



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA Y FARMACOLOGÍA**

**EFEECTO DEL FOTOPERÍODO EN ETAPAS CRÍTICAS DEL DESARROLLO DE
VAQUILLAS LECHERAS, SOBRE EL CRECIMIENTO CORPORAL Y
MAMARIO, LA PUBERTAD Y LA PRODUCCIÓN DURANTE LA PRIMERA
LACTACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

PRESENTA

NICOLÁS VALENZUELA JIMÉNEZ

TUTOR PRINCIPAL

PhD. ALEJANDRO VILLA GODOY (FMVZ-UNAM)

COMITÉ TUTOR

DCV. JOEL HERNÁNDEZ CERÓN (FMVZ-UNAM)

PhD. HÉCTOR R. VERA ÁVILA (UAQ)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

MARZO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I. DEDICATORIA

De manera especial y con mucho cariño a:

Mi Padre y a mi Madre

A mis hermanas, hermanos, sobrinos y sobrinas

A Mary (mi esposa y mejor amiga) y a nuestra hija Victoria

"Son mi fuerza y mi motivo para todo"

II. AGRADECIMIENTOS

*A mi tutor y amigo **Dr. Alejandro Villa Godoy**, por su apoyo y dirección durante mi formación académica y científica; por su confianza, amistad y sobre todo su paciencia.*

*A los miembros de mi Comité Tutor: **Dr. Joel Hernández Cerón** y al **Dr. Héctor R. Vera Ávila**, por su tiempo y conocimiento dedicado a la asesoría durante todo el proceso y a la revisión de este escrito.*

*A la Doctora **Karla Rodríguez Hernández**, por su orientación en la estrategia experimental y apoyo en todo momento.*

*Al **Departamento de Reproducción** (Amigos todos) de la FMVZ-UNAM, por su valiosa colaboración en las actividades de laboratorio y por abrirme sus puertas en todo momento.*

*A los miembros del Jurado: Doctoras y Doctores **Sara Caballero Chacón**, **Alejandro Villa Godoy**, **Luis Alberto Zarco Quintero**, **Jaime Gallegos Sánchez**, **Eugenio Villagómez Amezcua M.**, por la revisión y aportes a este trabajo.*

*A la **Universidad del Papaloapan**, por las facilidades otorgadas a un servidor para la culminación de este proyecto.*

*Al establo "**Los Eucaliptos**" (**Hermanos Padilla**), por permitirnos utilizar a sus animales para la realización de los experimentos y por su amistad y apoyo.*

*Al **CONACYT**, por el apoyo económico otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas y de investigación.*

*A la **UNAM** y a la **FMVZ** por el apoyo otorgado a través del programa **PAEP** y sobre todo por abrirme las puertas al conocimiento y por ser mi alma mater.*

