

LA EXPOSICION A DIAS LARGOS ARTIFICIALES, INCREMENTA LA  
PRODUCCION DE LECHE Y PROLONGA LA DURACION DEL  
ANESTRO POSTPARTO EN CABRAS QUE  
PAREN EN OCTUBRE (OTOÑO)

**ANGEL MEJIA VAZQUEZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
SUBDIRECCION DE POSGRADO**

Director de tesis:  
**DR. HORACIO HERNANDEZ HERNANDEZ**

Torreón, Coahuila, México.

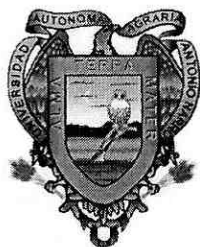
Octubre 2007

**LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES,  
INCREMENTA LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y PROLONGA  
LA DURACIÓN DEL ANESTRO POSTPARTO EN CABRAS  
QUE PAREN EN OCTUBRE (OTOÑO)**

**ÁNGEL MEJÍA VÁZQUEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

Director de tesis: Dr. Horacio Hernández Hernández

Torreón, Coahuila, México

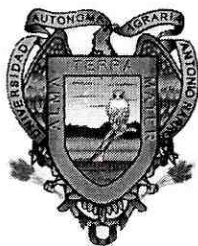
Octubre 2007

**LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES,  
INCREMENTA LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y PROLONGA  
LA DURACIÓN DEL ANESTRO POSTPARTO EN CABRAS  
QUE PAREN EN OCTUBRE (OTOÑO)**

**ÁNGEL MEJÍA VÁZQUEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

Director de tesis: Dr. Horacio Hernández Hernández

Torreón, Coahuila, México

Octubre 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**LA EXPOSICIÓN A DÍAS LARGOS ARTIFICIALES,  
INCREMENTA LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y PROLONGA  
LA DURACIÓN DEL ANESTRO POSTPARTO EN CABRAS  
QUE PAREN EN OCTUBRE (OTOÑO)**

TESIS

POR


ÁNGEL MEJÍA VÁZQUEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:


MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

Asesor principal:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Horacio Hernández Hernández

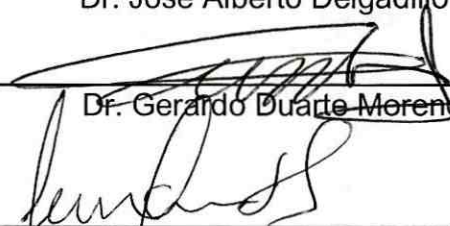
Asesor

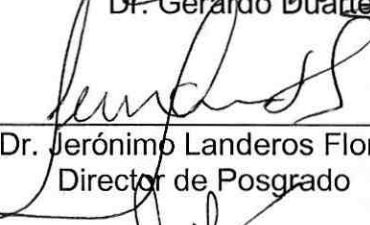
  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alfredo Flores Cabrera

Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez

Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gerardo Duarte Moreno

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Director de Posgrado

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Gerardo Arellano Rodríguez  
Jefe del Departamento de Posgrado

Torreón, Coahuila, México. Octubre de 2007



## AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darme la oportunidad de lograr esta meta y a mis Padres quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi caminar por la vida.

A mi asesor principal: Dr. Horacio Hernández Hernández por su apoyo y asesoramiento científico para la elaboración de esta tesis. Gracias

Al comité particular de asesoría:

Dr. José Alberto Delgadillo Sánchez, le agradezco su disposición en aclarar mis dudas y por sus sugerencias durante la redacción de la tesis.

Dr. José Alfredo Flores Cabrera, le agradezco su disposición en la revisión y corrección de la tesis.

Dr. Gerardo Duarte Moreno, le agradezco su disposición en la revisión de la tesis.

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.

A la UAAAN UL y a los profesores del posgrado en Ciencias Agrarias- Línea Reproducción Animal, por compartir sus conocimientos.

A cada uno de los integrantes del CIRCA.

A mis compañeros y amigos: por su valiosa ayuda en la fase experimental y amistad.

MC. María de los Ángeles de Santiago

MC. Leonardo Iván Velez Monrroy

MC. Juan Ramón Luna Orozco

MC. Gonzalo Fítz Rodríguez

MC. Mauricio Alexander Valera Venegas

MC. Juan Carlos López García

MC. Soledad Bibiana Vargas López

MC. Francisco Rodrigo García Sandoval

MVZ. Santiago Ramírez Vera

Al sr. Fernando J.A. Medrano, quien solidariamente proporciono las esponjas vaginales para la sincronización de estros en las cabras.

A la Dra. Ilda Graciela Fernández por facilitar el contacto con el laboratorio para la determinación de la calidad de la leche.

Al Biol. José Manuel Elizundia, por el apoyo brindado para la realización del análisis en la calidad de la leche.

Al Ing. Jesús Medina Cervantes por la facilitación de las cabras.

Al sr. Armando López Castruita por el cuidado y ordeña de los animales.

A Esther Peña Revuelta y Dolores López Magaña, por su apoyo secretarial durante mi paso por el posgrado.

## DEDICATORIAS

A DIOS padre por darme la oportunidad de conquistar mis metas...  
A mi "Alma Terra Mater" por recibirme dos años más y por el orgullo de ser buitre.

A mis padres:  
Israel Pérez Gómez  
Y

María de Jesús Vázquez Reyes

Un día de agosto, mamá estabas tú, tan hermosa y alegre como te imaginaba. Aprendí mucho de ti con el correr del tiempo, con cada uno de tus consejos, que valoro en cada acto de mi vida; y soñando cada vez que me encuentro lejos, con tus palabras que envuelven mis momentos... Hoy te ofrezco este triunfo más...Te Amo MAMÁ...

A mis hermanos:  
Amalia Pérez Vázquez  
María del Rosario Pérez Vázquez  
Pedro Pérez Vázquez  
Rosa Guadalupe Pérez Vázquez

A mis Abuelos:  
Felipe y Rosa  
Isidro y Guadalupe (†)

A mis tíos (as) y primos (as):  
Familia Vázquez Reyes  
Familia Pérez Gómez

A mis hermanos de la Comarca:  
MVZ. Francisco Segovia Rocha y Familia  
MVZ. Manuel de León Flores y Familia

Especialmente a las Familias:  
Blanco Sáenz  
Martínez Sáenz  
Por su cariño, amistad y compañía

Y especialmente con mucho cariño a Lic. Iris Martínez Sáenz.  
Por su gran comprensión y apoyo durante los años dedicados a este trabajo. Eres mi espíritu de lucha, quien me ve reír y caer.  
Hoy atardece y termina un día más, pero seguiré escribiendo esta historia sin fin...una meta más mi Amor...

## COMPENDIO

### **La Exposición a Días Largos Artificiales, Incrementa la Producción de Leche y Prolonga la Duración del Anestro Postparto en Cabras que Paren en Octubre (otoño)**

El presente estudio se realizó para determinar si en las cabras del subtrópico mexicano (26°N) que paren en otoño (días cortos naturales) la exposición a días largos artificiales durante la lactancia temprana, incrementa el nivel de producción de leche, modifica su calidad, modifica el peso de las crías y prolonga el período de anovulación postparto. Para este experimento se utilizaron 38 cabras locales encastadas de la raza Alpina. La fecha promedio ( $\pm$  error estándar de la media; EEM) del parto de todos los animales fue el 27 de octubre ( $\pm$  0.3 días). Al día 5 postparto, las cabras fueron divididas en dos grupos homogéneos, con base a su nivel de producción de leche, el número de crías y la condición corporal. En el grupo control las cabras se mantuvieron bajo los días cortos naturales de otoño en la Comarca Lagunera (Grupo Control; n=19). Las cabras del grupo tratado fueron expuestas a partir del día 7 de lactancia a días largos artificiales hasta el día 75 postparto (Grupo Tratado; n=19). En todas las cabras, el destete de las crías se realizó a los 30 días de lactancia. La producción de leche se estimó en un período de 24 horas antes del destete (a los 7, 14, 22 y 29 días postparto) de las crías, mediante la técnica del peso de las crías antes y después de amamantarse. Posterior al destete, la producción de leche se estimó mediante dos ordeñas manuales a intervalos de 12 horas. La actividad ovulatoria postparto se determinó mediante ultrasonografía transrectal a los

15, 30, 45, 60 y 75 días de lactancia. Durante el primer mes de lactancia, es decir cuando las crías permanecieron con sus madres, la producción de leche no presentó ninguna diferencia entre las cabras del grupo control y las del grupo tratado ( $P>0.05$ ). Por el contrario, después del destete de las crías y hasta el final del estudio (71 días postparto) la producción de leche fue significativamente mayor ( $P<0.05$ ) en las cabras del grupo tratado que en las del control. Los porcentajes de grasa, proteína y sólidos no grasos disminuyeron debido a la exposición a los días largos ( $P<0.05$ ). El peso al destete de las crías del grupo tratado fue mayor por 0.690 kg ( $P<0.05$ ) que en el peso al destete de las crías del grupo control. También, la ganancia diaria de peso fue mayor ( $P<0.05$ ) en las crías del grupo tratado que las crías del grupo control. Antes del destete de las crías, no se encontró diferencia significativa entre grupos en el porcentaje acumulado de cabras que mostraron ovulación ( $P>0.05$ ). Por el contrario, el número de cabras que presentaron ovulación después del destete de las crías hasta el final del estudio fue mayor ( $P<0.001$ ) en el grupo control que en el grupo tratado. En conjunto, estos resultados demuestran claramente que en cabras del subtrópico mexicano que paren en otoño y amamantan a sus crías durante el primer mes, la exposición a días largos artificiales incrementa significativamente el nivel de producción de leche post-destete, el peso de las crías y el periodo de anovulación postparto.

**Palabras clave:** Cabras, días largos artificiales, días cortos naturales, producción de leche, ordeña manual, crecimiento de las crías, anovulación postparto.

## ABSTRACT

### Exposure to Artificial Long Days, Increase Milk Production and Prolongs Postpartum Anovulation Length in Goats Kidding During October (autumn)

The aim of the present study was to investigate whether under subtropical latitudes (northern Mexico, 26°N) exposure of lactating goats to artificial long days in autumn (natural short days) could increase their milk production, the weight of the kids and prolongs postpartum anovulation period. Thirty-eight local x Alpine goats kidding on October 27 ( $\pm 0.3$  days) were allocated to one of two treatments, considering their initial milk production, litter size and body condition. In one group, females were maintained under natural short days (group control; n=19), while in the other were kept under artificial long days initiated at day 7 postpartum up to first 75 days of lactation (group treated; n=19). In all goats, kids weaning was performed at 30 days of lactation. Milk production was assessed in a 24-h period by differential body weight of the kids before and after suckling at 14, 22 and 29 days of lactation and by two hand milking 12-h apart after weaning of the kids. Postpartum ovulatory activity was determined by means of transrectal ultrasonography at 15, 30, 45, 60 and 75 days of lactation. During the first month of lactation, milk production did not differ significantly between both groups ( $P>0.05$ ). In contrast, performed after weaning of the kids up to day 71 postpartum, milk production was higher in long days-treated goats than in control. Percentages of fat, protein and non-fat solids in milk decreased due to long days exposition. The bodyweight of kids at weaning was higher by about

0.690 kg ( $P < 0.05$ ) in the treated group than in control. This was also true for daily gain weight of kids. Before kids weaning, there was a no significant difference in the cumulated percentage of goats that had ovulated. In contrast, the number of females showing ovulation after kids weaning was significantly higher in control than in treated group from 45 days postpartum onwards ( $P < 0.001$ ). The results of the present study clearly demonstrate that submitting lactating subtropical goats giving birth in autumn to artificial long days increases significantly their milk production and the growth rate of the kids, but also the period of postpartum anovulation.

**Key words:** Goats, artificial long days, natural short days, milk production, hand milking, growth of the kids, postpartum anovulation period.



# ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Lactancia .....	5
2.2. Lactogénesis.....	6
2.2.1. Factores hormonales que intervienen en la lactogénesis.....	7
2.2.1.1. <i>Participación de la hormona prolactina (PRL) en la lactogénesis</i> .....	7
2.2.1.2. <i>Participación del lactógeno placentario (PL) en la lactogénesis</i> .....	8
2.2.1.3. <i>Participación de la Insulina en la lactogénesis</i> .....	9
2.2.1.4. <i>Participación de los esteroides en la lactogénesis</i> .....	10
2.2.1.5. <i>Participación de la GH y del IGF-I en la lactogénesis</i> .....	11
2.3. Galactopoiésis .....	12
2.3.1. Factores hormonales que intervienen en la galactopoiésis.....	12
2.3.1.1. <i>Participación de la PRL en la galactopoiésis y el control de su liberación</i> .....	12
2.3.1.2. <i>Participación de la GH en la galactopoiésis y el control de su liberación</i> .....	16
2.4. Evidencia de un control local de la glándula mamaria sobre la galactopoiésis.....	18
2.4.1. Influencia del vaciamiento glandular y la presión intramamaria sobre la producción de leche .....	18
2.4.2. Factor inhibidor de la lactancia (FIL) .....	20
2.5. Reflejo de eyección de la leche .....	21
2.6. Factores que influyen en la producción de leche .....	22
2.6.1. Efecto del fotoperíodo sobre la producción de leche.....	23
2.6.2. Percepción de la señal fotoperiódica y traducción de la señal .....	25
2.6.3. Mecanismo fisiológico mediante el cual el fotoperíodo regula la producción de leche.....	26
2.7. Definición de anestro postparto (APP).....	29
2.7.1. Factores que influyen en la duración del APP .....	29

2.7.1.1. <i>Influencia de la nutrición, el peso y la condición corporal sobre la duración del APP</i> .....	29
2.7.1.2. <i>Influencia del amamantamiento y del destete de las crías sobre la duración del APP</i> .....	32
2.7.1.3. <i>Influencia de la época del parto sobre la duración del APP</i> .....	34
2.7.1.4. <i>Influencia del fotoperíodo sobre la duración del APP</i> .....	35
OBJETIVOS.....	38
HIPÓTESIS.....	38
III. ANEXO 1.....	39
ARTÍCULO CIENTÍFICO:.....	39
IV. LITERATURA CITADA.....	65

## I. INTRODUCCIÓN

La cabra es una especie doméstica que se caracteriza por su potencial para producir leche, carne, piel y pelo, productos que son aprovechados por el hombre. En el continente Americano, México ocupa un lugar importante en la caprinocultura, ya que la población registrada en el año 2004 fue de 9,500,000 caprinos (SIAP, 2004). En este mismo año, la producción de leche alcanzada a nivel nacional fue de aproximadamente 161,000,000 de litros, 4.5% por encima de la producida en el 2003 y en el año 2005 esta producción se mantuvo. En la Comarca Lagunera, región subtropical, se explotan alrededor de 464,000 caprinos. La producción de leche de cabra es una actividad primaria de los sistemas de explotación extensivo, semi-intensivo e intensivo. En efecto, la producción de leche en esta localidad fue de 80,119,000 litros en el año 2006 (SAGARPA, 2006). El sistema de explotación predominante en esta región es el extensivo (Hoyos *et al.*, 1991), pero actualmente existen también algunas explotaciones en las que los animales son mantenidos en un sistema estabulado y son alimentados con forrajes de corte.

El ganado caprino de la Comarca Lagunera (machos y hembras) presenta una marcada estacionalidad reproductiva. Esto es, las cabras que no están en contacto frecuente con machos muestran una actividad sexual que inicia en septiembre y finaliza en febrero, por lo tanto el período de anestro o inactividad sexual ocurre de

marzo a agosto (Delgadillo *et al.*, 2004ab). Esto provoca que la época de nacimiento de las crías y la disponibilidad de leche para abasto sea mayor en una época del año. En efecto, se ha reportado que la mayor producción en las cabras explotadas extensivamente en dicha región ocurre en junio y julio. Asimismo, en los sistemas de producción extensiva, la disponibilidad de alimento en las áreas de pastoreo también provoca que la producción láctea muestre variaciones a lo largo del año como consecuencia de la variación en la calidad de los forrajes (Hoyos y Sáenz, 1991).

En estos caprinos subtropicales, al igual que los caprinos de zonas templadas se ha demostrado que el fotoperíodo es el factor medioambiental responsable de la modulación de la actividad reproductiva anual. De hecho, se conoce que sometiendo estas cabras a alternancias de tres meses de días largos (14 h luz/día) y tres meses de días cortos (10 h luz/día), se inhibe y estimula, respectivamente la actividad sexual en ellas (Delgadillo-Sánchez *et al.*, 2003). También, en otras especies se ha reportado que el fotoperíodo es el factor principal que regula la actividad sexual anual, y además influye sobre la duración del anestro postparto. Ello se ha demostrado cuando los animales se someten después del parto a un fotoperíodo artificial. Así, en ovejas de zonas templadas, que son expuestas a días largos artificiales después del parto resulta en una supresión o retraso en el inicio de la actividad ovárica, comparado con ovejas bajo un fotoperíodo de días cortos artificiales (Bocquier *et al.*, 1993; Abi Salloum y Claus, 2005). En los caprinos de la Comarca Lagunera, la estacionalidad reproductiva ocasiona que la duración del anestro postparto en los animales que amamantan a sus crías sea más prolongada cuando los animales paren fuera de la estación sexual, que cuando paren cerca de la

estación natural de reproducción o durante ella (Delgadillo *et al.*, 1998). Sin embargo, en la especie caprina hasta hoy no se conoce si sometiendo los animales a un tratamiento de días largos artificiales pueda modificar la duración del anestro postparto.

