, udder development and the production of early mammary secretions in twin-bearing ewes on different planes of nutrition *Quart. J. Exp. Physiol.* 72: 345-356.
- Mepham, T. B. 1987. *Physiology of Lactation*. University of Nottingham. Open University press.
- Min, B., S. Hart, T. Sahl, L. Satter. 2005. The effect of diets on milk production and composition and on lactation curves in pastured dairy goats. *J. Dairy Sci.* 88: 2604-2615.
- 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 (Trobtest) on milk yield in cows. *J. Dairy Sci.* 82:1716-1722.
- Morand-Fehr, P., D. Sauvant. 1978. Nutrition and optimum performance of dairy goats. *Livest. Prod. Sci.* 5: 203-213.
- Morand-Fehr, P., D. Sauvant. 1980. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.* 63: 1671-1680.
- Morrissey, A., A. Cameron., A. Tilbrook. 2008. Artificial lighting during winter increases milk yield in dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 91: 4238-4243.
- Neville, M. 2002. Hormonal regulation of mammary differentiation and milk secretion. *J. Mammary Gland. Biol.* 7: 49-66.
- Neville, M. 2009. Classic Studies of Mammary Development and Milk Secretion: 1945-1980. *J Mammary Gland Biol. Neoplasia.* 14: 193-7.
- Neville, M. 2006. Lactation and its hormonal control In: Knobil and Neill's. *Physiology of Reproduction*. 3rd ed. Burlington, MA: Academic Press Inc. pp 2993-3054.
- Negrao, J.A., Marnet, P.G., Labussière, J. 2001. Effect of milking frequency on oxytocin release and milk production in dairy ewes. *Small Rumin. Res.* 39: 181-187.
- Nguyen, D. D., Parlow, A. F., Neville M. C. 2001. Hormonal regulation of tight junction closure in the mouse mammary epithelium during the transition from pregnancy to lactation. *J. Endocrinol.* 170: 347-356.

- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Oftedal, O.T. 2000. Animal nutrition and metabolism group symposium on "Regulation of maternal reserves and effects on lactation and the nutrition of Young animals. Use of maternal reserves as lactation strategy in large mammals. Proc. Nutr. Soc. 59: 99-106.
- Oldham, J. J. Sutton, A. McAllan. 1979. Protein digestion and utilization by dairy cows. Ann. Rech. Vet. 10: 290-295.
- Oxenreider, S. L., Wagner, W.C. 1971. Effect of lactation and energy intake on post-partum ovarian activity in the cow. J. Anim. Sci. 33:1026-1031.
- Peaker, M. 1980. The effect of raised intramammary pressure on mammary function in the goat in relation to the cessation of lactation. J. Physiol. Lond. 301: 415-428.
- Peaker, M. 1977. Mechanism of milk secretion: milk composition in relation to potential difference across the mammary epithelium. J. Physiol. 270: 489-505.
- Peaker, M., Wilde, C.J. 1996. Feedback control of milk secretion from milk. J. Mammary Gland Biol. 1: 307-315.
- 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. J. Dairy Sci. 64: 1671-1678.
- Phillips, C.J.C., Schofield, S.A. 1989. The effect of supplementary light on the production and behavior of dairy cows. Anim. Sci. 48: 293-303.
- Prosser, C.G., Fleet, I.R., Corps, A.N., Froesch, E.R., Heap, R.B. 1990. Increases in milk secretion and mammary blood flow by intra-arterial infusion of insulin-like growth factor-I into mammary gland of the goat. J. Endocrinol. 126: 437-443.
- Peters, R.R., Chapin, L.T., Leining, K.B., Tucker, H.A. 1978. Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. Science. 199: 911-912.
- Peters, K. J., Horst, P. 1981. Development potential of goats breeding in the tropics and subtropics. Anim. Res. Dev. 14: 54-71.
- Ravault, J. P., Ortavant, R. 1977. Light control of prolactin secretion in sheep. Evidence for a photoinducible phase during a diurnal rhythm. Ann. Biol. Anim Biochim Biophys. 17: 459-73.
- Reeves, J.J., Gaskins, C.T. 1981. Effect of once-a-day nursing on rebreeding efficiency of beef cows. J. Anim. Sci. 53: 889-891.
- Rémond B., Coulon J.B., Nicloux M., Levieux D. 1999. Effect of once-a-day milking in early lactation on milk production and nutritional status of dairy cows. Ann. Zootech. 48: 341-352.
- Roche J.R., Friggens N.C., Kay J.K., Fisher M.W., Stafford K.J., Berry D.P. 2009. Invited review: body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. J. Dairy Sci. 92: 5769-5801.
- Rowlinson, P., Boughton, H., Bryant, M. 1975. Mating of sows during lactation: observations from a commercial unit. Anim. Prod. 21: 233-241.