*Al **personal de posgrado** de la FMVZ, por su apoyo y amistad en todo momento.*

~~~~~ ~~~~~

### III. RESUMEN

La exposición a un fotoperíodo largo estimula el crecimiento y la producción de leche en bovinos; dicho efecto no ha sido estudiado en esta especie en latitudes inferiores a los 39° LN. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de 16L en diferentes etapas del desarrollo de becerras y vaquillas Holstein, sobre su crecimiento corporal y mamario, la pubertad y la producción de leche. Se realizaron dos experimentos en una región del subtrópico mexicano. En el primero, 198 becerras recién nacidas (LAC) fueron asignadas en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2 a dos tratamientos: Fotoperíodo de 16 h luz (L16; n=99) o fotoperíodo natural (LN; n=99). Al cumplir 7 meses de edad (PP) los animales fueron reasignados a los mismos tratamientos de luz por 60 días. Al inicio y final del tratamiento, se registró peso corporal (PC), altura (AC), ganancia diaria de peso (GDP), grosor de grasa dorsal (GD), profundidad del músculo *Longissimus dorsi* (PLD), área pélvica (AP) y la profundidad (PGM) y anchura (AGM) de la glándula mamaria. Al final de la etapa LAC, la GD fue menor y PLD fue mayor en L16, mientras que al final de PP, las vaquillas L16 tuvieron más PC, AP, PLD y AGM, pero menos GD que las de LN. La edad al primer estro fue menor en las vaquillas L16 que en LN. No hubo interacción entre fotoperíodos y etapas de desarrollo de los animales en cuanto a la producción de leche diaria, sin embargo, los días en leche y la producción por lactación fue diferente cuando se compararon los animales que permanecieron en L16 durante ambas etapas contra los que en ambas etapas permanecieron bajo LN. En el segundo experimento, 66 vaquillas gestantes (160-190 días) fueron distribuidas en dos tratamientos: 16h luz (L16; n=34) o fotoperíodo natural (LNAT; n=32); al inicio y final del tratamiento se registró peso (PC), altura (AC), grasa dorsal (GD), músculo *Longissimus dorsi* (PLD), área pélvica (AP) y se registró su producción de leche. Al final del tratamiento, las vaquillas L16 tuvieron menos grasa y más músculo; y su consumo de alimento fue menor. No hubo diferencia en la producción de leche/día, pero el área pélvica fue mayor en L16 que en LNAT y la presentación de distocias fue mayor en LNAT. Se concluye que la exposición de becerras, vaquillas y vacas gestantes a 16 h Luz, en esta latitud, promueve un crecimiento magro y el desarrollo de vaquillas con mayor potencial productivo y menor riesgo de distocia al primer parto.

**Palabras Clave:** fotoperíodo, leche, desarrollo mamario, vaquillas, estro, subtrópico

#### IV. ABSTRAC

Long photoperiod stimulates the growth and milk production in cattle; this effect has not been studied in this species in latitudes lower than 39 ° LN. The objective of this work was to evaluate the effect of 16L in different stages of development of Holstein heifers, on their body and mammary growth, puberty and milk production. Two experiments were carried out in a region of the Mexican subtropics. In the first one, 198 newborn calves (LAC) were assigned, in a completely randomized design with 2x2 factorial arrangement, to two treatments: Photoperiod 16h light (L16; n = 99) or natural photoperiod (LN; n = 99). At 7 months of age (PP) they were reassigned to the same light treatments for 60 days. At the beginning and at the end of the treatment, body weight (PC), height (AC), daily gain of weight (GD), thickness of dorsal fat (GD), depth of *Longissimus dorsi* muscle (PLD), pelvic area and the depth (PGM) and width (AGM) of the mammary gland were registered. At the end of the LAC stage, GD was lower and PLD was higher at L16, whereas at the end of PP, L16 heifers had more PC, AP, PLD and AGM, but less GD than LN. Age at first estrus was lower in heifers L16 than in LN. There was no interaction between photoperiods and stages of development of the animals in terms of daily milk production; however, days in milk and total lactation production were different when compared to animals that remained in L16 during both stages against those in both stages under LN. In the second experiment, 66 pregnant heifers were distributed in two treatments: 16h light (L16; n = 34) or natural photoperiod (LNAT; n = 32); (PC), height (AC), dorsal fat (GD), *Longissimus dorsi* muscle (PLD), and pelvic area (PA) were recorded at the beginning and at the end of treatment. L16 heifers had less fat and more muscle; and their food consumption was lower. There was no difference in milk / day production, but the pelvic area was higher in L16 than in LNAT and dystocia was higher in LNAT. We concluded that the exposure of calves, heifers and pregnant cows at 16 h Luz, at this latitude, promotes lean growth and the development of heifers with greater productive potential and lower risk of dystocia at first calving.

**Key Words: Photoperiod, milk, mammary gland development, heifers, estrus, subtropics**

## V. CONTENIDO

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| I. DEDICATORIA.....                                                                                                                    | i   |
| II. AGRADECIMIENTOS.....                                                                                                               | ii  |
| III. RESUMEN.....                                                                                                                      | iii |
| IV. ABSTRAC.....                                                                                                                       | iv  |
| V. CONTENIDO.....                                                                                                                      | v   |
| 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....                                                                                                           | 1   |
| 2. HIPÓTESIS.....                                                                                                                      | 4   |
| 3. OBJETIVO.....                                                                                                                       | 5   |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                                                                                         | 6   |
| 4.1 Crecimiento y desarrollo corporal de vaquillas.....                                                                                | 6   |
| 4.2 Alimentación y desarrollo corporal.....                                                                                            | 7   |
| 4.3 Fotoperíodo y desarrollo en los bovinos.....                                                                                       | 11  |
| 4.3.1 Fotoperíodo y crecimiento corporal.....                                                                                          | 11  |