Otros procesos fisiológicos que se han determinado que son modulados por el fotoperíodo incluye: el crecimiento corporal, cambios en la composición del pelaje y la lactancia (Gwinner, 1986, Gebbie *et al.*, 1999; Dahl *et al.*, 2000). Este efecto del fotoperíodo sobre la lactancia se observa incluso en vacas lecheras (las cuales no muestran una reproducción estacional). Así, a las 4 semanas de exposición a días largos artificiales existe una diferencia de un 10.3% más de producción de leche que en las vacas bajo los días cortos naturales de enero (Dahl *et al.*, 1997). En las cabras, un estudio publicado recientemente muestra que los días largos estimulan la producción láctea (García-Hernandez *et al.*, 2007). Sin embargo, en dicho estudio las crías fueron destetadas a los pocos días de nacidas, esto es diferente al manejo realizado en las cabras de la Comarca Lagunera en el cual las crías permanecen amamantándose durante el primer mes. Como se mencionó anteriormente, las cabras de la Comarca Lagunera muestran variaciones en su actividad reproductiva anual. A su vez, ello provoca que la mayoría de las cabras paren de noviembre a enero, esto es durante los días cortos naturales. Sin embargo, actualmente no se ha investigado si en estas cabras que amamantan a sus crías durante el primer mes de lactancia y que paren en los días cortos naturales la exposición a días largos artificiales pueda influir sobre la lactancia. Por ello, los objetivos del presente trabajo fueron investigar si en las cabras del subtrópico mexicano que paren en los días

cortos naturales, el incremento artificial en las horas luz/día pueda 1) tener un efecto sobre la producción de leche y 2) si este tratamiento afecta la duración del anestro postparto.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

En los mamíferos, el período postparto es una etapa caracterizada por la instalación de la lactancia, estado que constituye la fase final del ciclo reproductivo. La sobrevivencia del recién nacido depende de un adecuado suministro de leche secretada por las glándulas mamarias de la madre. Así, la actividad secretora de la glándula mamaria se ajusta a la demanda de leche de las crías (Tucker, 1994). Asimismo, en este período la mayoría de las especies mamíferas experimentan un período de inactividad sexual conocido como anestro postparto cuya duración varía según la especie y diversos factores. En la presente revisión se describirán los mecanismos fisiológicos que intervienen en la lactancia y el anestro postparto en las diversas especies en que se ha estudiado.

### 2.1. Lactancia

La lactancia tiene lugar debido a la activación por estímulos específicos como la succión y la estimulación exteroceptiva, de mecanismos neuroendocrinos que determinan y regulan en gran parte el funcionamiento de la glándula mamaria (Clapp *et al.*, 1987). La leche es sintetizada y secretada por la glándula mamaria y está cuantitativa y cualitativamente adaptada a los requerimientos de la(s) cría(s). La leche es producida por una estructura glandular específica, la cual tiene un desarrollo

importante durante la preñez tardía y cuya involución comienza con el destete de la cría. La diferenciación de la estructura y funcionalidad del tejido alveolar en la glándula mamaria corresponde a un ciclo de reproducción y es regulado por un equilibrio hormonal que se describirá a continuación (Delouis y Richard, 1993).

## **2.2. Lactogénesis**

La lactogénesis se caracteriza por una incrementada síntesis de leche en la glándula mamaria; en esta etapa los componentes de la leche permanecen en el lumen de los alvéolos. Al momento del parto, con el inicio de la eyección de la leche, la síntesis se incrementa marcadamente, lo cual es debido a una hipertrofia de las células epiteliales de la glándula mamaria. Las dos etapas de la lactogénesis se caracterizan en base a la actividad celular en la glándula mamaria la cual indica su capacidad de síntesis (Delouis y Richard, 1993). La primera etapa se caracteriza por cambios químicos y morfológicos graduales en el tejido mamario, esto es, cuando inicia la aparición de los componentes específicos de la leche y que persisten hasta el momento del parto. La segunda etapa es el resultado de cambios abruptos en el sistema cardiovascular, en el metabolismo y la tasa de secreción láctea por la madre (Mephram, 1987).

## 2.2.1. Factores hormonales que intervienen en la lactogénesis

### 2.2.1.1. Participación de la hormona prolactina (PRL) en la lactogénesis

La PRL es una hormona polipeptídica que es sintetizada y secretada por células especializadas de la adenohipófisis, los lactotropos. La PRL juega un papel importante en la diferenciación de la glándula mamaria favoreciendo el crecimiento mamario, iniciando la síntesis de leche y en muchas especies manteniendo la lactancia. La coneja es la única especie en que aplicaciones exógenas de PRL a mitad de la preñez induce un marcado desarrollo de la glándula mamaria y una abundante secreción de leche (Houdebine *et al.*, 1985; Freeman *et al.*, 2000), por lo cual se dice que esta hormona es fuertemente lactogénica en esta especie. Además, la PRL induce la transcripción de los genes para la síntesis de proteína de la leche a nivel genómico. Todo esto explica un efecto facilitador de esta hormona sobre el proceso secretor de la célula mamaria del epitelio alveolar (Delouis y Richard, 1993).

En las cabras, si se suprimen las concentraciones plasmáticas de PRL con el antagonista dopaminérgico bromocriptina, entre la semana 8 y 20 de gestación (lo cual coincide con la primera etapa de la lactogénesis), retarda el inicio de la secreción mamaria (Forsyth *et al.*, 1985). Esta supresión temporal de la secreción de la PRL durante la preñez no afectó la subsiguiente producción de leche durante la lactancia. Lo anterior sugiere que al menos en las cabras, la PRL no tiene un papel importante durante el primer estado de la lactogénesis. Esto es congruente con lo reportado recientemente en cabras por Mabweesh *et al.* (2007), quienes demostraron

que al proporcionar días largos en el primer estadio de la lactogénesis (lo cual indujo concentraciones más elevadas de PRL) no resultó en una mayor producción de leche durante la siguiente lactancia.

#### **2.2.1.2. Participación del lactógeno placentario (PL) en la lactogénesis**

El PL es producido por varias especies mamíferas, aunque en la coneja esta ausente. En la rata, existen dos tipos de PL: PL1 y PL2, la secreción incrementada de este último se presenta de la mitad de la gestación en adelante hasta el parto, lo cual coincide con la lactogénesis (Soares y Talamantes, 1985). Se ha reportado que en conejas una inyección de PL humano dentro de los ductos de la glándula mamaria inicia la secreción de leche y de caseína (Josimovich y MacLaren, 1962; Friesen, 1966; Turkington y Topper, 1966). Además, el PL ovino es lactogénico en cultivos de explantes de tejido mamario de coneja, pero es menos lactogénico que la PRL (Houdebine *et al.*, 1985). La acción del PL es regulado vía los receptores de PRL, pero la unión a estos receptores es relativamente baja (Servely *et al.*, 1983). A concentraciones fisiológicas en suero, esta hormona no tiene acción para inducir la síntesis de la leche, especialmente en presencia de la progesterona (Houdebine *et al.*, 1985). Sin embargo, contribuye al crecimiento mamario directamente a través de los receptores mamarios de PRL o posiblemente vía hormona de crecimiento (GH) durante la preñez (Bovinos: Houdebine *et al.*, 1985; Byatt *et al.*, 1987; Byatt *et al.*, 1992; Ovinos: Butler *et al.*, 1981; Cabras: Hayden *et al.*, 1979).

El PL se relaciona estructuralmente con la PRL y la GH dependiendo de la especie (Linzer, 1998). En roedores, el PL estimula la mamogénesis captando sobre todo al receptor de la PRL (Forsyth, 1994). Aunque en los bovinos productores de carne, el PL se secreta primeramente dentro de la circulación fetal, esta se puede detectar en el suero materno desde los 63 días de gestación y es máxima en el último tercio de la gestación pero declina cerca o al momento del parto (Wallace, 1993). De manera conjunta los datos disponibles en la literatura sugieren que el PL es probablemente de menor importancia en la lactogénesis (Tucker, 1994).

### **2.2.1.3. Participación de la Insulina en la lactogénesis**

El control que ejerce la insulina en la actividad mamaria es múltiple. Favorece la captación de aminoácidos por las células mamarias y es mitogénica (incrementa la división celular). Sin embargo, la insulina también regula el efecto lactogénico de la PRL. La acción mitogénica se lleva a cabo mediante los receptores del factor de crecimiento similar a insulina I (IGF-I; Houdebine *et al.*, 1985). La insulina aumenta el tamaño del retículo endoplásmico de la célula mamaria y estabiliza los corticoides (Delouis y Richard, 1993). Además, altas dosis de insulina puede sustituir a la GH induciendo la secreción de IGF-I y subsecuentemente la mamogénesis en un animal hipofisectomizado. También, distribuye los nutrientes a la glándula mamaria durante la lactancia. Por ejemplo, en las ratas lactantes la insulina aumenta la utilización de la glucosa y la captación de lípidos en la glándula mamaria (DaCosta y Williamson, 1994).

En los bovinos, la insulina esta implicada en los mecanismos que distribuyen los nutrientes requeridos para la síntesis de leche. De hecho, las concentraciones de insulina en la sangre fueron correlacionadas negativamente con la producción de leche (Koprowski y Tucker, 1973). En otras palabras, esta relación indica que en los animales lecheros cuyas concentraciones de insulina son menores, poseen una mayor producción láctea. Asimismo, en los animales con mayores concentraciones de insulina tuvieron una menor producción. Además, se ha demostrado que aumentando las concentraciones de insulina en la sangre, junto con una infusión de glucosa se pueden mantener concentraciones crecientes de proteína en la leche (Griinari *et al.*, 1997; Tucker, 2000).

#### **2.2.1.4. Participación de los esteroides en la lactogénesis**

Los esteroides ováricos favorecen el crecimiento de la glándula mamaria, inducen la formación lóbulo-alveolar del tejido mamario y la progesterona inhibe la lactogénesis (Houdebine *et al.*, 1983). La progesterona actúa como un fuerte inhibidor cuando se inyecta con la PRL a conejas en las que se induce la síntesis de caseína. Así, la progesterona parece ser un inhibidor general de la acción de la PRL en la lactogénesis. El efecto inhibitorio de la progesterona no es mediado por acción directa sobre las células de la glándula mamaria, ni tampoco requiere sinergia con otros factores presentes *in vivo* pero no en cultivos (Houdebine *et al.*, 1985).

Los glucocorticoides son hormonas esenciales para la actividad secretora mamaria. Los glucocorticoides refuerzan la acción de la PRL para la inducción de la



síntesis de leche mediante la acumulación del mRNA utilizado para la formación de la proteína de la leche (Houdebine *et al.*, 1985). Además, los glucocorticoides tienen un efecto sinérgico con la PRL sobre la trasducción para disminuir la degradación del mRNA utilizado en la formación de caseína (Delouis y Richard, 1993). Así, la acción de los glucocorticoides está correlacionada con la presencia de sus receptores en la célula mamaria, que se encuentran en gran número durante la primera etapa de lactogénesis, pero desaparecen totalmente durante la lactancia. La progesterona antagoniza la acción de los glucocorticoides por competencia de receptores específicos (Houdebine *et al.*, 1985).

#### **2.2.1.5. Participación de la GH y del IGF-I en la lactogénesis**

En los rumiantes se ha determinado que la GH tiene mayor importancia para mantener la secreción de leche. La GH agregada con la PRL en la glándula mamaria de la cabra estimula la síntesis de caseína, a un nivel mayor que con la PRL sola por lo tanto la GH también actúa directamente sobre el tejido mamario (Houdebine *et al.*, 1985).

La lactogénesis se reestablece en ovejas y cabras hipofisectomizadas por tratamiento hormonal con PRL, esteroides adrenales, hormonas tiroideas y GH (Delouis *et al.*, 1980), demostrándose así que estas hormonas forman el complejo hormonal lactogénico. Así también, la aplicación de GH en ratas hipofisectomizadas, ovariectomizadas y adrenalectomizadas induce el crecimiento del sistema de conductos mamaros (Lyons, 1958). También, se ha reportado que en vaquillas, las

aplicaciones de GH provocan un aumento en masa y en el total de células mamarias parenquimatosas (Radeliff *et al.*, 1997). Además, la GH induce la secreción de IGF-I, del hígado o de las células del estroma mamario, y puede ser que el IGF-I medie la acción mamogénica de la GH vía endocrina, paracrina, o por un mecanismo autocrino (Forsyth, 1996).

### **2.3. Galactopoiésis**

La galactopoiésis inicia con el parto, es un periodo en el cual la glándula mamaria sintetiza y evacua la leche producida. Las fases en la lactancia establecida se conocen como, temprana (cuando la producción todavía está aumentando), pico de producción (fase de producción máxima) y lactancia final (una fase imprecisa antes de la involución mamaria). La interacción madre-cría, la estimulación táctil de los pezones, el amamantamiento, la ordeña y la descarga en el torrente sanguíneo de un complejo de hormonas que participan en la secreción de la leche determinan las características de este período.

#### **2.3.1. Factores hormonales que intervienen en la galactopoiésis**

##### **2.3.1.1. Participación de la PRL en la galactopoiésis y el control de su liberación**

La PRL es una hormona que promueve la lactancia permitiendo a las células mamarias diferenciarse completamente entre el parto y el inicio de la secreción de

leche (Cowie *et al.*, 1980). Además, la disminución de las concentraciones de PRL durante una lactancia establecida en animales no-rumiantes da lugar a una disminución inmediata en la producción de leche. En rumiantes la implicación básica de la PRL durante una lactancia establecida es cuestionable. Existe evidencia que sugiere que la liberación de PRL debido al ordeño o al amamantamiento puede participar o no en el mantenimiento de la secreción de leche. En efecto, en muchos estudios en rumiantes en los cuales se modificó las concentraciones de PRL no se indujo cambios importantes en el nivel de producción de leche (Hart, 1973; Beck *et al.*, 1979; Plaut *et al.*, 1987)

La producción diaria de leche se correlaciona positivamente con las concentraciones séricas de PRL posterior a la ordeña en vacas y al amamantamiento en la mujer (Koprowsky y Tucker, 1973; Aono *et al.*, 1977). En ratones, la liberación de PRL debido al amamantamiento de las crías mantiene la secreción de leche hasta 2 meses (Nagasawa y Yanai, 1976). De manera similar, las vaquillas que se ordeñan y que amamantan en la lactancia temprana mostraron mayores niveles de PRL y una mayor producción de leche con respecto a las vaquillas que solo fueron ordeñadas (Peel *et al.*, 1979). Asimismo, el aumento en la frecuencia de dos a tres ordeños/día, lo cual indujo mayores concentraciones de PRL también incrementó la producción de leche (Poole, 1982). Estos resultados sugieren que la liberación de PRL inducida por el ordeño o el amamantamiento es de suma importancia fisiológica para el proceso de galactopoiésis (Jacquemet y Prigge, 1991).

El incremento de los péptidos endógenos opioides durante el amamantamiento, tales como las encefalinas y  $\beta$ -endorfinas, son importantes en el control de la liberación de PRL, ya que estos suprimen la actividad de las neuronas tubero-infundibulares dopaminérgicas (TIDA). Esto ocasiona bajos niveles de dopamina en los vasos portales hipofisarios e incrementa las concentraciones de PRL. El tratamiento de ratas con tales compuestos exógenos incrementa la concentración sanguínea de PRL y de la GH. Sin embargo, en la cabra, la administración del antagonista opioide (naloxona) inhibió la secreción basal, pero no completamente la liberación de PRL al momento del ordeño (Mephram, 1987). En la cabra el ordeño de una glándula mamaria intacta estimula una liberación rápida de PRL, con concentraciones sanguíneas elevadas por cerca de 40 minutos, sin embargo, cuando se ordeña una glándula denervada no ocurre ninguna liberación de PRL (Hart y Linzell, 1977).

La hipofisectomía (extracción de glándula pituitaria) causa una inhibición rápida de la secreción de leche en todas las especies, pero en conejas la producción se puede restaurar a un nivel normal con la sola aplicación de PRL. Las ratas requieren de PRL y los esteroides suprarrenales; mientras que las cabras y las ovejas además de la PRL, también necesitan la GH y hormonas tiroideas (Mephram, 1987). Recientemente, el uso del inhibidor de liberación de PRL (bromocriptina), ha confirmado la importancia de esta hormona en la lactogénesis en toda las especies estudiadas, pero revela que en vacas y cabras durante la lactancia establecida la liberación de PRL no afecta de manera importante la producción de leche (Tucker, 1994).

En otros estudios con animales rumiantes y no-rumiantes, se confirmó que la actividad del amamantamiento determina en gran medida la liberación de la PRL. En mujeres la liberación de PRL inducida por el amamantamiento es importante durante toda la lactancia. En ratas, los estímulos exteroceptivos llegan a ser progresivamente más importantes en la lactancia avanzada, de modo que simplemente el sonido, el olor y/o la visualización física de la cría provocan la liberación de PRL (Grosvenor y Mena, 1973; Grosvenor *et al.*, 1990). Estos estímulos exteroceptivos para la liberación de PRL posiblemente también son importantes en rumiantes. En efecto, cuando las vacas lecheras fueron expuestas solo a las vocalizaciones de sus becerros mediante una grabación (playbacks) se indujo un incremento en la producción de leche, muy probablemente mediado por la liberación de PRL y de oxitocina (McCowan *et al.*, 2002). Además, se ha demostrado que la descarga de PRL y oxitocina debido al amamantamiento de sus crías fue significativamente menor en las cabras que no pueden percibir el olor (anósmicos) que en las cabras intactas (Hernandez *et al.*, 2004).

En conjunto, los datos disponibles en la literatura sugieren fuertemente que la PRL tiene un papel importante para la síntesis de leche durante la lactancia establecida. Sin embargo, en algunas especies rumiantes otros factores como el vaciamiento glandular toman mayor importancia que la descarga hormonal durante la galactopoiésis.

### **2.3.1.2. Participación de la GH en la galactopoiésis y el control de su liberación**

En rumiantes existe evidencia de que la GH participa en la galactopoiésis. De hecho, es posible aumentar substancialmente la producción de leche inyectando la GH exógena en vacas lactando (Bauman y Vernon, 1993; Mepham, 1987).