- Sahlu, T., Hart, S.P., Le-Trong, T., Jia, Z., Dawson, L., Gipson, T. 1995. Influence of prepartum protein and energy concentrations for dairy goats during pregnancy and early lactation. *J. Dairy Sci.* 78: 378-387.
- Salama, A. A., Such, X., Caja, G. M., Rovai, R. Casals, E. Albanell, M. P. Marín., Martí, A. 2003. Effects of once versus twice daily milking throughout lactation on milk yield and milk composition in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 86: 1673-1680.
- Scott, I. C., Montgomery, G. W. 1987. Introduction of bulls induces return of cyclic ovarian function in postpartum beef cows. *N.Z. J. Agric. Res.* 30:189-194.
- Shaar, C. J., Clemens, J. A. 1972 Inhibition of lactation and prolactin secretion in rats by ergot alkaloids. *Endocrinology.* 90: 285-288.
- 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](http://www.siap.gob.mx/opt/poblaganad/caprino.pdf) (12/05/2017).
- Silveira, P. A., Spoon, R. A., Ryan, D. P., Williams, G. L. 1993. Evidence for maternal behavior as a requisite link in suckling- mediated anovulation in cows. *Biol. Reprod.* 49: 1338-1346.
- 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. *J. Dairy Sci.* 68: 1134-140.
- Stelwagen, K., Knight, C. H. 1997. Effect of unilateral once or twice daily milking of cows on milk yield and udder characteristics in early and late lactation. *J. Dairy Res.* 64: 487-494.
- Stelwagen, K., Davis S.R., Farr, V.C., Eichler C.J., Politis I.1994. Effect of once daily milking and concurrent somatotropin on mammary tight junction permeability and yield of cows, *J. Dairy Sci.* 77: 2994-3002.
- Stelwagen, K., Politis I., White J.H., Zavizion B., Prosser C.G., Davis S.R., Farr V.C.1994. Effect of milking frequency and somatotropin on the activity of plasminogen activator, plasminogen, and plasmin in bovine milk, *J. Dairy Sci.* 77: 3577-3583.
- Svennersten-Sjaunja, K., Olsson, K. 2005. Endocrinology of milk production. *Domest. Anim. Endocrinol.* 29: 241-258.
- Skapetas, B., Bampidis, V. 2016. Goat production in the World: present situation and trends. *Livest. Res. Rural Dev.* 11: 1- 8.
- Takayama, H., Tanaka, T., Kamomae, H. 2010. Postpartum ovarian activity and uterine involution in non-seasonal Shiba goats, with or without nursing. Short communication. *Small Rumin. Res.* 1: 62-66.
- Tessmann, N., Radloff, H., Kleinmans, J., Dhiman, T., Satter, L. 1991. Milk production response to dietary forage: grain ratio. *J. Dairy Sci.* 74: 2696-2707.
- Tucker, H. A. 2000. Neuroendocrine regulation of lactation and milk ejection. En: *Neuroendocrinology in physiology and medicine.* Humana Press Totowa, N. J. pp 163-180.
- Tucker, H.A. 1981. Physiological control of mammary growth, lactogenesis, and lactation. *J Dairy Sci.* 64: 1403-1421.
- Treacher, T. 1970. Effects of nutrition in late pregnancy on subsequent milk production in ewes. *Anim Prod.* 12: 23-36.

- Koprowski, J.A., Tucker H.A. 1973. Serum prolactin during various physiological states and its relationships to milk production in the bovine. *Endocrinology*. 92: 1480-1487.
- Walton, J.1986. Effect of boar presence before and after weaning on estrus and ovulation in sows. *J Anim Sci*. 62: 1-9.
- Wilde, C. J., Addey, V. P., Blatchford D. R., Peaker, M., Casey, M. J. 1988. Feedback inhibition of milk secretion: The effect of a fraction of goat milk on milk yield and composition. *Quart. J Exp Physiol*. 73: 391-397.
- Wilde, C.J., Henderson, A.J., Knight, C.H, D.R. Blatchford, A. Faulkner., R.G. Vernon. 1987. Effects of long-term thrice-daily milking on mammary enzyme activity, cell population and milk yield in the goat. *J Animal Sci*. 64: 533-539.
- Wilde, C. J., Addey, C. V. P. Boddy, L.M., Peaker, M. 1995. Autocrine regulation of milk secretion by a protein in milk. *J Biochem*. 305: 51-58.
- Wilde, C. J., Knight, C. H. 1990. Milk yield and mammary function in goats during and after once-daily milking. *J Dairy Res*. 57: 441-447.
- Zalesky, D., Day, M., Garcia-Winder, M., Imakawa, K., Kittok, R., D'Occhio, M., Kinder, J. 1984. Influence of exposure to bulls on resumption of estrous cycles following parturition in beef cows. *J Anim Sci*. 59: 1135-1139.