| 4.3.2 Fotoperíodo y pubertad.....                                                                                                      | 14  |
| 4.3.3 Fotoperíodo y producción de leche.....                                                                                           | 15  |
| 4.3.4 Fotoperíodo y desarrollo mamario.....                                                                                            | 18  |
| 4.4 Mecanismos fisiológicos del fotoperíodo.....                                                                                       | 18  |
| 4.4.1 Efectos endocrinos del fotoperíodo.....                                                                                          | 20  |
| 4.5 Desarrollo de la glándula mamaria.....                                                                                             | 24  |
| 4.5.1 Desarrollo prenatal.....                                                                                                         | 25  |
| 4.5.2 Desarrollo prepuberal y pospuberal.....                                                                                          | 26  |
| 4.5.3 Desarrollo durante la gestación.....                                                                                             | 27  |
| 5. ARTÍCULO PUBLICADO: 16 HOURS PHOTOPERIOD IN HOLSTEIN HEIFERS IN THE SUBTROPICS: EFFECTS IN DEVELOPMENT AND AGE TO FIRST ESTRUS..... | 28  |
| 6. FOTOPERIODO DE 16 HORAS EN VAQUILLAS HOLSTEIN EN EL SUBTRÓPICO: EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE.....                              | 43  |
| 7. PRODUCCIÓN DE LECHE Y DESARROLLO CORPORAL DE VAQUILLAS GESTANTES EXPUESTAS A 16 HORAS LUZ EN EL SUBTRÓPICO MEXICANO.....            | 64  |
| 8. DISCUSIÓN GENERAL.....                                                                                                              | 78  |
| 9. CONCLUSION GENERAL.....                                                                                                             | 84  |
| 10. LITERATURA CITADA.....                                                                                                             | 85  |

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Un proceso muy importante dentro de los sistemas de producción de leche es la generación de vaquillas de remplazo, lo cual representa el segundo mayor gasto económico, solo por debajo de los costos de alimentación de las vacas en producción (Heinrichs, 1993; Vandehaar, 2001). La crianza de vaquillas desde el destete al parto implica una apropiada planificación en cuanto a la sanidad, prevención de enfermedades, nutrición y manejo; cuando estos aspectos son cubiertos adecuadamente, se producen animales sanos, con el desarrollo y cualidades fisiológicas requeridas para que expresen su potencial genético en forma de una óptima producción de leche.

Una meta durante la crianza de estos animales es que alcancen su primer parto entre los 22 y 24 meses de edad para asegurar una lactación económicamente aceptable y para minimizar los casos de distocia (Heinrichs, 1993; Gabler *et al.*, 2000); para lograr esta meta, las becerras deben tener una tasa de crecimiento adecuada durante todo el periodo de crianza alcanzando el peso y la condición corporal apropiada al primer parto. Además, es muy importante reducir el período del nacimiento al primer parto, sin afectar el desarrollo de la glándula mamaria, enfocando la atención en tres períodos críticos del desarrollo de los animales: a) la lactancia, etapa en la que se puede dirigir el desarrollo de la glándula mamaria hacia un mayor crecimiento de tejido epitelial con respecto al tejido adiposo y al conectivo (Brown *et al.*, 2005); b) un período de aproximadamente dos meses previos a la pubertad, cuando se promueve el desarrollo de los conductos galactóforos y los botones mamarios, que son los antecedentes del sistema lóbulo-alveolar, mismo que al final de la gestación se encargará de la lactogénesis o síntesis de la leche (Akers *et al.*, 2000; Tucker, 2000; Akers, 2006) y, c) durante la primera gestación (Sejrsen *et al.*, 2000) donde los animales aún se encuentran en un proceso de crecimiento y requieren de apoyo nutrimental y metabólico para lograr un crecimiento rápido y dirigido hacia una composición corporal magra, amplitud de

caderas y el desarrollo de la glándula mamaria con prioridad de proliferación del tejido epitelial sobre el adiposo, sin desatender las demandas del feto que se encuentra en desarrollo.

La manipulación del fotoperíodo durante dichas etapas, puede ser una herramienta útil para mejorar el desarrollo e incrementar la eficiencia productiva en los bovinos. Se ha demostrado que la aplicación de un régimen de luz de 16 horas y 8 de oscuridad, en bovinos lecheros provoca el incremento de algunas hormonas metabólicas en la sangre, tales como la prolactina, el factor de crecimiento similar a la insulina-1 o IGF-1 (Dahl *et al.*, 2000), así como la leptina y/o sus receptores en tejido adiposo (Bernabucci *et al.*, 2006); dichas hormonas participan como mecanismos reguladores de la distribución de nutrientes, los cuales son orientados prioritariamente hacia los huesos, músculo esquelético y tejido glandular mamario (Tucker *et al.*, 1984; Rius *et al.*, 2005).

Por otra parte, en algunos estudios efectuados en países que geográficamente se sitúan entre los 37° y 62° de latitud Norte (Dahl *et al.*, 2000; Dahl & Petitclerc 2003; Auchtung *et al.*, 2005), se ha comprobado que un régimen lumínico de 16 h de luz y ocho de oscuridad, aplicado durante la lactación a vacas Holstein, incrementa la producción de leche entre un 12 y 15%, en comparación con un régimen de ocho h de luz y 16 de oscuridad. Esta observación ha sido validada en numerosas empresas lecheras localizadas dentro de las latitudes antes mencionadas (Stanisiewski *et al.*, 1985; Dahl *et al.*, 2000), de tal manera que en la actualidad muchas de las granjas lecheras de pequeños y medianos productores, aplican esta tecnología de manera exitosa en las zonas geográficas mencionadas (Stanisiewski *et al.*, 1985). En otros estudios con vaquillas Holstein prepúberes, se ha observado también que un régimen de 16 h de luz mantenido durante 270 días, aceleró la pubertad e incrementó la estatura y el desarrollo de la glándula mamaria, en comparación con animales mantenidos en 16 h de oscuridad (Rius *et al.*, 2005; Rius & Dahl 2006). Asimismo, las vaquillas expuestas a 16 h de luz presentan un crecimiento magro y una mayor producción en su primera lactación, en comparación

con animales mantenidos en 16 h de oscuridad (Rius & Dahl 2006); de esta manera se observa que el fotoperíodo largo aumenta la tasa de crecimiento (Tucker *et al.*, 1984; Rius *et al.*, 2005), la estatura, la composición corporal y la producción de leche de las vaquillas mantenidas en las condiciones mencionadas (Rius & Dahl 2006).