La liberación de la GH de la glándula pituitaria durante el amamantamiento parece ser variable entre especies y entre individuos de una misma especie. De hecho, hay evidencia de que en algunos casos, la liberación no es debido al estímulo de nervios aferentes. Por ejemplo, en una cabra, el ordeño de una glándula denervada fue seguida cerca de 20 minutos más tarde por una liberación pronunciada de GH, aunque no existió una liberación de PRL. Esto puede sugerir que la liberación de la GH se puede accionar por los cambios metabólicos posteriores al retiro de la leche. Aunque durante la lactancia las concentraciones séricas basales de la GH no son diferentes a las de animales no lactantes, el amamantamiento ocasiona una liberación transitoria en los niveles de la GH. El amamantamiento activa los opioides y los mecanismos de receptor  $\alpha_2$ -adrenérgico en el núcleo arcuato para así incrementar la secreción de GHRH (hormona liberadora de la GH) y subsecuentemente la GH (Tucker, 2000). Otros reportes sugieren que la liberación de la GH sea promovida por los péptidos opióides (Mepham, 1987).

Actualmente, el uso de la GH es como agente galactopoiético para el aumento de la producción de leche sin implicaciones adversas en la salud del consumidor de leche, de la vaca en sí misma o al medio ambiente. Las concentraciones séricas de



la GH no cambian en respuesta al estímulo del ordeño y el decline de las concentraciones séricas de esta hormona conforme avanza la lactancia es mínima (Koprowski y Tucker, 1973). La GH también se une a sus receptores en los hepatocitos que estimulan la secreción creciente del IGF-I. Este se une a su receptor en las células epiteliales mamarias que media la acción de la GH (Gluckman *et al.*, 1987). También, la administración arterial de IGF-I cerca de la glándula mamaria aumenta la secreción de la leche en las cabras dentro de las primeras 2 a 4 horas post-aplicación (Prosser *et al.*, 1990). La administración de IGF-I incrementó la proliferación y la sobrevivencia de las células mamarias, lo cual se ha postulado como posible mecanismo de acción para su actividad galactopoiética (Prosser *et al.*, 1990; Cohick, 1998).

La respuesta a la aplicación de GH en bovinos lecheros es la siguiente: la producción de leche aumenta en los primeros días de tratamiento y alcanza su máximo pico en la primera semana post-aplicación. Si el tratamiento es terminado, la producción de leche retorna gradualmente al nivel registrado antes del tratamiento. Sin embargo, cuando el tratamiento continua, el aumento de producción de leche es mantenido. La administración de GH bovina resulta en un gran pico en la producción de leche y una persistencia incrementada en la producción durante el ciclo de la lactancia (Bauman y Vernon, 1993).

## **2.4. Evidencia de un control local de la glándula mamaria sobre la galactopoiésis**

Las glándulas mamarias son estructuras pares y localizadas externamente en el cuerpo, estas están separadas una de otra dependiendo de la especie y el estado de la lactancia. La propuesta sobre la existencia de un control local en la función mamaria proviene de varias observaciones: primero, en cabras preñadas próximas al parto, la glándula mamaria podría estar en un estado de preparación para la secreción, la cual podría contener una pequeña cantidad de líquido preparto, pero no estar todavía en un estado secretor activo. Si una glándula es “ordeñada” por varios días para remover el líquido preparto, esa misma glándula podría empezar a secretar elevadas cantidades de leche (Maule-Walker y Peaker, 1980). Segundo, en cabras lactantes, si en una de las glándulas se cambia de dos ordeñas por día a más ordeñas, la producción de esa glándula aumentará perceptiblemente (Henderson *et al.*, 1983). Por el contrario, si la frecuencia de ordeña se reduce en una glándula la producción de leche declina en esa misma glándula. Estas observaciones simples proporcionan evidencia de un control local tanto en la lactogénesis como en la galactopoiésis.

### **2.4.1. Influencia del vaciamiento glandular y la presión intramamaria sobre la producción de leche**

Existe evidencia abundante de que la tasa de secreción de leche dentro de un animal está directamente correlacionada con la frecuencia con la cual la leche es

removida de las glándulas mamarias. Así, en el ganado lechero que es ordeñado normalmente 2 veces al día, el incremento a tres ordeñas diarias incrementa en un 10% la producción de leche (Poole, 1982). Por el contrario, cuando a esos animales la ordeña se reduce a una vez/día la producción disminuye en un 20% (Carruthers *et al.*, 1993). El ejemplo más extremo del efecto de la frecuencia de ordeño sobre la producción de leche proviene de un estudio realizado con vacas lecheras israelitas (Bar-Peled *et al.*, 1995). Estos investigadores incrementaron la producción de leche de 35 a 43 kg/día al incrementar la frecuencia de ordeñas hasta 6 veces/día.

Se han propuesto varias hipótesis para explicar cómo el incremento en la frecuencia de ordeño estimula la secreción de leche (ver revisión de Peaker, 1995). Los experimentos iniciales en cabras mostraron que esto es un fenómeno rápido. Así, realizando ordeñas cada hora se produjo una respuesta dentro de pocas horas (Linzell y Peaker, 1971). Además se observó que cuando la ordeña se realizó cada hora en sólo una glándula dada, el efecto fue sólo sobre esa glándula. Esta respuesta ocurrió incluso cuando la glándula ordeñada se desnervó previamente. Sin embargo, la estimulación manual (para provocar el reflejo de eyección de la leche) sin extraer la leche no incrementó la tasa de secreción. Estas observaciones sugieren que la extracción de la leche de las glándulas, más que los eventos endocrinos inducidos por el acto de ordeña es un factor crítico sobre la secreción de leche.

Una explicación para el aumento de la producción de leche debido al ordeño frecuente parece ser la importancia que ejerce la presión dentro de la glándula

mamaria. Hace algunos años se asumía que la glándula mamaria estaba inactiva entre episodios de amamantamiento u ordeña y que la síntesis de leche ocurría concurrentemente con su evacuación. Posteriormente cuando se comprendió mejor el proceso de la eyección de la leche, fue evidente que la síntesis era continua, por lo tanto se pensó que la presión intramamaria regulaba en parte la producción de la misma. Es claro que en la ausencia de la extracción de la leche, su acumulación en el sistema de ductos eventualmente podría inhibir su secreción. Esto es debido a que la elevación en la presión del sistema de ductos podría requerir un incrementado gasto de energía para transferir los componentes de la leche a través de la membrana apical de las células secretoras. También la elevada presión intramamaria puede afectar el flujo sanguíneo hacia la glándula mamaria (Mephram, 1987). Así, una alta presión puede causar la clausura de los capilares sanguíneos e inhibir la secreción de leche debido a una reducción en el suministro del sustrato.

#### **2.4.2. Factor inhibidor de la lactancia (FIL)**

Linzell y Peaker (1971) propusieron por vez primera que la estimulación de la producción de leche debido al ordeño frecuente es inducida por una mayor frecuencia de eliminación de un constituyente de la leche el cual limita su secreción. Estudios iniciales indicaron que el inhibidor es una proteína contenida en el suero de la leche que tiene una masa molecular de 10-30 kDa (Wilde *et al.*, 1987). La literatura posterior a los estudios de Wilde y Peaker denominó a este componente como factor inhibidor de la lactancia (FIL). Una de las maneras en que el FIL disminuye la secreción de leche es disminuyendo la actividad de las células secretoras y

ejerciendo una retroalimentación negativa sobre el control de la síntesis de proteína y lactosa (Wilde *et al.*, 1989). De hecho, se ha demostrado el papel biológico del FIL en estudios en los cuales se realizaron infusiones intramamarias. Así, en cabras infundiendo el FIL en una de las 2 glándulas mamarias la secreción de leche se inhibió en comparación a la glándula colateral. Además, la inactivación del FIL mediante procedimientos de inmuno-neutralización ejerce efectos estimulatorios sobre la producción de leche (Wilde *et al.*, 1996). Puesto que la leche presente en el lumen alveolar esta en contacto solo con las células secretoras, entonces es muy probable que el FIL podría ejercer su acción en las mismas células, mediante un mecanismo autocrino (Wilde *et al.*, 1995; Knight *et al.*, 1998).

## **2.5. Reflejo de eyección de la leche**

La eyección de la leche es el transporte activo de la leche contenida en los alvéolos (alveolar) al compartimiento cisternal. Consiste en: (1) contracción de las células mioepiteliales que rodean los alvéolos como una cesta y (2) una transferencia de la leche a través del sistema de conductos de la leche. La eyección de la leche es un mecanismo que ocurre en respuesta al estímulo táctil de la glándula mamaria a través de un arco reflejo neuroendocrino. El estímulo generado en la glándula mamaria en respuesta al amamantamiento u ordeña es transmitido a los centros nerviosos que regulan la síntesis de oxitocina, como lo son las neuronas magnocelulares del núcleo paraventricular. Dicho estímulo provoca que la oxitocina almacenada en la neurohipófisis sea liberada al torrente sanguíneo y alcanzar la glándula mamaria (Crowley y Armstrong, 1992). En respuesta a las elevadas

concentraciones de oxitocina en sangre, la captación de oxitocina por los receptores en las células mioepiteliales causa la contracción alveolar (Soloff *et al.*, 1980). Por consiguiente, la leche alveolar es forzada a pasar adentro del espacio cisternal. La eyección de la leche alveolar causa un incremento rápido de la presión dentro de la cisterna (Bruckmaier y Blum, 1996) y un agrandamiento del tamaño de la cavidad cisternal (Bruckmaier y Blum, 1992). Sin embargo, debido al limitado espacio cisternal no toda la leche alveolar puede ser expulsada, si la leche no es removida simultáneamente desde la ubre. Aunque el final del proceso es la salida de la leche debido al amamantamiento o durante la ordeña (Bruckmaier *et al.*, 1994; Bruckmaier *et al.*, 1997). Se ha demostrado que la cabra es capaz de distinguir efectos molestos que pueden alterar el mecanismo de expulsión de la leche. Estos efectos pueden ser percibidos en la glándula derecha o izquierda, en forma discriminada (Gratchev, 1964).

## **2.6. Factores que influyen en la producción de leche**

En rumiantes, el nivel de producción de leche durante una lactancia esta sujeto a distintos factores como la época del parto, el número de partos, la edad al parto, la condición y el peso corporal y la alimentación. Dentro de estos factores, la época del parto y por ello la duración del día o fotoperíodo (definido como la duración de las horas luz/día) ha sido investigada muy poco en la cabra. En los siguientes párrafos se tratará de puntualizar algunos aspectos que tienen que ver con la interacción fotoperíodo-producción de leche en las especies en las que se ha investigado.

### 2.6.1. Efecto del fotoperíodo sobre la producción de leche

En las cabras, el primer reporte que demostró que la secreción de leche varía de manera estacional fue realizado por Linzell (1973). Este investigador determinó en cabras de la raza Saanen, que los animales presentaron una estacionalidad en la producción de leche. La producción fue máxima durante los días largos del verano y mínima durante los días cortos del invierno (Linzell, 1973).

Después de las observaciones realizadas en cabras por Linzell (1973), se demostró en las hembras de la especie bovina, que el fotoperíodo influye también en la producción de leche (Peters *et al.*, 1978; Bilodeau *et al.*, 1989; Evans y Hacker, 1989). El estudio más reciente en las vacas Holstein al cuarto mes de lactancia, demostró que después de exponer un grupo de ellas a un fotoperíodo de días largos (18 h luz: 6 h oscuridad), la producción de leche se incrementó en ellas hasta en 2.2 kg/día, comparado con las vacas en días cortos naturales (Dahl *et al.*, 1997). Asimismo, estos investigadores demostraron que la respuesta al fotoperíodo largo fue evidente a las 4 semanas de exposición y se mantuvo durante todo el estudio.

Sin embargo, también en vacas se determinó que el estado fisiológico durante el cual los animales son expuestos al fotoperíodo largo puede modificar la respuesta. Así, cuando los animales son expuestos a días largos durante los últimos 21 días del período seco, la producción de leche declinó de manera importante en la lactancia (Aharoni *et al.*, 2000). Por el contrario, las vacas expuestas a un fotoperíodo corto (de 10 h luz/día) durante el mismo período seco incrementaron su producción de

leche. En cabras, el fotoperíodo de días cortos durante el periodo seco también juega un papel importante en la producción de leche. Recientemente, se demostró que exponiéndolas a un fotoperíodo de días cortos (8 h luz: 16 h oscuridad) 45 días antes del parto (período seco) y después a días largos, mostraron una mayor producción durante la lactancia que aquellas expuestas durante el período seco a días largos (Mabjeesh *et al.*, 2007). Esto se debió probablemente a que las hembras que se sometieron a días largos al suspender el tratamiento fotoperiódico pasaron a días cortos lo que ocasionó una disminución en la producción de leche. En cuanto a los animales sometidos a días cortos, al terminar el tratamiento pasaron a días largos lo que provocó un aumento en la producción de leche.

En las ovejas también se ha reportado que el fotoperíodo modula el nivel de producción de leche durante la lactancia. Por ejemplo, en las ovejas de la raza Sarda, Bocquier *et al.* (1997) demostraron que proporcionando días largos y días cortos mediante cámaras fotoperiódicas desde 25 días antes del parto y durante 150 días de lactancia, las ovejas tratadas con días largos produjeron 25.3 % más leche que el grupo mantenido en días cortos. Estos hallazgos coinciden con lo recientemente reportado por Molik *et al.* (2007) quienes observaron que en ovejas de Polonia paridas en junio (comienzo de los días decrecientes) y sometidas a ordeña a partir del destete produjeron menor cantidad de leche que aquellas ovejas paridas en enero (comienzo de los días crecientes). Sin embargo, en este estudio de Molik *et al.* (2007) en un tercer grupo de ovejas que parieron en junio y fueron expuestas a un fotoperíodo largo (16 h luz: 8 h oscuridad) durante los meses de otoño, no incrementaron su nivel de producción de leche. Con base a la disminución en los niveles



de PRL en las ovejas de este último grupo, ellos sugirieron que se debió muy probablemente a la instalación de un estado refractario a los días largos.

### **2.6.2. Percepción de la señal fotoperiódica y traducción de la señal**

En los mamíferos la fotorrecepción ocurre en la retina. La luz incide en el ojo estimulando a los fotorreceptores de la retina que transmiten una señal inhibitoria para la secreción de melatonina por la glándula pineal mediante una serie de interneuronas vía el tracto retino-hipotalámico (Rieter, 1991). La pineal secreta la melatonina, la cual es el mediador activo de las respuestas fotoperiódicas (Rieter, 1980; Rieter, 1991). La luz inhibe la actividad de la enzima N-acetiltransferasa disminuyendo la síntesis de melatonina (Illnerova y Sumova, 1997). Así, la secreción de melatonina de la glándula pineal es baja durante la exposición luminosa, por lo que las concentraciones de melatonina durante esta fase son mínimas (Hedlund *et al.*, 1977; Buchanan *et al.*, 1992). Durante la fase oscura, la inhibición de la síntesis se elimina y aumenta rápidamente la secreción de melatonina.

En bovinos como en los ovinos la respuesta al fotoperíodo depende de la glándula pineal. De hecho, cuando los bovinos productores de carne son cegados experimentalmente y/o pinealectomizados se eliminan los patrones rítmicos endógenos de la melatonina, lo cual a su vez elimina las respuestas fotoperiódicas similar a lo que ocurre en la especie ovina (Petitclerc *et al.*, 1983; Karsch *et al.*, 1988). Por lo tanto, la duración del día depende de la duración de la secreción elevada de melatonina. Es decir, una prolongada secreción de melatonina es

interpretada por el animal como un día corto. En cambio, un reducido tiempo de secreción de melatonina es interpretada por el animal como un día largo (Takahashi y Zatz, 1982; Rieter, 1991). Así, el patrón de secreción de melatonina influye en la secreción de un número de hormonas y estos efectos endocrinos del fotoperíodo resultan en alteraciones fisiológicas en la reproducción, el crecimiento y la lactancia.

### **2.6.3. Mecanismo fisiológico mediante el cual el fotoperíodo regula la producción de leche**

En varias especies, el fotoperíodo de días largos aumenta las concentraciones de PRL circulante (Johnston, 2004; Bovinos: Dahl *et al.*, 2000; Ovejas: Ravault y Ortavant, 1977; Sweeney *et al.*, 1999; Cabras: Hart, 1975; Brackel-Bodenhausen *et al.*, 1994; Gebbie *et al.*, 1999). En un estudio, Reksen *et al.* (1999) determinaron que en las vacas la simple exposición de 12 h luz/día estimula la producción de leche en relación con las que reciben menos de 12 h luz/día y la composición de la leche generalmente no es afectada por el fotoperíodo. Sin embargo, otros estudios reportan una ligera disminución en el porcentaje del nivel de grasa en leche debido a la exposición de días largos (Stanisiewski *et al.*, 1985; Phillips y Schofield, 1989; Miller *et al.*, 1999).

En los bovinos la exposición a días largos tiene un efecto galactopoiético. El mecanismo endocrino de esta respuesta no está del todo entendido. Se ha propuesto a la PRL como el primer candidato hormonal responsable de los efectos galactopoiéticos del fotoperíodo. De hecho, los días largos aumentan las

concentraciones plasmáticas de PRL en un número de especies, incluyendo los bovinos (Peters *et al.*, 1978; Tucker *et al.*, 1984). Los días cortos ó la aplicación de melatonina exógena para imitar días cortos, disminuyen la PRL circulante (Sanchez-Barcelo *et al.*, 1991; Buchanan *et al.*, 1993; Smith, 1998; Auldism *et al.*, 2007). Como la PRL tiene un papel galactopoiético, entonces su elevada concentración debido a un fotoperíodo largo pudiera ser el mediador por el cual se incrementa la producción de leche. Sin embargo, también se conoce que cuando se suprimen las concentraciones de PRL durante la lactancia establecida, la producción de leche no declina (Hart, 1973; Plaut *et al.*, 1987). Lo cual sugiere que además de la PRL, otras hormonas participan en el incremento de la producción láctea debido a los días largos.