Es conveniente recalcar que los estudios de los efectos del fotoperíodo largo en vacas y vaquillas lecheras han sido efectuados en latitudes entre los 37° y 62° LN (Dahl *et al.*, 2000; Auchtung *et al.*, 2005), donde las diferencias en la duración del fotoperíodo natural es muy marcada entre los meses de verano y en los meses de invierno. En otra latitud, en la región Lagunera de Coahuila, situada a 26°23' LN se probó que el régimen de 16 h luz incrementó la producción de leche en cabras adultas en un 25 % (Flores *et al.*, 2011), consecuentemente es factible que también la diferencia entre 16 h luz y el fotoperíodo natural de la región sea percibida por el cerebro de los bovinos, dirigiendo entonces ajustes fisiológicos que propicien el crecimiento corporal acelerado y magro, así como un mayor desarrollo de la glándula mamaria con la consecuente mayor producción de leche.

Hasta la fecha, en la información científica disponible, no se encontraron trabajos efectuados con vacas o vaquillas dentro de la región tropical o subtropical, en los que se evalúen los efectos del fotoperíodo largo en el crecimiento y desarrollo mamario. Por lo que el objetivo del presente trabajo, es determinar los efectos de un régimen de 16 h luz durante 60 días, sobre el desarrollo corporal y mamario, la edad al primer estro y la producción en la primera lactación de vaquillas Holstein de reemplazo (aplicado en diferentes etapas del desarrollo), en una región del subtrópico mexicano.

## 2. HIPÓTESIS

- El fotoperíodo largo por 60 días durante la lactancia, adelanta la pubertad, estimula el crecimiento corporal y mamario y aumenta la producción en la primera lactación de vaquillas lecheras.
- El fotoperíodo largo por 60 días durante la etapa prepuberal, adelanta la pubertad, estimula el crecimiento corporal y mamario y aumenta la producción en la primera lactación de vaquillas lecheras.
- El fotoperíodo largo por 60 días durante ambas etapas, adelanta la pubertad, estimula el crecimiento corporal y mamario y aumenta la producción en la primera lactación de vaquillas lecheras, de manera más acentuada.
- El fotoperíodo largo por 60 días durante el segundo tercio de la gestación estimula el crecimiento corporal y aumenta la producción en la primera lactación de vaquillas lecheras.

### 3. OBJETIVO

- Determinar los efectos de un fotoperíodo largo (16Luz) durante tres etapas del desarrollo de vaquillas lecheras (lactancia, etapa prepuberal y gestación), sobre el inicio de la pubertad, el crecimiento corporal y mamario y la producción en la primera lactación.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

**4.1 Crecimiento y desarrollo corporal de vaquillas.** El crecimiento generalmente se define como la producción de nuevas células y se mide como un aumento de la masa. Es un proceso básico del organismo que es influenciado por factores tales como la nutrición, el potencial genético y el ambiente (Owens *et al.*, 1996).

El crecimiento y el desarrollo son dos términos bien definidos desde hace varias décadas por Hammond (1940), quien establece que el crecimiento es el aumento de peso experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta, y que el desarrollo son las modificaciones que experimenta el cuerpo del animal en su proporción, conformación y funciones fisiológicas a medida que avanza su edad. En general, el desarrollo corporal puede ser dividido en tres etapas: la primera se caracteriza por un crecimiento relativamente armónico entre peso y tamaño (etapa prepuber), la segunda por el incremento significativo en el tamaño (crecimiento puberal) y una tercera por el incremento significativo en el peso (etapa adulta) (Lawrence y Fowler, 2012). El crecimiento de los animales se manifiesta como un aumento coordinado de las partes del organismo a intervalos definidos de tiempo y una forma de medirlo es observando la ganancia en kilogramos de peso por día, también llamada tasa de crecimiento.

La tasa de crecimiento es una característica importante en la producción animal y en las vaquillas de reemplazo, su importancia radica en los considerables costos en tiempo y dinero que involucran hasta que el animal alcanza su primer parto, además de que tanto la tasa de crecimiento como el peso corporal, están estrechamente asociados a la producción de leche durante la primera lactación, (Heinrichs y Heinrichs, 2011). Cuando el primer parto de las vaquillas es a los 24 meses de edad se minimizan los costos y se obtiene una mayor vida productiva, siempre que los animales hayan alcanzado un tamaño adecuado (Hoffman y Funk, 1992); si esto no sucede, la producción de leche se verá limitada en la primera lactancia, e incluso en

la segunda (Heinrichs y Gabler, 2003). Sin embargo, el alimentar a los animales para un crecimiento rápido no es la solución, ya que el crecimiento acelerado de estos animales se ha asociado con la deposición de grasa excesiva en la ubre o alrededor de los órganos reproductivos (Daniels, 2009), lo que puede afectar negativamente el rendimiento y la fertilidad de las vacas, incluyendo su longevidad (Heinrichs y Gabler 2003). Por el contrario, con una alimentación baja en nutrientes y por consiguiente bajas tasas de crecimiento, se incrementan los costos durante la crianza debido a la tardía madurez sexual, además de problemas como bajo peso corporal al primer parto, aumento de distocia y baja producción de leche en la primera lactación (Le Cozler *et al.*, 2008).

**4.2 Alimentación y desarrollo corporal.** Aunque el máximo potencial de crecimiento y desarrollo está determinado genéticamente, ha sido probado que la nutrición junto con otros factores ambientales regulan la tasa real de crecimiento y la medida en que el desarrollo se alcanza.

Diversas investigaciones (Waldo *et al.*, 1998; Van Amburgh *et al.*, 1998; Abeni *et al.*, 2000; Zanton y Heinrichs 2005) han demostrado consistentemente que las altas tasas de crecimiento prepuberal de las vaquillas afectan negativamente la producción de leche de esos animales. Sejrson *et al.*, (2000) demostraron que tasas de crecimiento prepuberal superiores a 700 g por día en vaquillas Holstein, resultan en el deterioro del desarrollo mamario y reducen la producción de leche posterior hasta un 7% por cada 100 g de ganancia diaria promedio extra a la tasa de crecimiento óptimo. De la misma manera, Van Amburgh *et al.*, (1998) encontraron que la producción de leche se redujo un 5% por el aumento de las tasas de crecimiento prepuberal de 680 a 940 g por día. La deposición de grasa en vaquillas sobrealimentadas no solo tiene un efecto antagonista sobre la producción de leche, sino que también afecta la reproducción, además de que puede resultar en un aumento de la incidencia de distocia, cetosis, desplazamiento de abomaso, y en

consecuencia un aumento de la tasa de desechos (Hoffman *et al.*, 1996 Hansen *et al.*, 2004; Le Cozler *et al.*, 2008).

El manejo alimenticio adecuado en las diferentes etapas del desarrollo de las vaquillas de reemplazo es vital. Desde antes del nacimiento, la alimentación es un factor determinante en el desarrollo adecuado de los animales. Se ha comprobado que el manejo alimenticio prenatal tiene un impacto en el rendimiento y la rentabilidad futura de las vaquillas (Le Cozler *et al.*, 2008). En un experimento con vaquillas de carne Martin *et al.*, (2007) observaron que la nutrición de la madre durante la gestación afecta el peso corporal posdestete de la becerro y la fertilidad. Durante este experimento, un grupo de vacas gestantes en pastoreo recibieron 450 g diarios de un suplemento con 42% de proteína cruda, mientras que otro grupo similar no recibió ningún suplemento. Las vaquillas nacidas de vacas suplementadas eran más pesadas al destete, al momento de su primera monta y antes de su segundo período de empadre, además, una mayor proporción de vaquillas de vacas suplementadas parió en los primeros 21 días de la primera época de parto y las tasas de gestación fueron mayores en comparación con las vaquillas de vacas no suplementadas. En conjunto, estos resultados proporcionan evidencia de un efecto de la nutrición a finales de la gestación en la programación fetal en la fertilidad posterior.

De la misma manera, el plano nutricional de las becerras en los primeros dos meses de vida se correlaciona positivamente con su futuro desempeño en producción de leche (Bach y Kertz 2010). Así, se ha comprobado que la primera lactación puede ser influenciada positivamente por la cantidad y calidad del calostro ingerido (Faber *et al.*, 2005) o bien por ofrecer leche en lugar de sustitutos (Le Cozler *et al.*, 2008), además de que el consumo de leche natural ofrece mejores resultados que los sustitutos de leche en ganancia diaria de peso y edad a la pubertad. (Jasper y Weary 2002); sin embargo, el ofrecer un sustituto de leche con alto contenido de proteína (28 %) mejora la composición corporal de los animales y garantiza una ganancia de peso de 650 a 700 g por día (Blome *et al.*, 2003).

Otro punto importante a tomar en consideración es la calidad del alimento iniciador, cuyo consumo desde los primeros días de vida es muy importante para el desarrollo adecuado del rumen y para lograr un crecimiento óptimo (Baldwin *et al.*, 2004). El contenido de proteína cruda normalmente oscila entre 13 y 18 % (Rinker *et al.*, 2011) y en algunos estudios se ha observado que a mayor cantidad de proteína cruda (18 a 20 %), la ganancia diaria de peso de las becerras es mayor (Akayezu *et al.*, 1994). De la misma forma, el maximizar la tasa de crecimiento de las becerras entre 2 y 8 semanas de edad podría tener efectos positivos en el desarrollo mamario ya que el aumento de la energía y la ingesta de proteínas a esta edad duplicó la masa del parénquima mamario (Brown *et al.*, 2005). En el experimento, un grupo de becerras Holstein de 2 a 8 semanas de edad fueron alimentadas con una dieta alta en energía y proteína mediante un sustituto de la leche (30,3% de PC, 4,4 kcal de EM / g de MS) y alimento iniciador con grano (25,0% PC) alimentados *ad libitum*; mientras otro grupo de animales se mantuvieron con una dieta moderada en energía y proteína con sustituto de leche (21,3% de PC, 4,4 kcal de EM / g de MS) y alimento iniciador con grano (20,5% PC). En el primer grupo de animales, un mayor consumo de energía y proteína aumentó la masa y el ADN del parénquima de su glándula mamaria, sin aumentar la deposición de grasa en el parénquima (Brown *et al.*, 2005).

Brown *et al.*, (2005) llevaron a cabo otro estudio para determinar si la alimentación con mayores cantidades de proteína y grasa afectaban negativamente el desarrollo mamario en becerros en dos diferentes etapas del desarrollo (dos a ocho semanas y luego de las ocho a las catorce semanas de edad). Los animales fueron asignados a una alta o baja tasa de ganancia de peso antes del destete y después algunos se mantuvieron en esa ganancia o fueron cambiados a la otra. Se evaluó el desarrollo mamario de las becerras mediante el conteo de ADN y ARN y observaron que el crecimiento del parénquima mamario se incrementó en un 32% durante la fase de alimentación con alto contenido de proteína previo al destete y una vez que los animales se destetan ya no se observa este desarrollo mamario, lo que indica las

becerras son más sensibles al nivel de nutrición antes del destete y que el aumento en el desarrollo de glándula mamaria ya no se recupera en los animales destetados. Los datos de Sejrsen *et al.*, (2000) también apoyan esta observación de que el desarrollo mamario después del destete puede ser disminuido por un incremento en la ingesta de nutrientes. En general, es factible influir en la productividad futura mediante la explotación del potencial de crecimiento de la vaquilla durante las diferentes etapas del desarrollo como la lactancia, antes de que el período de desarrollo mamario comience a ser alométrico (Brown *et al.*, 2005).

Como se observa, las vaquillas no tienen tasas de crecimiento constantes, crecen de manera más rápida entre el nacimiento y el inicio de la pubertad, seguido por un período de crecimiento más lento pospuber. También es factible aumentar el potencial de crecimiento de la vaquilla durante la fase prepuber (Heinrichs y Gabler 2003). Por ejemplo, Gasser *et al.*, (2006) observaron que ofrecer una mayor cantidad de energía a becerras recién destetadas (120 a 196 días de edad), incrementa la ganancia diaria de peso y disminuye la edad a la pubertad, sin embargo, de acuerdo con Le Cozler *et al.*, (2009) el propiciar un crecimiento excesivo de los 120 a los 300 días de edad no es favorable para la futura producción de leche. Por otro lado, Abeni *et al.*, (2000) señalaron que una ganancia diaria de peso de 700 a 800 gramos es la ideal para lograr un mayor rendimiento de leche pues favorece el crecimiento de la glándula mamaria con mayor tejido secretor. Una vez que se alcanza la madurez sexual la sobrealimentación ya no afecta negativamente la glándula mamaria (Lammers y Heinrichs 2000).

Por su parte, Shamay *et al.*, (2005), observaron que una restricción alimenticia moderada durante el período crítico de los tres a los 12 meses de edad induce un buen desarrollo de la glándula mamaria, sin embargo, también hay un retraso indeseable del crecimiento de la vaquilla afectando el tamaño corporal; incluso algunos investigadores recomiendan que a las vaquillas se les alimente únicamente con forraje, sin embargo, el forraje no proporciona los nutrientes suficientes para satisfacer las necesidades nutricionales de estos animales (Beck *et al.*, 2005).

Cabe recordar que los efectos de los niveles de energía y proteína en la dieta para las vaquillas durante su desarrollo también dependen de su potencial genético.