Una segunda hormona relacionada posiblemente con el efecto galactopoiético de días largos es la GH. En efecto, la aplicación de GH exógena (Bauman y Vernon, 1993) o el incremento endógeno de esta (Dahl *et al.*, 1991), aumentan la producción de leche en vacas lactando. Sin embargo, existe poca evidencia de que el fotoperíodo influya en la secreción de GH en bovinos. En esta última especie, el fotoperíodo no afecta significativamente las concentraciones plasmáticas diarias de la GH (Peters y Tucker, 1978), las características de su secreción pulsátil (Zinn *et al.*, 1986a), ni los niveles de su liberación (Zinn *et al.*, 1986b). Además, se conoce que no hay diferencia en la intensidad de liberación de la GH en bovinos sometidos a días largos comparados con los bovinos sometidos a días cortos (Peters *et al.*, 1981). En carneros si se ha demostrado que el incremento natural en la duración del fotoperíodo incrementa las concentraciones de GH (Barenton *et al.*, 1983). Asimismo,

en ovejas inducidas a lactar, la aplicación del factor liberador de la hormona del crecimiento humana (hGRF) incrementó la producción láctea cuando estuvieron mantenidos en días largos, que en días cortos (Kann, 1997). Sin embargo, también se ha demostrado en ovejas que se requiere de la aplicación de dosis muy elevadas para poder incrementar la producción de leche (McDowell *et al.*, 1987; Kann, 1997). Por lo anteriormente expuesto, podemos asumir que la GH puede ser en parte responsable del incremento de la producción de leche debido a los días largos.

Posteriormente, se observó que en vacas las concentraciones de IGF-I fluctúan con el tratamiento fotoperiodico independiente de la GH y ello podría explicar posiblemente el efecto de los días largos. De hecho, existe evidencia en vaquillas y en el reno de que los días largos estimulan la secreción de IGF-I (Suttie *et al.*, 1991; Spicer *et al.*, 1994). A su vez, este aumento de IGF-I conducen un efecto galactopoiético por los días largos (Dahl *et al.*, 2000). En efecto, la infusión arterial de IGF-I cerca de la glándula mamaria estimula la producción de la leche en las cabras, sugiriendo que la acción galactopoiética del IGF-I es directo (Prosser *et al.*, 1990).

## **2.7. Definición de anestro postparto (APP)**

Es la ausencia de los ciclos estrales y ováricos en la fase posterior al parto. En bovinos y rumiantes en general, el APP es el período después del parto que se caracteriza por la no manifestación de signos de la conducta de celo. Esta condición de anestro es asociada con la presencia de ovarios estáticos y aunque existe desarrollo folicular ningún folículo que comienza a crecer llega a la madurez suficiente como para ovular (Montiel y Ahuja, 2005).

En cabras y ovejas la duración de este período es variable y es afectada entre otros factores por: la época en que ocurren los partos, el amamantamiento de las crías, la nutrición y condición corporal, la presencia del macho y el fotoperíodo (Delgadillo *et al.*, 1998; Wright *et al.*, 1990; Lassoued *et al.*, 2004; Bocquier *et al.*, 1997; Abi-Salloum y Claus, 2005).

### **2.7.1. Factores que influyen en la duración del APP**

#### **2.7.1.1. *Influencia de la nutrición, el peso y la condición corporal sobre la duración del APP***

Las condiciones de alimentación en las cuales los animales son mantenidos, influyen de manera importante sobre la duración del período de inactividad sexual postparto. En las vacas productoras de carne, la nutrición preparto reflejada a su vez por la condición corporal al parto, determina la duración del APP (Dunn y Kaltenbach,

1980; Selk *et al.*, 1988). Así, en vacas productoras de carne un inadecuado consumo de proteína y energía durante la preñez o durante la lactancia temprana resulta en una baja condición corporal al parto y un prolongado período inter-parto (Laflamme y Connor, 1992). Incluso se ha determinado que existe una correlación negativa entre la condición corporal al parto con la duración de APP (Richards *et al.*, 1986; Wright *et al.*, 1987, 1992). Así, Wiltbank *et al.* (1964), reportaron que las vacas con una condición corporal al parto de 6.8 tuvieron un APP de sólo 48 días, comparadas con las vacas cuya condición corporal fue de 4.4 las cuales presentaron un APP de 65 días. Por ello, cuando las vacas productoras de carne de la raza Angus fueron alimentadas con un plano nutricional elevado 55 días antes del parto y 40 días después obtuvieron 35 kg de peso vivo más y tuvieron un intervalo de APP más corto que las vacas bajo un plano nutricional medio (Montgomery *et al.*, 1985).

En ovinos, también el estado nutricional influye sobre la reproducción postparto. Por ejemplo, en Australia en un estudio con ovejas, Smith (1964) demostró que la aparición del estro postparto es significativamente retrasado debido una baja nutrición durante la preñez. En esta misma especie se ha reportado que un reducido estado nutricional durante el período postparto retrasa de manera significativa la aparición de la actividad ovárica postparto, inhibe la presentación del estro en respuesta a la introducción del macho y reduce el período de actividad sexual (Wright *et al.*, 1990). Más recientemente, en una revisión de Rhind (2004) se argumenta que el estado nutricional y las reservas de grasa corporal determinan en gran medida la eficiencia reproductiva en ovejas. Abecia *et al.* (1993) reportaron que en las ovejas

de la raza Aragonesa, una suplementación de proteína durante el período postparto incrementa la tasa ovulatoria comparado con el grupo no suplementado.

En las cabras el período de APP puede también ser influenciado fuertemente por el peso y la condición corporal del animal. En efecto, las madres que llegan al parto con condición corporal no adecuada y un bajo peso, producen cabritos bajos de peso, menos leche y el APP es más prolongado (Andrioli *et al.*, 1992). También recientemente Freitas *et al.* (2004) encontraron en cabras Saanen en el norte de Brasil que existe una correlación negativa significativa ( $r = -0.45$ ) entre la condición corporal al parto y la duración del APP. Además, se ha determinado en cabras de la raza Canindé que las hembras que pierden peso o condición corporal después del parto presentan un APP más largo que en aquellas que no perdieron unidades en estas medidas (Maia, 1998). Sin embargo, Mbayahaga *et al.* (1998) no encontraron una correlación entre la duración del APP y la pérdida de peso corporal en las cabras africanas. En las cabras locales del subtrópico mexicano específicamente en las cabras criollas de la Comarca Lagunera que paren en el mes de mayo se encontró una correlación negativa entre el peso corporal al momento del parto y la duración del APP (Flores, 1996).

De manera general, los anteriores argumentos muestran claramente que la mala nutrición a la que son sometidos los animales antes y después del parto se ve reflejado en una condición corporal pobre y bajo peso que a su vez, prolonga la duración del APP.

### **2.7.1.2. Influencia del amamantamiento y del destete de las crías sobre la duración del APP**

El amamantamiento de las crías es un factor que influye en el reinicio de ciclicidad ovárica postparto de las madres. Por ejemplo, las vacas productoras de carne que amamantan libremente a sus becerros tienen un APP más largo que las vacas que se les destetó a sus crías (Hoffman *et al.*, 1996; Lamb *et al.*, 1997). Asimismo, Randel (1981) indicó que reduciendo a un amamantamiento al día a su becerro redujo sustancialmente el APP en vaquillas. Cuando se permite el amamantamiento a sólo 2 ó 3 veces por día se incrementa la aciclicidad ovárica postparto (Williams, 1990). En las vacas *Bos indicus* la restricción del amamantamiento a una o dos veces/día reduce la duración del APP comparado con las vacas a las que no se les restringió el amamantamiento (Del Vecchio *et al.*, 1988; Shively y Williams, 1989; Tegegne *et al.*, 1992).

Sin embargo, no solo el acto del amamantamiento por sí mismo es responsable de la inhibición de la actividad sexual postparto. En efecto, Silveira *et al.* (1993) demostraron que el porcentaje de vacas (productoras de carne) ovulando a los 25 días postparto fue mayor en los grupos que destetaron a sus crías a los 6 días (70%) y en aquellas que se les forzó amamantar a un becerro ajeno (70%) que en las vacas que amantaron a su propio becerro (10%). Estos resultados indican que el vínculo selectivo que se establece entre la madre y sus crías influye sobre el período de inactividad sexual postparto. Así mismo, en la cabra la anosmia inducida (la cual no permite establecer un vínculo selectivo con sus crías) no adelantó el reinicio de la



actividad sexual (Hernández *et al.*, 2004). Lo anterior se debió posiblemente a que en este último estudio se evaluó la actividad estral utilizando un macho sexualmente activo el cual posiblemente estimuló el celo en las hembras intactas mediante la emisión del olor sexual.

También en las cabras en el subtrópico se ha determinado que la conducta de amamantamiento puede en ciertas épocas del año influir sobre la duración del APP. Por ejemplo, cuando en esos animales los partos ocurren durante mayo (es decir durante el anestro estacional), ni la frecuencia de amamantamiento, ni el tiempo total de amamantamiento se correlacionaron con el período de APP (Hernández, 1996). También, cuando los partos ocurrieron al final de la estación sexual en enero, solo el tiempo promedio por amamantamiento se correlacionó positivamente con la duración del período de APP ( $r = 0.70$ ; Delgadillo *et al.*, 1997). Finalmente, cuando los partos ocurrieron durante la estación sexual en otoño (octubre), el período de anovulación postparto se correlacionó con la frecuencia de amamantamiento ( $r = 0.83$ ) y con el tiempo total de amamantamiento ( $r = 0.82$ ) registrados a la tercera semana postparto (Aguilar *et al.*, 1996). Esta variación en la existencia o ausencia de correlación entre las variables de la conducta de amamantamiento y el período de APP se debió que en algunas épocas de parto el anestro estacional ocultó el posible efecto de la conducta de amamantamiento.

También en ovejas Pelibuey la duración del amamantamiento permitido ejerce un efecto inhibitorio en el restablecimiento de la actividad ovárica postparto. Así, se ha observado que reduciendo el periodo diario de amamantamiento a solo 30

minutos 2 veces por día disminuye el intervalo parto-primera ovulación, lo que permite reducir el APP sin afectar la ganancia de peso ni la mortalidad en corderos (Morales-Terán *et al.*, 2004). En cabras del subtrópico mexicano, el momento en que se realiza el destete de las crías modifica de manera importante la duración del APP, solo cuando los partos ocurren durante el período natural de reproducción. Así, cuando paren en octubre y que se les desteta de sus crías al día 2 postparto, muestran un APP más corto (40 días) que cuando se les desteta a los 30 días (55 días) o a los 90 días postparto (80 días; Delgadillo *et al.*, 1998).

### **2.7.1.3. Influencia de la época del parto sobre la duración del APP**

En las cabras y ovejas originarias de zonas tropicales la época del año en que ocurren los partos influye en la duración del APP. Por ejemplo, en las cabras Criollas de la Isla de Guadalupe en el Caribe, el porcentaje de hembras cíclicas a los 75 días postparto es más elevado cuando paren en agosto (84%), que en abril (53%), en diciembre (32%; Chemineau *et al.*, 1986). También, en las ovejas Pelibuey de México (19° 6' N) el APP varía según el mes en que ocurre el parto. Así en esta raza se determinaron las duraciones de APP con relación al mes en el cual ocurrió el parto: corta (26 días), cuando el parto ocurre en junio, julio, septiembre, octubre y noviembre; mediana (47 días) cuando los partos fueron en diciembre y mayo; largo (71 días) se presenta cuando las hembras paren en enero, febrero, marzo y abril (Rodríguez-Castillo *et al.*, 2001). De manera conjunta se ha sugerido que en los animales de estas zonas el APP generalmente es corto pero puede mostrar grandes

variaciones. Además se ha señalado la disponibilidad de alimento como el principal factor que regula la duración del APP (González-Stagnaro, 1984).

También, en las cabras subtropicales de la Comarca Lagunera Delgadillo *et al.* (1998), reportaron que las hembras que paren en enero el APP fue mayor (200 días), que las paridas en mayo (100 días) y que las que paren en octubre (50 días). Esto se debe a que como son animales que muestran una estacionalidad reproductiva, cuando paren durante el final de la estación sexual (enero) los animales tendrán que esperar hasta que inicie la siguiente estación. Asimismo, cuando paren poco antes del inicio de ésta (mayo) el APP es menor. Por último, cuando las cabras paren durante la estación sexual (octubre), en ausencia del efecto inhibitorio del anestro estacional el APP fue más corto. En las ovejas Ile-de-France la duración del APP dura 51 días, si estas paren a principios de septiembre y octubre (Mauléon y Dauzier, 1965). Mallampati *et al.* (1971) demostraron que las ovejas que parieron de marzo a junio tuvieron un APP mayor de 100 días, en cambio, las ovejas que parieron de julio a octubre el APP duró solo 30 días. Ellos argumentaron que el anestro estacional en ambas razas influyó sobre la duración del período de APP.

#### **2.7.1.4. Influencia del fotoperíodo sobre la duración del APP**

En las zonas templadas y subtropicales la mayoría de las razas de ovejas y cabras, muestran variaciones estacionales en su actividad sexual las cuales son controladas por las variaciones del fotoperíodo anual (Mauleon y Dauzier, 1965; Delgadillo *et al.*, 2004a).

Por ello, las variaciones en la duración del APP en diferentes épocas de parto son asociadas a las variaciones en la duración del día registradas durante las distintas estaciones del año (Abi Salloum y Claus, 2005). Así, en ovejas Préalpes que fueron sometidas a un fotoperíodo artificial de días largos a partir del parto, ninguna hembra mostró ovulación en los dos primeros meses; en cambio, todas las ovejas mantenidas en un fotoperíodo de días cortos ovularon (Bocquier *et al.*, 1993). Resultados similares encontraron Abi Salloum y Claus (2005) en las ovejas Merino Alemanas, en las cuales se observó que después del destete el porcentaje de hembras cíclicas fue mayor en las ovejas mantenidas en un fotoperíodo natural (días cortos; 75%) que en las que recibieron días largos artificiales a partir de la segunda semana postparto (20 horas de luz/día; 51%).

También se ha demostrado que en las ovejas de origen tropical el fotoperíodo puede afectar la duración del período de anestro postparto. En efecto, Cerna *et al.* (2004), observaron que el intervalo del parto a la primera ovulación en ovejas Pelibuey fue modificado al ser expuestas a diferentes fotoperíodos. Así, las ovejas expuestas a un fotoperíodo decreciente (similar al que se presenta en otoño) tuvieron un periodo de anovulación más corto (73 días) que las ovejas mantenidas bajo un fotoperíodo natural largo (19° Norte; 104 días).

En las cabras locales de la Comarca Lagunera no lactantes, ni gestantes y expuestas a alternancias de tres meses de días largos (14 h de luz/día) y tres meses de días cortos (10 h luz/ día), las ovulaciones iniciaron de manera consistente

durante los días cortos y finalizaron durante los días largos (Delgadillo-Sánchez *et al.*, 2003). Sin embargo hasta hoy no existe un estudio en cabras que demuestre que el fotoperíodo artificial pueda modificar la duración del APP.

Con todos los antecedentes anteriores es claro que el fotoperíodo ejerce varios efectos en la fisiología postparto en las especies estudiadas hasta hoy. Sin embargo, en la cabra los efectos del fotoperíodo durante la lactancia han sido poco estudiados. Especialmente en las cabras subtropicales de nuestra localidad, cuya finalidad es la producción de leche y carne de cabrito, no existen datos en la literatura que investiguen los efectos del fotoperíodo sobre la fisiología postparto temprana. Asimismo, no se sabe si este factor medioambiental ejerza un efecto sobre el crecimiento de las crías. Por ello, los objetivos de la presente tesis son investigar si en las cabras subtropicales que paren en otoño (días cortos naturales) y amamantan a sus crías durante el primer mes postparto, la exposición a días largos artificiales influya sobre: 1) la producción de leche y el crecimiento de las crías y 2) prolongue la duración del APP.

## **OBJETIVOS**

1) Investigar si la aplicación de días largos artificiales a partir de la primera semana postparto en las cabras que paren a finales de octubre y que amamantan a sus crías durante el primer mes pueda aumentar la producción de leche.

2) Investigar si la aplicación de días largos artificiales a partir de la primera semana postparto en las cabras que paren a finales de octubre y que amamantan a sus crías durante el primer mes pueda influir sobre la duración del anestro postparto (APP).

## **HIPÓTESIS**

1) La percepción de días largos a partir de la primera semana postparto en cabras que paren a finales de octubre que amamantan a sus crías durante el primer mes provocará un incremento en el nivel de producción de leche.

2) La percepción de días largos a partir de la primera semana postparto en cabras que paren a finales de octubre que amamantan a sus crías durante el primer mes prolongará la duración del anestro postparto.

### III. ANEXO 1

**ARTÍCULO CIENTÍFICO ENVIADO A:**

*JOURNAL OF DAIRY SCIENCE*

**Preview****From:** jeremyh@assochoq.org**To:** horaciohernandezhernandez@yahoo.com.mx**Cc:****Subject:** Journal of Dairy Science JDS-07-0659 - Submission Form Needed**Body:** 31-Aug-2007

Dear Miss Horacio Hernandez:

Your manuscript entitled "Artificial Long Days Increase Milk Production after Weaning and Postpartum Anovulation Duration in Goats Giving Birth in Autumn under Subtropical Latitude" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Journal of Dairy Science.

Your manuscript ID is JDS-07-0659.


Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office with questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to Manuscript Central at <http://mc.manuscriptcentral.com/jds> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Corresponding Author Center after logging in to <http://mc.manuscriptcentral.com/jds>.

Please complete and return the attached mandatory copyright release form to the editorial office (FAX: 217-378-4083). If authors are at more than one institution, separate forms may be filed by each author. All author signatures are required.

Failure to return the form will delay the publication process if your paper is accepted for publication.

Sincerely,  
Journal of Dairy Science Editorial Office

**Date Sent:** 31-Aug-2007**File 1:** \* JDS-copyright07.pdf Close Window





**Artificial Long Days Increase Milk Production after Weaning and Postpartum Anovulation Duration in Goats Giving Birth in Autumn under Subtropical Latitude**

Journal:	<i>Journal of Dairy Science</i>
Manuscript ID:	JDS-07-0659
Article Type:	Research
Date Submitted by the Author:	31-Aug-2007
Complete List of Authors:	Mejía, Ángel; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Investigación en Reproducción Caprina Flores, José; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Investigación en Reproducción Caprina Véliz, Francisco; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Investigación en Reproducción Caprina Elizundia, José; Private address: Angel Camino 161, Col. Valle del Nazas, Gómez Palacio Poindron, Pascal; INRA, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements Delgadillo, José; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Investigación en Reproducción Caprina Hernandez, Horacio; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Centro de Investigación en Reproducción Caprina
Key Words:	Lactation, Photoperiod, Hand milking, Growth of the kids



## **Interpretative Summary**

**Artificial long days in autumn increase milk production and delay sexual activity in goats from subtropics.** *By Mejía et al., page 000.* Milk production during the first 2.5 months of lactation and duration of postpartum sexual inactivity were increased in goats kidding in late October and exposed to artificial long days (16 h light/8 h darkness) compared to goats exposed to the natural short days of this season. Milk production was increased after the weaning of the kids at one month, while fat and protein contents were decreased. Kids from the long-days treatment were also heavier at weaning. Overall, exposure to artificial long days during autumn in the subtropics promotes milk production in lactating goats.

**Running head:** ARTIFICIAL LONG DAYS INCREASE MILK PRODUCTION IN SUBTROPICS GOATS

**Artificial Long Days Increase Milk Production after Weaning and Postpartum Anovulation Duration in Goats Giving Birth in Autumn under Subtropical Latitude**

**Á. Mejía, \* J.A. Flores, \* F.G. Véliz, \* J.M. Elizundia, † P. Poindron, ‡ J.A. Delgadillo, \* and H. Hernandez \*<sup>1</sup>**

\* Centro de Investigación en Reproducción Caprina (CIRCA), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, 27054 Coahuila México

† Private address: Angel Camino 161, Col. Valle del Nazas, Gómez Palacio, 35070 Durango México

‡ INRA, UMR85 Physiologie de la Reproduction et des Comportements, F-37380 Nouzilly, France; CNRS, UMR6175, F-37380 Nouzilly, France; Université de Tours, F-37041 Tours, France; Haras Nationaux, F-37380 Nouzilly, France

1 Corresponding author: Tel. and Fax: + 52 8717297610; e-mail: [horaciohernandezhernandez@yahoo.com.mx](mailto:horaciohernandezhernandez@yahoo.com.mx)

## ABSTRACT

We investigated whether under subtropical latitudes (northern Mexico, 26°N) exposure of lactating goats to artificial long days in autumn (natural short days) could increase their milk production, the weight of the kids and affect postpartum sexual activity. Thirty-eight mixed breed goats kidding on October  $27 \pm 0.3$  days were allocated to one of two treatments, balanced for initial milk production, litter size and body condition. In one group, females were maintained under natural short days (control;  $n=19$ ), while in the other they were kept under artificial long days from day 7 postpartum up to day 75 of lactation (treated;  $n=19$ ). In all goats, weaning of the kids was performed at 30 days of lactation. Milk production was assessed in a 24-h period by differential body weight of the kids before and after suckling at 14, 22 and 29 days of lactation and by two hand milking 12-h apart after weaning of the kids on days 43, 50, 57, 64, and 71 of lactation. Postpartum ovulatory activity was determined by means of transrectal ultrasonography at 15, 30, 45, 60 and 75 days of lactation. During the first month of lactation, milk production did not differ significantly between the two groups. In contrast, in the five controls performed after weaning of the kids, milk production was higher in long days-treated goats than in control goats ( $P < 0.05$ ). Percentages of fat, protein and non-fat solids in milk were lower in the long-days treated group than in the controls. The bodyweight of kids at weaning and daily weight gain were higher in the treated group than in the controls. Before weaning of the kids, there was no significant difference in the cumulated percentage of goats that had ovulated. In contrast, the proportion of females showing ovulation after weaning of the kids was significantly higher in control than in treated goats from 45 days postpartum onwards ( $P < 0.001$ ). Therefore in the subtropics, submitting lactating goats to

artificial long days in autumn increases significantly their milk production and the growth rate of the kids, but also the period of postpartum anovulation.

**Key words:** Photoperiod, hand milking, growth of the kids, lactation

## INTRODUCTION

The annual variation of photoperiod is the most commonly environmental cue used by goats and sheep from temperate regions to adapt to environment changes and alter their physiological responses (Gwinner, 1986). One main consequence associated with changes in the photoperiod is the modulation of seasonal reproduction. Others physiological processes affected by changes in photoperiod include body growth, pelage changes, body composition and lactation (Gebbie et al., 1999; Dahl et al., 2000). This effect of the photoperiod on lactation can be observed even in dairy cattle, which do not display a seasonal reproduction. Thus, after 4 weeks of exposure to long days (18 h light/day), cows produce 10% more milk than cows under natural short days (Dahl et al., 2000). In pregnant Israeli Saanen goats, a recent study showed that exposure to 45 artificial short days before parturition, followed by natural long days increased milk production, during the next 3 months of lactation (Mabjeesh et al., 2007). Also, Sarda ewes maintained under artificial long days produce 25% more milk with a lower fat and protein content than ewes maintained under artificial short days (Bocquier et al., 1997). However, whether this applies in regions closer to the tropics has not been investigated.

Female goats from subtropical latitudes like in Mexico (26° N), display large seasonal variations of their sexual activity (Duarte, 2000; Rivera et al., 2003). This seasonality is under photoperiod control, and short days stimulate sexual activity, while long days inhibit it (Delgadillo et al., 2004; Duarte, 2000), thus resulting in parturitions that occur during the shortest days of the year (November to February). In such subtropical regions, goats are used

generally to produce milk and meat from kids, which are weaned and sold at about 30 days of age. Then, does are milked manually and milk production is the main source of income for the producers around the year (Hoyos et al., 1991). As these goats are sensitive to variations of the photoperiod for the control of sexual seasonality, it is possible that this parameter also influences lactation, as reported in ewes from temperate latitudes. However, whether submitting subtropical female goats to artificial long days may influence milk production remains unknown, especially when mothers nurse their kids during the first month of lactation. Therefore, the objectives of the present study were to test if, under subtropical latitude, exposure to artificial long days during early lactation increased the milk production of goats that gave birth in autumn. Our hypothesis was that exposure to long days would lead to an increase of milk production, since these goats are sensitive to natural variations of the photoperiod. Furthermore, given that in ewes, exposure to long days prolongs postpartum anestrus, we hypothesized that this photoperiodic treatment would have a similar effect in goats.

## **MATERIAL AND METHODS**

The procedures used in this experiment were in accordance with the Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching (FASS, 1999).

### ***Location***

The study was conducted in the northern sub tropical part of México, in the Comarca Lagunera region of Torreon, (State of Coahuila; latitude: 26 ° N; 1,100 m above sea level;

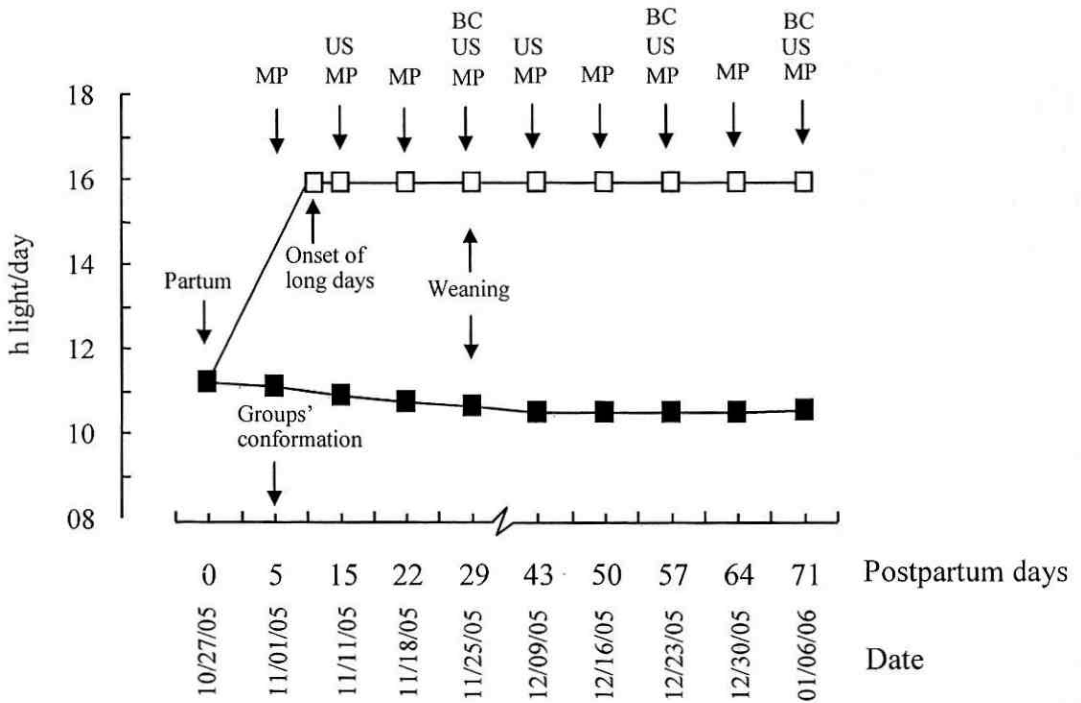
average maximum and minimum temperatures recorded during the study: 24.6°C and 6.0°C). In this region, photoperiodic variations range from 10h 19min of light at the winter solstice to 13h 41min at the summer solstice.

### ***Animals, Management Conditions and Experimental Design***

Thirty-eight mixed breed local primiparous goats from a larger commercial flock of 300 animals were synchronized during the last week of May, using intravaginal sponges followed by introduction of a buck at sponge withdrawal. The mean ( $\pm$  SEM) date of parturition for all goats was October 27th  $\pm$  0.3 days. In all females, at  $5 \pm 1.0$  days postpartum one measurement of milk production was made by emptying of the udder, followed by two controlled suckling at 12-h intervals (Ricoardeau et al., 1960; see also Table 1 and further below for details of procedure). With this data and taking into account litter size, date of parturition and body condition score at parturition, two experimental groups were formed. Each group was allocated to an open pen (10 X 6 m each) provided with shade. Pens were separated by a distance of 50 m, with an opaque material curtain between them to avoid perception of the light at night by control females. Goats from the control group (n=19) were exposed to natural photoperiod variations during the whole study (natural short days; view Fig. 1). In the treated group (n=19), goats were under artificial long days from day 7 postpartum until the end of the study. To this end, the pen was equipped with daylight type electrical bulbs which emitted a minimum luminous intensity of 400 lx at the level of the animal's eyes. The long days were provided using natural light during the natural daylight phase and artificial light during the dark phase. Thus, lights were turned on and off automatically with programmable clocks (Interamic, Timerold, USA). Dawn (lights switched



on) was programmed at 06:00 h and the lights were switched off automatically after dawn when there was sufficient natural light (at 09:00 h). In the afternoon, the lights were switched on automatically at 17:00 h, that is always before dusk and they were turned off at 22:00 h.



**Figure 1.** Experimental design showing the timing of the various procedures during the study, together with the daily photoperiod length perceived by goats from control (n= 19; —■—) and treated (n= 19; -□-) groups. In the top part of the figure, black arrows indicate the periods when the different measurements were made. BC= measurement of goat's body condition score; US= realization of transrectal ultrasonography; MP= estimation of the milk production over a 24h-period.

In the control group, 10 mothers reared one kid and 9 had twins; in the treated group 11 mothers reared one kid and 8 reared twins. In both groups, the weaning of the kids was performed at 30 days postpartum. After weaning, all mothers were hand-milked once daily in

the morning until the end of the study. All animals were fed alfalfa hay and commercial concentrate (Generaleche, with 18% crude protein, Purina). Rations were the same in quality and quantity in both groups, and were adjusted according to the phase of lactation of the goats (NRC, 1981). Also, animals had *ad libitum* access to water and mineral blocks during lactation. During the whole study, females remained isolated from any olfactory, acoustic, visual or direct tactile contact from any male goat.

### ***Measured Variables***

#### ***Milk Production in a 24h-period Before and After the Weaning of the Kids***

Before the weaning of the kids, milk production was assessed at 5, 14, 22 and 29 days of lactation, by the method of differential body weight of the kids before and after suckling, over a period of 24h (Ricordeau et al., 1960). The day before initiating the measurements, a first emptying of the udder was performed at 18:00 h by hand milking, followed by two controlled suckling of 4 min each on the following day at 0600 and 1800 h (Table 1). Moreover, after each controlled suckling, 2UI of exogenous oxytocin was injected into the jugular vein, followed by hand-milking to extract any residual milk. The weight of this residual milk was added to that of the corresponding differences in kid's bodyweight measurements.

After weaning of the kids, milk production was assessed at 43, 50, 57, 64, and 71 days of lactation. The details of the procedure are shown in Table 1. A first emptying of the udder was performed at 18:00 h, followed by the two hand-milking at 12-h intervals. Also, after each hand-milking, 2UI of exogenous oxytocin was injected into the jugular vein, to extract any

residual milk. The weight of this residual milk was added to that of the corresponding hand milking.

**Table 1.** Methods used to estimation of goat's milk production in a 24h-period in the two experimental groups, depending of the different stages of lactation before or after the weaning of the kids.

	Hour of the day		
	1800h (emptying)	0600h (1 <sup>st</sup> measurement)	1800h (2 <sup>nd</sup> measurement)
Before weaning of the kids at 5, 14, 22 and 29 days of lactation	Suckling and separation of the kids + hand milking + 2UI OT + hand milking	Suckling and weighing + hand milking and milk weighing + 2UI OT+ hand milking and milk weighing	Suckling and weighing + hand milking and milk weighing + 2UI OT+ hand milking and milk weighing
After weaning of the kids at 43, 50, 57, 64 and 71 days of lactation	Hand milking + 2UI OT + hand milking	Hand milking and milk weighing + 2UI OT + hand milking and milk weighing	Hand milking and milk weighing + 2UI OT + hand milking and milk weighing

2UI OT= intravenous injection of 2UI of exogenous oxytocin

### ***Milk Components***

Due to practical reasons related with the normal management of the flock, it was not possible to take milk samples from the dams before the weaning of the kids. However, at weaning on day 30 and at 43, 50, 57, 64, and 71 day postpartum, a sample of milk (10 ml from each udder half) was collected in plastic sterile vials in twelve control and thirteen treated goats. Samples were immediately kept on ice cubes and transported to the laboratory. Milk composition was determined by infrared procedure using a Milkoscan 6000 (Foss Electric, Hillerød, Denmark).

### ***Kid's Body Weight***

The kids from both groups were weighed at birth and thereafter weekly up to weaning, at 30 days. Daily growth rates were also calculated.

### ***Postpartum Ovulatory Activity***

In all goats, the ovulatory activity was determined at 15, 30, 45, 60, and 75 days postpartum through a transrectal ultrasonography using a real time, B mode and rigid 7.5 Mhz lineal-array transducer. The procedure to carry out the ultrasonography was previously described in this species by Ginther and Kot (1994), but without feces evacuation. A goat was considered to have ovulated when at least one corpus luteum was clearly observed on one of the two ovaries. Later, the cumulative percentage of goats showing ovulation was calculated and plotted in the laboratory.

### ***Body Condition Score***

In all females, body condition was measured 30 days before the expected mean date of parturition, at parturition, and at 30, 60, and 75 days of lactation. To take this measurement, we used the method previously described in this specie by Walkden-Brown *et al.* (1997), using a scale from 1 to 4 points. All measurements were performed by the same trained person.

### ***Statistical Analyses***

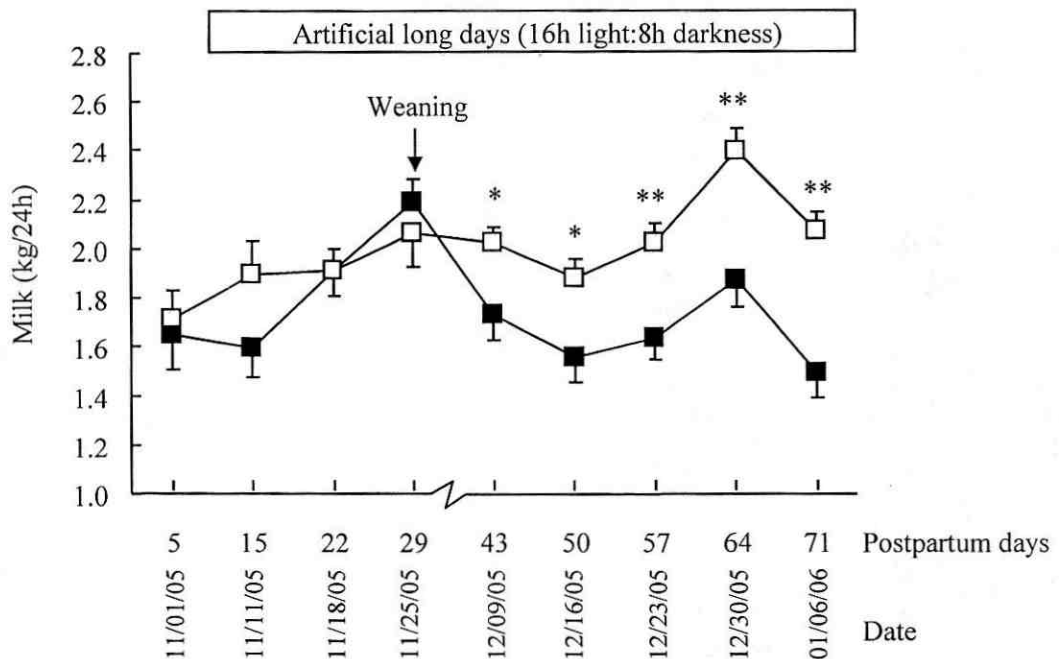
Milk production was analyzed through two-way ANOVA with repeated measures (treatment as between-factor and stage of lactation as within-factor; Systat 10, Statistical Packages for the Social Sciences, 2000). Changes in live weight of kids were analyzed by two-way ANOVA with repeated measures. Cumulative percentages of goats showing ovulation in the two

groups, as assessed by transrectal ultrasonography (i.e. the corpus luteum visualization), were compared with a Kolmogorov-Smirnov test and individual proportions by the Fisher exact probability test. Due to non normality of data for body condition score, this variable was analyzed with the U Mann-Whitney test. Results are expressed as mean  $\pm$  standard error.