**4.3 Fotoperíodo y desarrollo en los bovinos.** El fotoperíodo es la cantidad de horas de luz dentro de un período de 24 horas. El conocimiento de su fisiología y de sus efectos en el organismo animal ha sido utilizado con el fin de incrementar la producción en las diferentes especies animales. El manejo del fotoperíodo mediante iluminación artificial, brindando variaciones en la cantidad de luz ofrecida por día, induce cambios o adaptaciones fisiológicas en los animales similares a las inducidas por el fotoperíodo natural, y fue primeramente utilizado en las aves (Payne y Simmons 1934). En rumiantes también puede ser un valioso instrumento para mejorar la eficiencia de la producción. Aunque los bovinos no son estrictamente animales estacionales (Hansen *et al.*, 1983), se ha demostrado que son capaces de responder a diferentes fotoperíodos tanto en producción de leche (Dahl *et al.*, 2012), como en el crecimiento (Peters *et al.*, 1978, Petitclerc *et al.*, 1983; Zinn *et al.*, 1986). Diversos estudios en ganado lechero han demostrado constantemente que la extensión del fotoperíodo mejora la producción de leche (Peters *et al.*, 1978; Dahl *et al.*, 1997, Miller *et al.*, 1999; Dahl *et al.*, 2012) y el rendimiento reproductivo (Reksen *et al.*, 1999).

De acuerdo a Dahl *et al.*, (2012), un fotoperíodo corto para el ganado se compone de 8 h de luz y 16 horas de oscuridad, mientras que un fotoperíodo largo es de 16 h de luz y 8 h de oscuridad, mientras la exposición a iluminación continua no parece tener un efecto positivo (Marcek y Swanson 1984).

**4.3.1 Fotoperíodo y crecimiento corporal.** El conocimiento de los efectos del fotoperíodo sobre la tasa de crecimiento de los bovinos cada vez es mayor, aunque aún no totalmente entendido. Los estudios clásicos han demostrado que extender el fotoperíodo a 16 horas estimula la tasa de crecimiento de los bovinos (Peters *et al.*, 1980; Zinn *et al.*, 1986), en comparación con los animales que experimentan la duración del día natural o sólo 8 horas de luz artificial.

Forbes (1982) y Tucker *et al.*, (1984) sugieren que el fotoperíodo largo induce una respuesta de crecimiento en el ganado ovino y bovino, aunque este no siempre sea el caso. El mismo Forbes (1979) encontró que los corderos expuestos a 16 h de luz (16 L) crecieron más rápidamente que los corderos expuestos a sólo 8 h de luz (8 L) siendo alimentados con una dieta de concentrado *ad libitum* o restringida, además de que la eficiencia de crecimiento fue mayor en los corderos en 16 L con alimentación restringida. Estos hallazgos llevaron a Forbes (1979) a concluir que el fotoperíodo largo estimula el crecimiento y no simplemente mediante el aumento en el consumo de alimento. De igual manera, Schanbacher y Crouse (1980) demostraron que carneros expuestos a un fotoperíodo de 16 L tuvieron mayor tasa de crecimiento, mejor eficiencia alimenticia y mayor peso en canal comparados con carneros en solo 8 horas de luz. Además, en un intento por entender el efecto promotor del crecimiento del fotoperíodo largo, midieron las concentraciones sanguíneas de testosterona y de prolactina, encontrando que la prolactina se elevó cinco veces en corderos expuestos al fotoperíodo 16 L en comparación con el fotoperíodo corto y no fue afectada por el sexo de los corderos, mientras la testosterona sólo incremento en los corderos con fotoperíodo corto. Estos hallazgos muestran que la testosterona y la prolactina afectan de forma independiente el crecimiento y que los efectos del fotoperíodo largo en el crecimiento no son dependientes de las gónadas en ovejas.

En el caso de bovinos, diversos investigadores (Peters *et al.*, 1978, 1980; Petitclerc *et al.*, 1983; Zinn *et al.*, 1986; Mossberg y Jonsson 1996) han demostrado que el exponer a estos animales a un fotoperíodo largo se da un mayor crecimiento y una mejor eficiencia alimenticia en comparación con animales en un fotoperíodo natural o corto (Peters *et al.*, 1980; Petitclerc *et al.*, 1983). Desde recién nacidas, las becerras muestran un crecimiento corporal mayor cuando son expuestas a fotoperíodo largo, como fue demostrado por Osborne *et al.*, (2007) quienes observaron que en becerras Holstein de 1 a 8 semanas de edad el fotoperíodo largo (18 L) indujo un mayor peso corporal que en becerras con fotoperíodo corto (10 L),

además de que hubo un mayor consumo de alimento iniciador en estos animales favoreciendo un desarrollo ruminal más temprano debido a la generación de ácidos grasos volátiles. Por otra parte, las vaquillas criadas bajo un fotoperíodo largo durante su período prepuberal hasta la primera lactancia obtuvieron más peso y más altura que las criadas en fotoperíodo corto (Petitclerc *et al.*, 1984, 1985); de manera similar, Peters *et al.* (1978), encontraron que las vaquillas Holstein peripuberes expuestas a 16 L tuvieron mayores ganancias de peso, a pesar de consumir la misma cantidad de alimento, que vaquillas en fotoperíodo natural (9 a 12 h). El mismo grupo de investigadores (Peters *et al.*, 1980), compararon el crecimiento de vaquillas Holstein peripuberes bajo tres diferentes fotoperíodos (natural, 16 L y 24 L) observando de igual manera que las vaquillas expuestas a 16 L crecieron más rápido y tenían una mejor eficiencia de conversión alimenticia que las expuestas a 24 L o fotoperíodo natural, mostrando que un fotoperíodo extralargo de 24 h no tiene efectos positivos en el crecimiento, ya que los animales se comportan como si fuera un fotoperíodo corto.

Los efectos del fotoperíodo en el crecimiento pueden estar relacionados a un incremento en el consumo de alimento (Peters *et al.*, 1980; Petitclerc *et al.*, 1984; Tucker *et al.*, 1984, Osborne *et al.*, 2007) o ser independientes de éste último (Peters *et al.*, 1978). Ingvarsen *et al.*, (1992) también encontraron que el fotoperíodo largo aumenta el consumo voluntario de materia seca en novillos y vaquillas; sin embargo, se debe tener en cuenta que este incremento en el consumo de alimento puede ser una consecuencia del crecimiento inducido por el fotoperíodo y no ser causa de ese crecimiento, ya que incrementarían las demandas de nutrientes. Petitclerc *et al.*, (1983) y Zinn *et al.*, (1986) reportaron que el crecimiento y la eficiencia alimenticia mejoraron en vaquillas peripuberes, independientemente del régimen alimenticio, cuando fueron expuestas a fotoperíodo largo.

Por otro lado, Small *et al.*, (2003) evaluaron los efectos de 16 L en el desarrollo de vaquillas de carne, encontrando que el fotoperíodo largo favoreció el crecimiento y adelantó la pubertad en estos animales, sin incrementar el consumo de alimento,