## RESULTS

### *Milk Production in a 24h-period before and After the Weaning of the Kids*

The milk production over a 24h-period in the goats from the two groups at different stages of lactation is showed in Figure 2. The MANOVA revealed a significant effect of treatment ( $P < 0.001$ ), a significant effect of time ( $P < 0.01$ ) as well as an interaction between treatment and time ( $P < 0.001$ ). Milk production in control goats decreased significantly after weaning of kids (Paired  $t$  tests,  $P < 0.001$ ), whereas it did not in long-days treated goats ( $P > 0.05$ ). Thus, during the first month of lactation, that is when kids remained with their mothers, milk production levels did not differ significantly between the two groups ( $P > 0.05$ ). In contrast, after weaning of the kids and until the end of the study (71 day postpartum), milk production in a 24h-period was higher in long days-treated goats than in control goats at all stages of lactation ( $P \leq 0.05$ ; in each period).



**Figure 2.** Milk production (mean  $\pm$  SEM) over a 24h-period at various times during the first 71 days of lactation in goats maintained under natural short days (Control group; n= 19;  $\blacksquare$ ) or exposed to artificial long days (Treated group; n= 19;  $\square$ ). The arrow denotes the time when weaning was performed. \*, \*\* = Significant difference ( $P < 0.05$  and  $P < 0.001$ , respectively) between control and treated groups (independent *t* test).

### ***Milk Components***

Protein content in milk was significantly higher in control than in treated goats during the whole study ( $P \leq 0.05$ ; Table 2). Fat content was higher in control goats than in treated ones from day 50 of lactation onwards. The same tendency was found for non-fat solids, which were significantly higher in controls than in treated goats from day 43 of lactation onwards ( $P \leq 0.05$ ; Table 2).

**Table 2.** Effects of exposing lactating goats from subtropical Mexico that gave birth during autumn to artificial long days on milk composition (mean  $\pm$  SEM).

Milk component, %		Lactation stage						Time effect P
		29	43	50	57	64	71	
Fat	Control	3.2 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.2	2.3 $\pm$ 0.2	1.9 $\pm$ 0.1	3.0 $\pm$ 0.2	0.0001
	P	n.s.	n.s.	*	n.s.	**	**	
Protein	Treated	2.9 $\pm$ 0.2	1.8 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.1	2.7 $\pm$ 0.5	1.5 $\pm$ 0.1	2.4 $\pm$ 0.1	0.0001
	Control	3.1 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.1	3.6 $\pm$ 0.1	3.7 $\pm$ 0.1	2.9 $\pm$ 0.1	0.0001
P	*	*	**	**	**	**		
Non-fat solids	Treated	2.9 $\pm$ 0.5	3.1 $\pm$ 0.1	3.2 $\pm$ 0.1	3.1 $\pm$ 0.1	3.1 $\pm$ 0.1	3.5 $\pm$ 0.1	0.0001
	Control	8.0 $\pm$ 0.1	8.6 $\pm$ 0.1	8.7 $\pm$ 0.1	8.7 $\pm$ 0.1	8.8 $\pm$ 0.1	8.8 $\pm$ 0.1	0.0001
P	n.s.	*	**	**	**	**		
	Treated	7.8 $\pm$ 0.1	8.2 $\pm$ 0.1	8.3 $\pm$ 0.1	8.0 $\pm$ 0.1	8.0 $\pm$ 0.1	8.0 $\pm$ 0.1	0.0001

P = Probability; Control, n = 12; Treated, n = 13

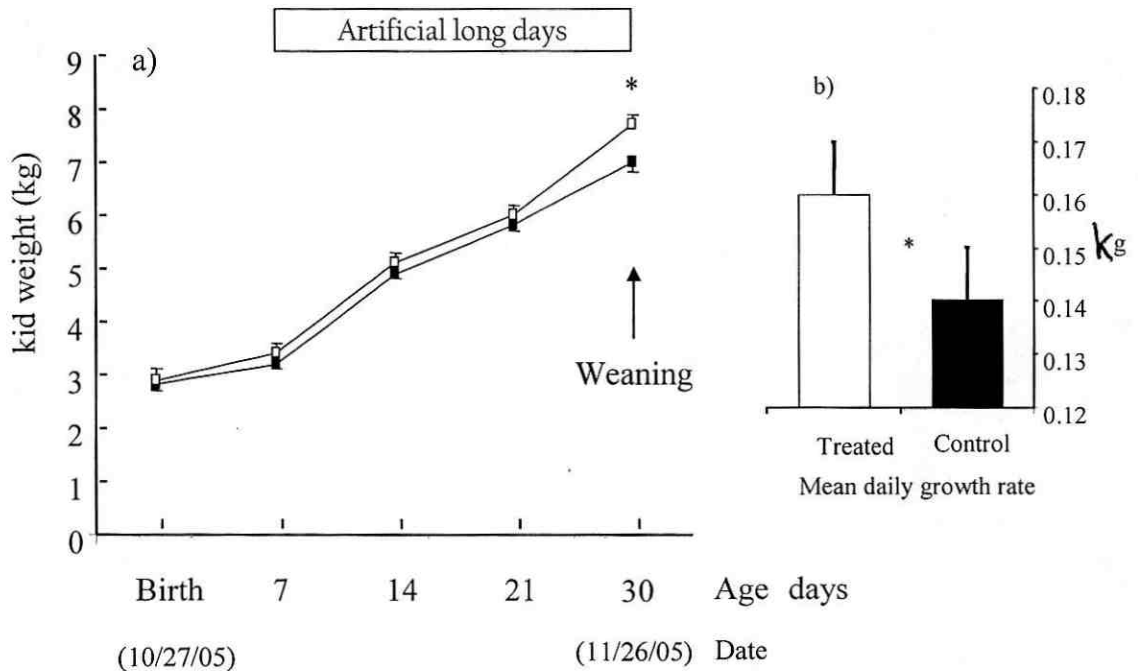
n.s. = Non significant difference between control and treated group (P > 0.05)

\* = Significant difference between control and treated group (P < 0.05)

\*\* = Significant difference between control and treated group (P < 0.01)

### ***Weaning Weights and Daily Growth Rate of the Kids***

Birth weight of the kids did not differ significantly between groups (P > 0.05; Figure 3). However, ANOVA revealed a significant effect of time (P < 0.001), as well as an interaction between group and time (P < 0.01) on kid weights during the study and weaning weights in the treated group were higher than in the control group (*t* test, P < 0.05). Finally, daily weight gains were higher in the kids from the treated group than in the kids from the control group (P < 0.05; Figure 3).



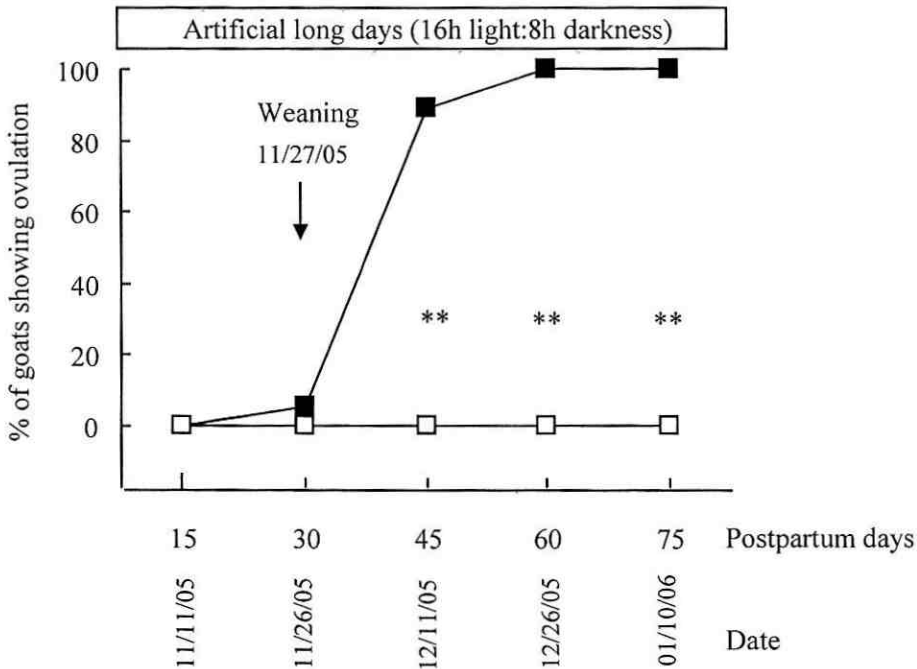
**Figure 3.** Mean ( $\pm$  SEM) changes of kid's body weight (a) during their first month of life in controls (under natural short days;  $\blacksquare$ ;  $n=28$ ) and treated (exposed to artificial long days;  $\square$ ;  $n=27$ ) group of goats. ANOVA revealed a significant effect of time as well as an interaction time  $\times$  group ( $P<0.001$ , and  $P<0.01$ , respectively) on the increase of kid body weight. In (b) is showed the daily growth rate in both groups, which was higher ( $P<0.05$ ) in the treated (white bar) than in the control group (black bar).

### *Postpartum Ovulatory Activity*

The cumulated proportion of female goats showing ovulation over the first 75 days of the study differed significantly between the two groups ( $P < 0.001$ ; Kolmogorov Smirnov test). However, before weaning, there was no significant difference in the proportion of goats showing ovulation between goats from control and treated groups (day 15: 0/19 in both



groups, day 30: 1/19 vs 0/19;;  $P > 0.05$ ; Fisher exact test). In contrast, the cumulated proportion of females showing ovulation fifteen days after weaning of the kids, and until the last transrectal ultrasonography (75 day postpartum) differed significantly between the groups (Fig. 4;  $P < 0.001$  in each period; Fisher exact test).



**Figure 4.** Cumulative percentage of females showing ovulation during the first 75 days postpartum in goats maintained under natural short days (Control group;  $n = 19$ ;  $\blacksquare$ ) or exposed to artificial long days (Treated group;  $n = 19$ ;  $\square$ ). The arrow denotes the time when weaning was performed \*\* = Significant difference between control and treated goats:  $P < 0.01$ , Kolmogorov-Smirnov test.

### ***Body Condition Score***

While body condition score varied significantly over time ( $P < 0.001$ ; Friedman test), there were no significant differences between the body conditions recorded in experimental and control goats at any period (-30 day prepartum and at 30, 60, and 75 days postpartum;  $P > 0.05$ ; Mann-Whitney test).

## **DISCUSSION**

Our results give clear evidence that lactating goats from subtropical regions are sensitive to manipulations of natural photoperiod. Thus, this is the first study showing that exposure of nursing goats to artificial long days during autumn in the subtropics exerts a dual effect on postpartum goat's physiology. On the one hand, this treatment increases milk production after weaning of the kids, and on the other hand, it prolongs the postpartum anovulation period.

### ***Milk Production***

In our study, milk production level was not different between control and treated group when kids stayed with their mothers. It is in agreement with recent results in ewes reported by Molik et al. (2007) and those previously found by Rhind et al. (1991). These authors reported that during the first 28 days of lactation, that is when lambs remained together with their mothers, milk production did not differ between ewes lambing in January (onset of long days) and those lambing in June (onset of short days). However, in our study, milk production started to differ fifteen days after the weaning of the kids, when milk production decreased in control goats, but not in treated ones. Thereafter, up to the end of the study, milk production

remained significantly higher in long days-treated goats than in controls and a decrease in milk production after the weaning of the kids did not occur in goats exposed to long days. Therefore, the continuous perception of artificial long days appears to have stimulated milk production leading to an absence of decrease in milk production in this group. Such an effect of long days on milk production has been reported in other ruminants as cattle (Dahl et al., 2000) and sheep (Bocquier et al., 1997).

Although the precise mechanism by which long days stimulates milk production in ruminants is not totally understood, it has been suggested that they may act through the insulin-like growth factor (IGF-I) (Dahl et al., 2000), since long days also increase this factor in ruminants such as heifers and reindeer (Suttie et al., 1991; Spicer et al., 1994). This would be consistent with the fact that there is evidence that IGF-I have a direct galactopoietic action at the mammary gland level in the goat (Prosser et al., 1990). From other studies it had been suggested that prolactin (PRL) is another likely hormonal candidate to be involved in the increase in milk production induced by artificial long days (Auldism et al., 2007). Nevertheless, it has been reported in goats that PRL is not as important for the maintenance of milk production during established lactation (Cowie et al., 1964). Finally, it cannot be ruled out that the lower milk production found in control goats could be related to their earlier recovery of reproductive activity. However, this appears rather unlikely, as the presence of corpora lutea is more likely to stimulate milk production than to inhibit it (McKusick et al., 2002). In contrast, in the present study milk production was lower in control goats (which had at least one corpus luteum) than in non cyclic goats exposed to long days. Therefore the higher milk production in the light treated group is more likely to be due to the direct result of exposure to long days rather than to an indirect effect of photoperiod on the inhibition of ovarian activity.

### *Milk Composition and Weight of the Kids*

The decreases in content of fat percentage, protein and non-fat solids found in milk produced by long days-treated-goats are in agreement with the well known inverse relationship between quantity and quality of milk. Our results coincide with those obtained in Sarda ewes, in which long days resulted in a reduction of these contents and an increase of milk production (Bocquier et al., 1997). Our findings on milk components are congruent also with the reduced fat, protein and non-fat solids content reported during the maximal summer milk yield reported in cows (Aharoni et al., 1999). This is also in agreement with the opposite action of melatonin reported by Auld et al. (2007), who found that melatonin administration in dairy cows during summer, which mimics the presence of short days, reduced milk production and increased significantly fat and protein contents.

The higher weaning weight and daily growth rate in the kids from the treated group are probably related to two things: first, is possible that artificial long days exert an indirect effect by providing more time for the kids to display their suckling activity, which is presumably more intense during the light phase. For example, pigs exposed to 16 h light nursed more often than pigs exposed to 8 h of light daily, which resulted in a heavier weights at weaning (Mabry et al., 1983). Secondly, it is also possible that exposure to artificial long days could directly increase the growth of the kids, as it was reported in lambs by Schanbacher and Crouse (1980). Thus, they found that starting on the eighth week of the lamb's life, exposure to a 16 h light: 8 h darkness regimen during twelve weeks led to a significant increase in average daily gain of the lambs, compared with that of lambs under a 8 h light:16 h darkness regimen. Probably the effect of photoperiod on growth is mediated by an increase in hormones with

growth-promoting activity such as growth hormone, insulin and thyroxin. Nonetheless, more studies are necessary to confirm this hypothesis in kids.

### *Postpartum Ovulatory Activity*

Our findings indicate that the inhibition of postpartum ovulation by long days reported in lactating ewes submitted to a ram effect (Bocquier et al., 1993; Abi Salloum and Claus, 2005) also applies in lactating goats. This is likely to be due to the fact that females perceived the natural decreasing photoperiod before to be suddenly exposed to artificial long days. Effectively, in this same subtropical context, in goats subjected to alternations between three months of long days (14 h light/day) and three months of short days (10 h light/day), the ovulatory activity invariably starts during short days and ends during long days (Delgadillo et al., 2004). Taken together, these results may explain in part the different natural durations of postpartum anoestrus obtained in goats kidding during different seasons in our locality (Delgadillo et al., 1998). Thus, when females gave birth in October (natural short days of the breeding season) and the weaning of the kids was performed at 30 days of lactation, as in our study, postpartum anestrus lasted 50 days. On the contrary, a longer duration of postpartum anoestrus (100 days) was found in goats that gave birth in May (during natural long days of seasonal anestrus). Finally, this duration was yet increased further (200 days) for goats giving birth in January, when natural photoperiod was increasing. The effect of the season on the length of postpartum anestrus is a phenomenon well documented in ewes (Mauléon and Dauzier, 1965) and our results and those of Delgadillo et al. (1998) indicate that the same occurs in goats in the subtropics. This inhibitory effect of long days on recovery of reproductive activity in our study cannot be attributed to some influence of photoperiod on body condition, since the scores for this variable were not affected by the treatment. Therefore

it is most likely that this inhibition depends on the melatonin-mediated effects of photoperiod on reproduction, which are well documented in seasonal ruminants (Malpaux, 2006).

## **CONCLUSIONS**

Exposure to long days in goats kidding in autumn under subtropical latitudes, results in advantages for the goat breeders who require that lactating goats do not become pregnant in order to maintain milk production for at least 6 months. Further studies are still warranted to investigate what would happen with milk production if exposure to long days continues for more time, since maintaining this photoperiod would allow a high milk harvest during the whole lactation. Also, it must be kept in mind that the present results were obtained under good and controlled nutritional condition; further studies are warranted to investigate whether this treatment can be applied also to goats under natural grazing conditions where the animals are under fluctuations in quality and quantity of available pasture.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

The authors wish to thank Jesús Enrique Medina Cervantes, goat breeder for facilitating the experimental animals and Mr. Fernando J.A. Medrano (Intervet, Torreón, México), who provided vaginal sponges for estrus synchronization. We also thank Mr. Armando López for the milking and taking care of the animals and Dolores López for her invaluable secretarial support. Authors express their appreciation to all members of the CIRCA for their help in the data collection. A. Mejía was supported by a Masters' CONACyT scholarship for Science studies.

## REFERENCES

- Abi Salloum, B., and R. Claus. 2005. Interaction between lactation, photoperiodism and male effect in German Merino ewes. *Theriogenology*. 63: 2181-2193.
- Aharoni, Y., A. Brosh, and E. Ezra. 1999. Effects of heat load and photoperiod on milk yield and composition in three dairy herds in Israel. *Anim. Sci.* 69: 37-47.
- Auldrist, M.J., S.A. Turner, C.D. McMahon, and C.G. Prosser. 2007. Effects of melatonin on the yield and composition of milk from grazing dairy cows in New Zealand. *J. Dairy Res.* 74: 52-57.
- Bocquier, F., G. Kann, and J. Thimonier. 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.
- Bocquier, F., S. Ligios, G. Molle, and S. Casu. 1997. Effet de la photopériode sur la production, la composition du lait et sur les consommations volontaires chez la brebis laitière. *Ann. Zootech.* 46: 427-438.
- Cowie, A.T., G.S. Knaggs, and J.S. Tindal. 1964. Complete restoration of lactation in the goat after hypophysectomy. *J. Endocrinology*. 28: 267-279.
- Dahl, G.E., B.A. Buchanan, and H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 83: 885-893.
- Delgadillo, J.A., G. Fitz-Rodríguez, G. Duarte, F.G. Véliz, E. Carrillo, J. Vielma, J.A. Flores, H. Hernández, and B. Malpoux. 2004. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod. Fertil. Dev.* 16: 471-478.

- Delgadillo, J.A., J.A. Flores, O. Villareal, M.J. Flores, G. Hoyos, P. Chemineau, and B. Malpoux. 1998. Length of postpartum anestrus in goats in subtropical Mexico: effect of season of parturition and duration of nursing. *Theriogenology*. 49: 1209-1218.
- Duarte, G. 2000. Estacionalidad reproductiva y efecto del fotoperíodo sobre la actividad ovulatoria de las hembras caprinas de la Comarca Lagunera. Tesis doctorado. México DF. México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM.
- FASS. 1999. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching. Fed. Anim. Sci. Soc., Savoy, IL.
- Gebbie, F.E., I.A. Forsyth, and J. Arendt. 1999. Effects of maintaining solstice light and temperature on reproductive activity, coat growth, plasma prolactin and melatonin in goats. *J. Reprod. Fertil.* 116: 25-33.
- Ginther, O.J., and K. Kot. 1994. Follicular dynamics during the ovulatory season in goats. *Theriogenology*. 42: 987-1001.
- Gwinner, E. 1986. Circannual Rythms: Endogenous annual clocks in the organization of seasonal process. Springer Verlag. New York.
- Hoyos, G., P. Sáenz, and G. Salinas. 1991. Desarrollo de módulos caprinos en la Región Lagunera. In: Evaluación de módulos caprinos en la Comarca Lagunera, INIFAD-CIID. Matamoros Coah. México. pp. 1-11.
- Mabjeesh, S.J., O. Gal-Galber, and A. Shamay. 2007. Effect of photoperiod the third trimester of gestation on milk production and circulating hormones in dairy goats *J. Dairy Sci.* 90: 699-705.
- Mabry, J.W., M.T. Coffey, and R.W. Seerley. 1983. A composition of an 8 versus 16 hour photoperiod during lactation on suckling frequency of the baby pig and maternal performance of the sow. *J. Anim. Sci.* 57: 292-295.



- Malpaux, B. 2006. Seasonal regulation of reproduction in mammals. In: Knobil and Neill's. *Physiology of Reproduction*. 3<sup>rd</sup> edition. Neill J.D (Ed). Elsevier, Amsterdam. pp. 2231-2281.
- Mauléon, P., and L. Dauzier. 1965. Variations de durée de l'anoestrus de lactation chez les brebis de race Ile-de-France. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 5: 131-143.
- McKusick, B. C., M.C. Wiltbank, R. Sartoli, P.G. Marnet, and D.L. Thomas. 2002. Effect of presence or absence of corpora lutea on milk production in East Friesian dairy ewes. *J. Dairy Sci.* 85: 790-796.
- Molik, E., T. Misztal, K. Romanowicz, and E. Wierzchoś. 2007. Dependence of the lactation duration and efficiency on the season of lambing in the relation to the prolactin and melatonin secretion in ewes. *Livest. Sci.* 107: 220-226.
- NRC. 1981. Nutrient requirements of goats: Angora, Dairy, and Meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press. Washington, DC.
- Prosser, C.G., I.R. Fleet, A.N. Corps, E.R. Froesch, and R.B. Heap. 1990. Increase in milk secretion and mammary blood flow by intra-arterial infusion of insulin-like growth factor-1 into the mammary gland of the goat. *J. Endocrinology.* 126: 437-443.
- Rhind, S.M., J. Bass, J.M. Doney, and E.A. Hunter. 1991. Effect of litter size on milk production, blood metabolite profiles and endocrine status of ewes lambing in January and April. *Anim. Prod.* 53: 71-80.
- Ricordeau, G., I.R. Fleet, and R. Denamur. 1960. Mesure de la production laitière des brebis pendant la période d'allaitement. *Ann. Zootech.* 9: 97-120.
- Rivera, G.M., G.A. Alanis, M.A. Chaves, S.B. Ferrero, and H.H. Morello. 2003. Seasonality of estrus and ovulation in Creole goats of Argentina. *Small Rumin. Res.* 48: 109-117.

- Schanbacher, B.D., J.D. Crouse. 1980. Growth and performance of growing finishing lambs exposed to long or short photoperiods. *J. Anim. Sci.* 51: 943-948.
- Spicer, L.J., B.A. Buchanan, L.T. Chapin, and H.A. Tucker. 1994. Effect of 4 months of exposure to various durations of light on serum insulin like growth factor-1 (IGF-I) in prepuberal Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 1): 178. (Abstr.).
- Suttie, J.M., R.G. White, B.H. Breier, and P.D. Gluckman. 1991. Photoperiod associated changes in insulin-like growth factor-1 in reindeer. *Endocrinology.* 129: 679-682.
- Walkden-Brown, S.W., B.J. Restall, R.J. Scaramuzzi, G.B. Martin, and M.A. Blackberry. 1997. Seasonality in male Australian cashmere goats: long term effects of castration and testosterone or oestradiol treatment on changes in LH, FSH and prolactin concentrations, and body growth. *Small Rumin. Res.* 26: 239-252.

#### IV. LITERATURA CITADA

- Abecia JA, Forcada F, Zarazaga L, Lozano JM. 1993. Effect of plane of protein after weaning on resumption of reproductive activity in Rasa Aragonesa ewes lambing in late spring. *Theriogenology*. 39: 463-473.
- Abi Salloum B, Claus R. 2005. Interaction between lactation, photoperiodism and male effect in German Merino ewes. *Theriogenology*. 63: 2181-2193.
- Aguilar JC, Villareal O, Hernández H, Poindron P, Chemineau P, Delgadillo JA. 1996. El comportamiento maternal de las cabras de la Comarca Lagunera que paren en octubre modifica el reinicio de la actividad sexual postparto. XI Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Chapingo, México. 42-47.
- Aharoni Y, Brosh A, Ezra E. 2000. Short communication: Prepartum photoperiod effect on milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83: 2779-2781.
- Andrioli A, Simplicio AA, Machado R. 1992. Influência da época da parição no comportamento reprodutivo pós-parto de cabras sem raza definida. *Pesq. Agrop. Bras.* 27: 65-72.
- Aono R, Shioji T, Shoda T, Kurachi K. 1977. The initiation of human lactation and prolactin response to suckling. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 44: 1101-1106.
- Auldism MJ, Turner SA, McMahon CD, Prosser CG. 2007. Effects of melatonin on the yield and composition of milk from grazing dairy cows in New Zealand. *J. Dairy Res.* 74: 52-57.

- Bauman DE, Vernon RG. 1993. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. *Ann. Rev. Nutr.* 13: 437-461.
- Barenton B, Pelletier J, Ortavant R. 1983. Demonstration of the influence of the photoperiod on the plasma concentration of the growth hormone in the ram. *CR Seances Acad. Sci.* 297: 327-330.
- Bar-Peled U, Maltz E, Bruckental I, Folman Y, Kali Y, Gacitua H, Lehrer AR, Knight CH, Robinzon B, Voet H, Tagari H. 1995. Relationship between frequent milking or suckling in early lactation and milk production of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2726-2736.
- Beck NFG, Tucker HA, Oxender WD. 1979. Mammary arterial and venous concentrations of prolactin in lactating cows after milking or administration of thyrotrophin-releasing hormone or ergocryptine. *Endocrinology.* 104: 111-117.
- Bilodeau PP, Petitclerc D, Pierre NST, Pelletier G, Laurent GJST. 1989. Effects of fotoperiod and pair-feeding on lactation of cows fed corn or barley grain in total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 72: 2999-3005.
- Bocquier F, Ligios S, Molle G, Casu S. 1997. Effet de la photopériode sur la production, la composition du lait et sur les consommations volontaires chez la brebis laitière. *Ann. Zootech.* 46: 427-438.
- 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.
- Brackel-Bodenhausen AV, Wuttke W, Holtz W. 1994. Effects of photoperiod and slow-release preparations of bromocryptine and melatonin on reproductive activity and prolactin secretion in female goats. *J. Anim. Sci.* 72: 955-962.

- Bruckmaier RM, Wellnitz O, Blum JW. 1997. Inhibition of milk ejection in cows by oxytocin receptor blockade,  $\alpha$ -adrenergic receptor stimulation and in unfamiliar surroundings. *J. Dairy Res.* 64: 15-25.
- Bruckmaier RM, Schams D, Blum JW. 1994. Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *J. Dairy Res.* 61: 323-334.
- Bruckmaier RM, Blum JW. 1996. Simultaneous recording of oxytocin release, milk ejection and milk flow during milking of dairy cows with and without prestimulation. *J. Dairy Res.* 63: 201-208.
- Bruckmaier RM, Blum JW. 1992. B-mode ultrasonography of mammary glands of cows, goats and sheep during alpha- and beta-adrenergic agonist and oxytocin administration. *J. Dairy Res.* 59: 151-159.
- Buchanan BA, Chapin LT, Tucker A. 1993. Effect of 12 weeks of daily melatonin on lactation and prolactin in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76 (Suppl. 1): 288 (Abstr).
- Buchanan BA, Chapin LT, Tucker A. 1992. Prolonged suppression of serum concentrations of melatonin in heifers. *J. Pineal Res.* 12: 181-189.
- Butler WR, Fullenkamp SM, Cappiello LA, Handwerger S. 1981. The relationship between breed and litter size in sheep and maternal serum concentrations of placental lactogen, estradiol and progesterone. *J. Anim. Sci.* 53: 1077-1081.
- Byatt JC, Warren WC, Eppard PJ, Staten NR, Krivi GC, Collier RJ. 1992. Ruminant placental lactogens: structure and biology. *J. Anim. Sci.* 70: 2911-2923.

- Byatt JC, Wallace CR, Bremel RD, Collier RJ, Bolt DJ. 1987. The concentration of bovine placental lactogen and the incidence of different forms in fetal cotyledons and in fetal serum. *Domest. Anim. Endocrinol.* 4: 231-241.
- Carruthers VR, Davis SR, Bryant AM, Henderson HV, Morris CA, Copeman PJA. 1993. Response of Jersey and Friesian cows to once a day milking and prediction of response based on udder characteristics and milk composition. *J. Res. Dairy Sci.* 60: 1-11.
- Cerna C, Porras A, Zarco L, Valencia J. 2004. Efecto del fotoperíodo sobre el reinicio de la actividad ovarica postparto en la oveja pelibuey. *Vet. Mex.* 35: 179-185.
- 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. *J. Reprod. Fertil.* 78: 497-504.
- Cohick WS. 1998. Role of the insulin-like growth factors and their binding proteins in lactation. *J. Dairy Sci.* 81: 1769-1777.
- Cowie AT, Forsyth IA, Hart IC. 1980. Lactation. In: *Hormonal control of lactation. Monographs on endocrinology.* (Ed). Natl. Inst. Res. Dairying. Univ. Reading Engl. 15: 146.
- Crowley WR, Armstrong WE. 1992. Neurochemical regulation of oxytocin secretion in lactation. *Endocr. Rev.* 13: 33-65.
- Clapp C, Martinez-Escalera G, Aguayo D, Mena F. 1987. Regulación integrativa de la lactancia. *Bol. Estud. Méd. Biol. México.* 35: 63-107.

- Da Costa THM, Williamson DH. 1994. Regulation of at mammary gland uptake of orally administered (1-14C) triolein by insulin and prolactin: evidence for bihormonal control of lipoprotein lipase activity. *Biochem. J.* 300: 257-262.
- Dahl GE, Buchanan BA, Tucker HA. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 83: 885-893.
- Dahl GE, Elsasser TH, Capuco AV, Erdman RA, Peters RR. 1997. Effects of long day photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-1. *J. Dairy Sci.* 80: 2748-2789.
- Dahl GE, Chapin LT, Allen MS, Moseley WM, Tucker HA. 1991. Comparison of somatotropin and growth hormone-releasing factor on milk yield, serum hormones, and energy status. *J. Dairy Sci.* 74: 3421-3428.
- Delgadillo JA, Fitz-Rodríguez G, Duarte G, Véliz FG, Carrillo E, Vielma J, Flores JA, Hernández H, Malpaux B. 2004a. Management of photoperiod to control caprine reproduction in the subtropics. *Reprod. Fertil. Dev.* 16: 471-478.
- Delgadillo JA, Cortéz ME, Duarte G, Chemineau P, Malpaux B. 2004b. Evidence that the photoperiod controls the annual changes in testosterone secretion, testicular and body weight in subtropical male goats. *Reprod. Nutr. Dev.* 44: 183-193.
- Delgadillo-Sánchez JA, Flores JA, Véliz FG, Duarte G, Vielma J, Poindron P, Malpaux B. 2003. Control de la reproducción de los caprinos del subtrópico mexicano utilizando tratamientos fotoperiódicos y efecto macho. *Vet. Mex.* 34: 69-79.

- Delgadillo JA, Flores JA, Villareal O, Flores MJ, Hoyos G, Chemineau P, Malpoux B. 1998. Length of postpartum anestrus in goats in subtropical Mexico: effect of season of parturition and duration of nursing. *Theriogenology*. 49: 1209-1218.
- Delgadillo JA, Poindron P, Krehbiel D, Duarte G, Rosales E. 1997. Nursing, suckling and postpartum anoestrus of creole goats kidding in January in subtropical Mexico. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55: 91-101.
- Delouis C, Richard P. 1993. Lactation. In: *Reproduction in mammals and man*. Thibault C, Levasseur MC, Hunter RHF. (Eds). Vol 1. Ellipses Press, Paris Francia. 504-530.
- Delouis C, Djiane J, Houdebine LM, Terqui M. 1980. Relation between hormones and mammary gland function. *J. Dairy Sci.* 63: 1492-1513.
- Del Vecchio RP, Randel RD, Neuendorff DA, Peterson LA. 1988. Effect of suckling manipulation on postpartum reproduction in primiparous Brahman-cross cows. *Theriogenology*. 32: 893-899.
- Dewulf M, Lahlo-Kassi A. 1986. Seasonal sexual activity and post-partum anoestrus in two Moroccan breeds of sheep: Beni-guil and Sardi. *Anim. Reprod. Sci.* 10: 99-104.
- Dun TG, Kaltenbach CC. 1980. Nutrition and the postpartum interval of the ewe, sow and cow. *J. Anim. Sci.* 51: 29-37.
- Evans NM, Hacker RR. 1989. Effect of chronobiological manipulation of lactation in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 72: 2921-2927.



- Flores MJ. 1996. El destete temprano de las crías no reduce la duración del anestro postparto en cabras criollas de la Comarca Lagunera que paren en mayo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. pp. 41.
- Forsyth IA. 1996. The insulin-like growth factor and epidermal growth factor families in mammary cell growth in ruminants: action and interaction with hormones. *J. Dairy Sci.* 79: 1085-1096.
- Forsyth IA. 1994. Comparative aspects of placental lactogens: structure and function. *Exp. Clín. Endocrinol.* 102: 244-251.
- Forsyth IA, Byatt JC, Iley S. 1985. Hormone concentrations, mammary development and milk yield in goats given long term bromocriptine treatment in pregnancy. *J. Endocrinology.* 104: 77-85.
- Freeman ME, Kanyicska B, Lerant A, Nagy G. 2000. Prolactin: structure, function and regulation of secretion. *Physiol. Rev.* 80: 1523-1631.
- Freitas VJF, Rondina D, Nogueira DM, Simplicio AA. 2004. Post-partum anoestrus in Anglo-Nubian and Saanen goats raised in semi-arid of North-eastern Brazil. *Livest. Prod. Sci.* 90: 219-226.
- Friesen HG. 1966. Lactation induced by human placental lactogen and cortisone acetate in rabbits. *Endocrinology.* 79: 212-215.
- Garcia-Hernandez R, Newton G, Horner S, Nuti LC. 2007. Effect of photoperiod on milk yield and quality, and reproduction in dairy goats. *Livest. Sci.* 110: 214-220.

- Gebbie FE, Forsyth IA, Arendt J. 1999. Effects of maintaining solstice light and temperature on reproductive activity, coat growth, plasma prolactin and melatonin in goats. *J. Reprod. Fertil.* 116: 25-33.
- Gluckman PD, Breier BH, Davis SR. 1987. Physiology of the somatotrophic axis with particular reference to the ruminant. *J. Dairy Sci.* 70: 442-466.
- Gonzalez-Stagnaro C. 1984. Comportamiento reproductivo de las razas locales de rumiantes en el trópico Americano. In: Chemineau P, Gauthier D, Thimonier J. (Eds), *Reproduction des Ruminants en Zone Tropicale*. June 8-10. Pointe à Pitre. Paris: Les Colloques de l'INRA. 1-83.
- Gratchev IT. 1964. Reflex regulation of lactation. Monografía. Leningrado University.
- Griinari JM, McGuire MA, Dwyer DA, Bauman DE, Barbano DM, House WA. 1997. The role of insulin in the regulation of milk protein synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 2361-2371.
- Grosvenor CE, Mena F. 1973. Evidence for a time delay between prolactin release and the resulting rise in milk secretion rate in the rat. *J. Endocrinol.* 58: 31-39.
- Grosvenor CE, Shah GV, Crowley WR. 1990. Role of neurogenic stimuli and milk prolactin in the regulation of prolactin secretion during lactation. In: Krasnegor NA, Bridges R. (Eds). *Mammalian Parenting: Biochemical, Neurobiological and Behavioral Determinant*. Oxford University Press. New York. 324-342.
- Gwinner E. 1986. *Circannual Rythms: Endogenous annual clocks in the organization of seasonal process*. Springer Verlag. New York.
- Hart IC. 1975. Seasonal factors affecting the release of prolactin in goats in response to milking. *J. Endocrinol.* 64: 313-322.