además de favorecer una menor cantidad de grasa dorsal, es decir, el fotoperíodo largo también mejora la composición corporal. En este sentido, los efectos del fotoperíodo largo en la composición corporal muestran resultados más constantes, donde la luz suplementaria disminuye la grasa y aumenta el contenido de carne magra de las vaquillas. Petitclerc *et al.*, (1984) reportaron que un fotoperíodo de 16L en vaquillas alimentadas ad libitum, mejoró el porcentaje de proteína en músculo a la altura de la onceava costilla, mientras Zinn *et al.*, (1986) encontraron que las vaquillas pospuberes expuestas a días cortos tuvieron un mayor porcentaje de acreción de grasa y un porcentaje reducido de proteína en músculo comparadas con vaquillas expuestas a días largos. En otro estudio, Phillips *et al.*, (1997) encontraron que las vaquillas que experimentan fotoperíodo naturales de nueve horas de luz (otoño-invierno) depositan más tejido graso que vaquillas a las que se les suplementan 16 horas de luz.

Contrario a la información presentada anteriormente, también existen estudios que no coinciden con los efectos positivos de la luz en el crecimiento y la eficiencia. Por ejemplo, Zinn *et al.*, (1986) encontraron que el fotoperíodo largo no tuvo efecto en la ganancia diaria de peso, ni la composición de la canal en vaquillas Holstein prepúberes, por lo que especula que se requieren gónadas maduras para que el fotoperíodo incremente estos parámetros en los bovinos, sin embargo, de acuerdo con Schanbacher y Crouse (1980) el crecimiento inducido por el fotoperíodo en el ganado ovino, parece no ser dependiente de las gónadas. De igual manera, Phillips *et al.*, (1997) demostraron que vaquillas pospúberes expuestas a días largos no tuvieron mayor ganancia diaria de peso ni mejor eficiencia alimenticia en comparación a vaquillas en fotoperíodo natural (9 L). En general, la mayor parte de la evidencia encontrada indica que el fotoperíodo largo mejora el crecimiento y la composición corporal de los animales, sin embargo, deben existir o cumplirse todo un conjunto específico de condiciones ambientales para que esto suceda

**4.3.2 Fotoperíodo y pubertad.** El impacto del fotoperíodo en la reproducción del ganado bovino es menos marcado que en los animales

reproductores estacionales (Dahl *et al.*, 2012). Sin embargo, también se han observado efectos constantes en esta área zotécnica. Por ejemplo, se ha reportado que el tiempo requerido para el retorno a la ciclicidad ovárica después del parto es más corto en animales que paren en días largos (verano) en comparación con los paridos durante el invierno (Hansen, 1985).

Hansen *et al.*, (1983) encontraron también que las vaquillas expuestas a 18 horas de luz alcanzaron la pubertad a una edad más temprana que las vaquillas expuestas a luz natural desde el destete, con tasas de crecimiento similares entre los dos tratamientos, por lo que sugirieron que los efectos del fotoperíodo en la pubertad se produjeron de forma independiente de otros efectos. Petitclerc *et al.*, (1983), también examinaron los efectos de 16 L en vaquillas bajo un alto o bajo plano nutricional y encontraron que el intervalo desde el principio del experimento a la pubertad fue más corto en vaquillas con 16 horas de luz o un alto plano nutricional; en ambos planos nutricionales, el fotoperíodo largo incrementó la tasa de crecimiento y mejoró la eficiencia alimenticia. De igual manera, Rius *et al.*, (2005) también reportaron una reducción similar en la edad a la pubertad para las vaquillas mantenidas bajo fotoperíodo largo.

En otro aspecto de la reproducción, en el mismo estudio de Hansen *et al.*, (1983) no se encontró diferencia en la edad a la primera concepción entre los dos tratamientos de fotoperíodo. Por su parte, Reksen *et al.*, (1999) reportaron los efectos del fotoperíodo sobre la producción de leche y el rendimiento reproductivo a partir de datos recogidos de más de 1500 granjas en Noruega, encontrando un efecto positivo en la producción de leche en ranchos durante los fotoperíodos largos, al igual que en la edad a la primera inseminación y el primer parto.

**4.3.3 Fotoperíodo y producción de leche.** Los efectos del fotoperíodo en el crecimiento, la reproducción, la lactación y la salud en el ganado se han demostrado en diferentes estudios (Dahl, 2000; Dahl *et al.*, 2012). Las vacas lecheras en lactación expuestas a un fotoperíodo largo tienen una mayor producción de leche en comparación con las vacas mantenidas en fotoperíodo corto. Esta aseveración fue hecha por primera vez por Peters *et al.*, (1978) quienes reportaron

un aumento en la producción de leche de 10 a 15 % cuando a las vacas recién paridas se les proporciona un fotoperíodo de 16 horas en comparación con vacas bajo fotoperíodo natural de 9 a 12 horas de luz. Posteriormente este efecto galactopoyético del fotoperíodo ha sido verificado en bovinos lecheros y en otras especies en diferentes etapas de la lactación, en diferentes niveles de producción y en diferentes partes del mundo (Dahl *et al.*, 2000; Dahl y Petitclerc 2003). En todos los estudios se encontró que el fotoperíodo largo incrementa la producción de leche en los animales en comparación con el fotoperíodo corto o natural de la región (los autores y el lugar se muestran en el Cuadro 1).

Cuadro 1. Estudios de los efectos galatopoyéticos del fotoperíodo

| <b>Referencia</b>                    | <b>LUGAR (Latitud)</b>     | <b>Especie</b> |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------|
| <i>Peters et al., 1978</i>           | Michigan (42°N)            | Bovinos        |
| <i>Peters et al., 1981</i>           | Michigan (42°N)            | Bovinos        |
| <i>Marcek y Swanson 1984.</i>        | Oregon (45°N)              | Bovinos        |
| <i>Stanisiewski et al., 1985</i>     | Michigan (42°N)            | Bovinos        |
| <i>Bilodeau, et al., 1989</i>        | Quebec (47°N)              | Bovinos        |
| <i>Evans y Hacker 1989</i>           | Ontario (43°N)             | Bovinos        |
| <i>Phillips y Schofield 1989</i>     | Gales (53°N)               | Bovinos        |
| <i>Dahl et al., 1997</i>             | Maryland (39°N)            | Bovinos        |
| <i>Reksen et al., 1999</i>           | Norway (60–62°N)           | Bovinos        |
| <i>Miller et al., 1999</i>           | Maryland (39°N)            | Bovinos        |
| <i>Porter y Luhman 2002.</i>         | Iowa (42.5°N)              | Bovinos        |
| <i>Van Baale et al., 2005</i>        | California (34°N)          | Bovinos        |
| <i>Rius y Dahl 2006</i>              | Illinois (36°N)            | Bovinos        |
| <i>Garcia-Hernandez et al., 2007</i> | Texas (30°N)               | Cabras         |
| <i>Flores et al., 2011</i>           | Coahuila, México<br>(26°N) | Cabras         |
| <i>Russo et al., 2013</i>            | Australia (37°S)           | Cabras         |

Modificado de Dahl *et al.*, 2000

La respuesta al fotoperíodo largo se da gradualmente durante 3 a 4 semanas (Dahl y Petitclerc, 2003) y al igual que con el crecimiento, el incremento en la producción