- Hart IC. 1973. Effect of 2-bromo- $\alpha$ -ergocryptine on milk yield and the level of prolactin and growth hormone in the blood of the goat at milking. *J. Endocrinol.* 57: 179-180.
- Hart IC, Linzell JL. 1977. An analysis of specific stimuli causing the release of prolactin and growth hormone at milking in the goat. *J. Endocrinol.* 72: 163-171.
- Hayden TJ, Thomas CR, Forsyth IA. 1979. Effect of number of young born (litter size) on milk yield of goats: role of placental lactogen. *J. Dairy Sci.* 62: 53-57.
- Hedlund LM, Lischko M, Rollag MD, Niswender GD. 1977. Melatonin: daily cycle in plasma and cerebrospinal fluid in calves. *Science.* 195: 686-687.
- Henderson AJ, Blatchford DR, Peaker M. 1983. The effects of milking thrice instead of twice daily on milk secretion in the goat. *Quart. J. Exp. Physiol.* 68: 645-652.
- Hernandez H, Delgadillo JA, Serafin N, Rodríguez AD, Poindron P. 2004. Prepartum peripherally-induced hyposmia does not reduce postpartum anoestrus duration in nursing goats. *Reprod. Nutr. Dev.* 44: 251-259.
- Hernandez H. 1996. La conducta maternal no afecta la duración del anestro postparto en las cabras criollas de Comarca Lagunera que paren en mayo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. México. pp. 81.
- Hoffman DP, Stevenson JS, Minton JE. 1996. Restricting calf presence without suckling compared with weaning prolongs postpartum anovulation in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 74:190-198.
- Houdebine LM, Djiane J, Dusanter-Fourt I, Martel P, Kelly PA, Devinoy E, Servely JL. 1985. Hormonal action controlling mammary activity. *J. Dairy Sci.* 68: 489-500.

- Houdebine LM, Teyssot B, Devino y E, Ollivier-Bousquet M, Djiane J, Kelly PA, Delouis C, Kann G, Févre J. 1983. Role of progesterone in the development and the activity of the mammary gland. In: Progesterone and progestins. Bardin CW, Milgrom E and Mauvais-Jarvis. (Eds). Raven Press. pp297.
- Hoyos GE, Saénz P, Salinas GH. 1991. Desarrollo de Módulos Caprinos en la Región Lagunera. En "Evaluación de Módulos Caprinos en la Comarca Lagunera". SARH-INIFAP. Matamoros Coahuila. México. 1-11.
- Hoyos G, Sáenz PE. 1991. La utilización de residuos agrícolas en la alimentación del ganado caprino en la comarca lagunera. En: Reporte del proyecto de sistemas de producción caprino en la Comarca Lagunera y Zacatecas. (Eds). Salinas G, Hoyos D, González E, Reveles LR. INIFAP. Zacatecas México. 8-17.
- Illnerova H, Sumova A, 1997. Photic entrainment of the mammalian rhythm in melatonin production. *J. Biol. Rhythms*. 12: 547-555.
- Jacquemet N, Prigge EC. 1991. Effect of increased postmilking prolactin concentrations on lactation, plasma metabolites, and pancreatic hormones in lactating goats. *J. Dairy Sci*. 74: 109-114.
- Johnston JD. 2004. Photoperiodic regulation of prolactin secretion: changes in intrapituitary signaling and lactotroph heterogeneity. *J. Endocrinol*. 180: 351-356.
- Josimovich JB, MacLaren JA. 1962. Presence in the human placenta and term serum of a highly lactogenic substance immunologically related pituitary growth hormones. *Endocrinology*. 71: 209-220.
- Kann G. 1997. Evidence for a mammogenic role of growth hormone in ewes: Effects of growth hormone-releasing factor during artificial induction of lactation. *J. Anim. Sci*. 75: 2541-2549.

- Karsch FJ, Malpoux B, Wayne NL, Robinson JE. 1988. Characteristics of the melatonin signal that provide the photoperiodic code for timing seasonal reproduction in the ewe. *Reprod. Nutr. Develop.* 28: 459-472.
- Knight CH, Peaker M, Wilde CJ. 1998. Local control of mammary development and function. *Rev. Reprod.* 3: 104-112.
- Koprowski JA, Tucker HA. 1973. Bovine serum growth hormone, corticoids and insulin during lactation. *Endocrinology.* 92: 645-651.
- Laflamme LF, Connor ML. 1992. Effect of postpartum nutrition and cow body condition at parturition on subsequent performance of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 843-851.
- Lamb GC, Lynch JM, Griger DM, Minton JE, Stevenson JS. 1997. Ad libitum suckling by unrelated calf in the presence or absence of a cow's own calf prolongs postpartum anovulation. *J. Anim. Sci.* 75: 2762-2769.
- Lassoued N, Naouali M, Khaldi G, 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.
- Linzell JL. 1973. Innate seasonal oscillations in the rate of milk secretion in goats. *J. Physiol.* 230: 225-233.
- Linzell JL, Peaker M. 1971. The effects of oxytocin and milk removal on milk secretion in the goat. *J. Physiol.* 216: 717-734.
- Linzer DLH. 1998. Placental lactogens. In: *Encyclopedia of reproduction*. Knobil E and Neill JD. (Eds). Academic Press. San Diego. CA. 3: 874-881.
- Lyons WR. 1958. Hormonal synergism in mammary gland growth. *Proc. Royal Soc. B.* 149: 303-325.

- Mabjeesh SJ, 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: 1-7.
- Maia MS. 1998. Efeito da condição corporal e anestro pós-parto sobre o restabelecimento da atividade ovariana de cabras Canindé. *Cienc. Vet. Trop.* 1: 94-98.
- Mallampati RS, Popi AL, Casida LE. 1971. Effect of suckling on postpartum anestrus in ewes lambing in different seasons of the year. *J. Anim. Sci.* 32 : 673-677.
- Mauleon P, Dautier L. 1965. Variations de durée de l'anoestrus des lactations chez les brebis de race Ile-de-France. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 5: 131-143.
- Maule Walker FM, Peaker M. 1980. Local production of prostaglandins in relation to mammary function at the onset of lactation in the goat. *J. Physiol.* 309: 65-79.
- Mbayahaga J, Mandiki SMN, Bister JL. 1998. Body weight, oestrus and ovarian activity in local burudian ewes and goats after parturition in the dry season. *Anim. Reprod. Sci.* 51: 289-300.
- McCowan B, DiLorenzo AM, Abichandani S, Borelli C, Cullor JS. 2002. Bioacoustic tools for enhancing animal management and productivity: effects of recorded calf vocalizations on milk production in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 77: 13-20.
- McDowell GH, Hart IC, Kriby AC. 1987. Local intra-arterial infusion of growth hormone into the mammary glands of sheep and goats: effects on milk yield and composition, plasma hormones and metabolites. *Aust. J. Biol. Sci.* 40: 181-189.

- Mepham TB. 1987. Physiology of lactation. University of Nottingham. Open University Press. Milton Keynes, Philadelphia. pp207.
- Miller ARE, Stanisiewski EP, Erdman RA, Douglass LW, Dahl GE. 1999. Effects of long daily photoperiod and bovine somatotropin (Trobest) on milk yield in cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1716-1722.
- Molik E, Misztal T, Romanowicz K, Wierzchoś E. 2007. Dependence of the lactation duration and efficiency on the season of lambing in relation to the prolactin and melatonin secretion in ewes. *Livest. Sci.* 107: 220-226.
- Montgomery GW, Scott IC, Hudson N. 1985. An interaction between season of calving and nutrition on the resumption of ovarian cycles in post-partum beef cattle. *J. Reprod. Fert.* 73: 45-50.
- Montiel F, Ahuja C. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Animal Reprod. Sci.* 85: 1-26.
- Morales-Terán G, Pro-Martinez A, Figueroa-Sandoval B, Sánchez del Real C, Gallegos Sánchez J. 2004. Amamantamiento continuo o restringido y su relación con la duración del anestro postparto en ovejas pelibuey. *Agrociencia.* 38: 165-171.
- Nagasawa H, Yanai R. 1976. Mammary nucleic acids and pituitary prolactin secretion during prolonged lactation in mice. *J. Endocrinol.* 70: 389-395.
- Peaker M. 1995. Autocrine control of milk secretion: development of the concept. In *Intercellular signaling in the mammary gland.* Wilde CJ, Peaker M, Knight CH. (Eds). Plenum Press, New York, NY. 193-202.

- Peel CJ, Robinson IB, McGowan AA. 1979. Effects of multiple suckling by dairy heifers for short periods before or after calving on subsequent milk yields. *Aust. J. Exp. Agric.* 19: 535-538.
- Peters RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA. 1981. Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cows to supplemental light. *J. Dairy Sci.* 64: 1671-1678.
- Peters RR, Tucker HA. 1978. Prolactin and Growth hormone responses to photoperiod in heifers. *Endocrinology.* 103: 229-234.
- Peters RR, Chapin LT, Leining KB, Tucker HA. 1978. Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. *Science.* 199: 911-912.
- Petitclerc DR, Peters RR, Chapin LT, Oxender WD, Refsal KR, Braun RK, Tucker HA. 1983. Effect of blinding and pinealectomy on photoperiod and seasonal variations in secretion of prolactin in cattle. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 174: 205-211.
- Phillips CJC, Schofield SA. 1989. The effect of supplementary light on the production and behavior of dairy cows. *Anim. Prod.* 48: 293-303.
- Plaut K, Bauman DE, Agergaard N, Akers RM. 1987. Effect of exogenous prolactin on lactational performance of dairy cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 4: 279-290.
- Pointron P, Delgadillo JA, Flores MJ, Hernandez H, Flores JA, Krehbiel. 1996. Suckling behaviour in Criolla goats kidding in winter or spring in northern Mexico and its relation with postpartum anoestrus. VI International conference on goats. Vol 2. Beijing, China. 818.



- Poole DA. 1982. The effects of milking cows three times daily. *Anim. Prod.* 34: 197-201.
- Prosser CG, Fleet IR, Corps AN, Froesch ER, Heap RB. 1990. Increase in milk secretion and mammary blood flow by intra-arterial infusion of insulin-like growth factor into the mammary gland of the goat. *J. Endocrinol.* 126: 437-443.
- Radeliff RP, VandeHaar MJ, Skidmore AI, Chapin LT, Radke BR, Lloyd JW, Stanisiewski EP, Tucker HA. 1997. Effects of diet and bovine somatotropin on heifer growth and mammary development. *J. Dairy Sci.* 80: 1996-2003.
- Randel RD. 1981. Effect of once-daily suckling on postpartum interval and cow-calf performance of first-calf Brahman x Hereford heifers. *J. Anim. Sci.* 53: 755-757.
- Ravault JP, Ortavant R. 1977. Light control of prolactin secretion in sheep. Evidence for a photoinducible phase during a diurnal rhythm. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 17: 459-473.
- Reksen O, Tverdal A, Landsverk K, Kommisrud E, Boe KE, Ropstad E. 1999. Effects of photointensity and photoperiod on milk yield and reproductive performance of Norwegian Red cattle. *J. Dairy Sci.* 82: 810-816.
- Rhind SM. 2004. Effects of maternal nutrition on fetal and neonatal reproductive development and function. *Anim. Reprod. Sci.* 83: 169-181.
- Richards MW, Spitzer JC, Warner MB. 1986. Effect of varying levels of postpartum nutrition and body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 62: 300-306.
- Rieter RJ. 1991. Pineal melatonin: cell biology of its synthesis and of its physiological interactions. *Endocrine Rev.* 12 : 151-180.

- Rieter RJ. 1980. The pineal and its hormones in the control of reproduction in mammals. *Endocrine Rev.* 1 : 109-131.
- Rodríguez-Castillo JC, García WM, Martínez AP, Gallegos-Sánchez J. 2001. Duración del anestro en ovejas del altiplano mexicano. *Arch. Latin. Prod. Anim.* 9: 86-90.
- SAGARPA. Delegación en la Región Lagunera, Subdelegación de Ganadería. 2006. El Siglo de Torreón. 1 Enero 2006. Coahuila, México.
- Sánchez-Barcelo EJ, Mediavilla MD, Zinn SA, Buchanan BA, Chapin LT, and Tucker HA. 1991. Melatonin suppression of mammary growth in heifers. *Biol. Reprod.* 44: 875-879.
- Selk GE, Wettemann, Lusby KS, Oltjen JW, Mobley SL, Rasby RJ, Garmendia JC. 1988. Relationship among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. *J. Anim. Sci.* 66: 3153-3159.
- Servely JL, N'Guema Emame M, Houdebine LM, Djiane J, Delouis C, Kelly PA. 1983. Comparative measurement of the lactogenic activity of ovine placental lactogen in rabbit and ewe mammary gland. *Gen. Comp. Endocrinol.* 51: 255-262.
- Shively TE, Williams GL. 1989. Patterns of tonic luteinizing hormone release and ovulation frequency in suckled anestrus beef cows following varying intervals of temporary weaning. *Dom. Anim. Endocrinol.* 6: 379-387.
- SIAP. 2004. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México.

- Silveira PA, Spoon RA, Ryan DP, Williams GL. 1993. Evidence for maternal behaviour as a requisite link in suckling-mediated anovulation in the cows. *Biol. Reprod.* 49: 1338-1346.
- Smith JD. 1998. Melatonin feeding that stimulates a short day photoperiod (SDPP) suppresses circulating insulin-like growth factor-I (IGF-I) in pre-prubertal heifers. M.S. Thesis, Univ. of Maryland, Collage Park.
- Smith ID. 1964. Reproduction in merino sheep in tropical Australia. *Aus. Vet. J.* 40: 199-201.
- Soares MJ, Talamantes F. 1985. Placental lactogen secretion in the mouse: in vitro responses and ovarian and hormonal influences. *J. Exp. Zool.* 234: 97-104.
- Sollof MS, Chakraborty J, Sadhukan P, Senitzer D, Wieder M, Fernstrom MJ. 1980. Purification and characterization of mammary myoepithelial and secretory cells from the lactating rat. *Endocrinology.* 106: 887-899.
- Spicer LJ, Buchanan BA, Chapin LT, Tucker HA. 1994. Effect of 4 months of exposure to various durations of light on serum insulin like growth factor-1 (IGF-I) in prepuberal Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 1): 178. (Abstr).
- Stanisiewski EP, Mellenberger RW, Anderson CR, and Tucker HA. 1985. Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 68: 1134-1140.
- Suttie JM, White RG, Breier BH, Gluckman PD. 1991. Photoperiod associated changes in insulin-like growth factor-I in reindeer. *Endocrinology.* 129: 679-682.
- Sweeney T, Kelly G, O'Callaghan D. 1999. Seasonal variation in long-day stimulation of prolactin secretion in ewes. *Biol. Reprod.* 60: 128-133.

- Takahashi JS, Zatz M. 1982. Regulation of circadian rhythmicity. *Science*. 217: 1104-1111.
- Teegene A, Entwistle KW, Mukasa-Mugerwa E. 1992. Effects of supplementary feeding and suckling intensity on postpartum reproductive performance of small east African zebu cows. *Theriogenology*. 38: 97-106.
- Tucker HA. 2000. Symposium: Hormonal regulation of milk synthesis. Hormones, Mammary growth, and Lactation: a 41-year perspective. *J. Dairy Sci.* 83: 874-884.
- Tucker HA. 1994. Lactation and its hormonal control. In: *The physiology of reproduction*. Knobil E, Neill JD. (eds). Vol 2. Raven Press, New York, NY. 1065-1098.
- Tucker HA, Petitclerc D, Zinn SA. 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake and hormone secretion. *J. Anim. Sci.* 59: 1610-1620.
- Turkington RW, Topper YJ. 1966. Stimulation of casein synthesis and histological development of mammary gland by human placental lactogen in vitro. *Endocrinology*. 79: 175-181.
- Wallace CR. 1993. Concentration of bovine placental lactogen in dairy and beef cows across gestation. *Domest. Anim. Endocrinol.* 10: 67-70.
- Wilde CJ, Addey CVP, Peaker M. 1996. Effects of immunization against an autocrine inhibitor of milk secretion in lactating goats. *J. Physiol.* 491: 465-469.
- Wilde CJ, Addey CVP, Boddy LM, Peaker M. 1995. Autocrine regulation of milk secretion by a protein in milk. *Biochem. J.* 305: 51-58.

- Wilde CJ, Blatchfor DR, Peaker M. 1989. Metabolic adaptations in goat mammary tissue during long-term incomplete milking. *J. Dairy Res.* 56: 7-15.
- Wilde CJ, Calvert DT, Daly A, Peaker M. 1987. The effect of goat milk fractions on synthesis of milk constituents by rabbit mammary explants and on milk yield *in vivo*. *Biochem. J.* 242: 285-288.
- Williams GL. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle. A review. *J. Anim. Sci.* 68: 831-852.
- Wiltbank JN, Rowden WW, Ingalls JE, Zimmerman DR. 1964. Influence of postpartum energy level on reproductive performance of Hereford cows restricted in energy intake before calving. *J. Anim. Sci.* 23: 1049-1053.
- Wright IA, Rhind SM, Whyte TK. 1992. A note on the effects of pattern of food intake and body condition on the duration of the post-partum anoestrus period and LH profiles in beef cows. *Brit. Soc. Anim. Prod.* 54: 143-146.
- Wright PJ, Geytenbeek PE, Clarke IJ. 1990. The influence of nutrient status of post-partum ewes on ovarian cyclicity and on the oestrous and ovulatory responses to ram introduction. *Anim. Reprod. Sci.* 23: 293-303.
- Wright IA, Rhind SM, Russel AJF, Whyte TK, McBean AJ, McMillen SR. 1987. Effects of body condition, food intake and temporary calf separation on the duration of the post-partum anoestrus period and associated LH, FSH and prolactin concentrations in beef cows. *Anim. Prod.* 45: 395-402.
- Zinn SA, Chapin LT, Tucker HA. 1986a. Response of bodyweight and clearance of growth hormone to photoperiod in Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 62: 1273-1278.

Zinn SA, Purchas RW, Chapin LT, Petitclerc D, Merkel RA, Bergen WG, Tucker HA.  
1986b. Effects of photoperiod on growth, carcass composition, prolactin,  
growth hormone and cortisol in prepubertal and postpubertal Holstein heifers. J  
Anim. Sci. 63: 1804-1815.