de leche derivado de la exposición al fotoperíodo largo también se ha relacionado con un aumento en el consumo de alimento (Peters *et al.*, 1981; Dahl *et al.*, 2000; Dahl y Petitclerc 2003), sin embargo, el aumento en el consumo no parece conducir el mayor rendimiento de leche (Dahl *et al.*, 2000), sino que a medida que aumenta la producción, la demanda de energía aumenta para soportar ese incremento metabólico.

La duración del fotoperíodo y la intensidad de la luz son factores importantes, las vacas mantenidas en la iluminación continua no responden con una mayor producción de leche (Marcek y Swanson 1984), se necesita una fase oscura para mantener la respuesta fotoperiódica (Buchanan *et al.*, 1992). Dahl *et al.*, (2000) mencionan que 16 a 18 horas de luz son suficientes para inducir los efectos galactopoyéticos del fotoperíodo con una intensidad de luz mayor a 150 luxes. En cabras lecheras también se han encontrado incrementos similares en la producción de leche cuando son expuestas a días largos durante la lactación (García-Hernández *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2011; Russo *et al.*, 2013). Por lo general la composición de la leche no se afecta con el fotoperíodo largo (Dahl *et al.*, 2000).

En vaquillas lecheras durante el período prepuberal, la manipulación del fotoperíodo puede ser una herramienta eficaz para mejorar la reproducción (Dahl *et al.*, 2012). Rius y Dahl (2006) observaron que vaquillas expuestas a fotoperíodo largo durante la fase de crecimiento prepuberal eran más altas y pesadas en el parto y tendían a producir más leche durante su primera lactación en comparación con vaquillas en fotoperíodo corto.

Otro aspecto del efecto del fotoperíodo en la producción de leche es durante el período seco de las vacas. El exponer a las vacas lecheras a un fotoperíodo seco durante el último tercio de la gestación, incrementa la producción de leche en la lactación inmediata posterior (Miller *et al.*, 2000; Dahl *et al.*, 2012). También hay resultados consistentes de que el fotoperíodo corto durante el período seco seguido de fotoperíodo largo durante la lactación, aumenta la producción de leche (Dahl y Petitclerc 2003).

**4.3.4 Fotoperíodo y desarrollo mamario.** Existen pocos estudios que examinan los efectos del fotoperíodo en el desarrollo mamario de vaquillas, Petitclerc *et al.*, (1984) realizaron un estudio para examinar los efectos del fotoperíodo y el plano de la nutrición en el desarrollo mamario de vaquillas Holstein, ya se ha mencionado antes que las vaquillas que reciben un alto plano nutricional durante ciertas etapas del desarrollo pueden tener una mayor deposición de grasa en la glándula mamaria y por lo tanto una producción de leche reducida (Sjersen *et al.*, 2000; Daniels 2009). Petitclerc *et al.*, (1984) utilizaron vaquillas que fueron alimentadas con un plano nutricional elevado o bajo y bajo un fotoperíodo de 16 L o sólo 8 L. Después de que los animales alcanzan la pubertad, fueron sacrificados y el tejido mamario se analizó mostrando que la cantidad de tejido del parénquima mamario fue menor en las vaquillas que reciben un alto plano de la nutrición, mientras que el fotoperíodo no tuvo efecto sobre la cantidad total del parénquima o la composición del tejido en la glándula mamaria. En otro estudio, Petitclerc *et al.*, (1985) encontraron que el peso del parénquima mamario se incrementó un 40 y un 30% en vaquillas prepúberes y postpúberes expuestas a 16 horas de luz en comparación con las vaquillas expuestas a solo 8 horas de luz.

**4.4 Mecanismos fisiológicos del fotoperíodo.** En el cerebro de todas las especies de vertebrados estudiadas, la luz regula la síntesis de melatonina. La producción de esta hormona muestra un perfil rítmico con sus mayores valores durante el periodo oscuro en aves y mamíferos (Tosini y Menaker 1996). El fotoperíodo está regulando por la síntesis rítmica de melatonina y suele ser consecuencia de una combinación de efectos directos de luz y oscuridad. La base bioquímica de este ritmo hormonal es una de las enzimas implicadas en la síntesis de la melatonina, llamada “serotonina N-acetiltransferasa” (NAT). En todos los vertebrados, la actividad de NAT es alta en la noche incrementando desde 7 a 150 veces y disminuyendo muy rápidamente después de la exposición a la luz. De este modo, la duración de los niveles nocturnos elevados de melatonina está

directamente relacionada con la duración de la fase oscura del ciclo diario luz-obscuridad (Lincoln *et al.*, 2003).

La luz en forma de fotones provoca un cambio conformacional en las células fotorreceptoras de la retina que abren canales de sodio para alterar el potencial de membrana de esas células. En la ausencia de luz, la estimulación de los fotorreceptores está ausente, por lo tanto, la fotorrecepción es una transducción de la energía física de las ondas de luz a la energía química de la estimulación neuronal (Yamazaki *et al.*, 2002). La luz que incide en el ojo actúa exclusivamente a través de las células fotorreceptoras en la retina controlando la producción de melatonina en la glándula pineal por dos mecanismos diferentes. En primer lugar, los estímulos de luz periódica cada 24 h actúa entrenando al reloj circadiano del Nucleo Supraquiasmático (NSQ), y pone a tiempo a los genes "reloj" y la actividad electrofisiológica de las neuronas del mismo (Sumova *et al.*, 1995). El NSQ regula la sincronización de los ritmos de actividad diurnos como el sueño, la temperatura corporal y otros aspectos fisiológicos como la liberación de la melatonina nocturna. En segundo lugar, la luz inhibe la liberación de melatonina independientemente del tiempo circadiano, a través de una inervación simpática (tracto retinohipotalámico) a la glándula pineal controlando la síntesis de la enzima limitante NAT (Klein *et al.*, 1997). Estos dos controles dictan que la melatonina sea secretada sólo por la noche, y que la duración de su liberación varíe cuantitativamente con la duración de la noche y del día (Lincoln *et al.*, 2003). La señal fotoperiódica entra a la retina y es conducida por una pequeña población de células ganglionares que se proyectan a través del tracto retinohipotalámico al núcleo supraquiasmático (Abrahamson y Moore 2001). En las células ganglionares del NSQ se secreta melanopsina (Gooley *et al.*, 2001; Hattar *et al.*, 2002), un pigmento que juega un papel crítico en la fotoactivación de estas células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (Panda *et al.*, 2002). El NSQ se denomina el marcapasos maestro para los eventos circadianos y lo hace a través de la expresión de un grupo de factores de transcripción conocidos como genes "reloj". Dentro de las neuronas de este núcleo existen cuatro genes que forman un circuito de retroalimentación de transcripción y

traducción que influye en la señalización neuronal (CLOCK, BMAL1, Período PER y Criptocromo CRY) (Ko y Takahashi 2006). Un ciclo completo del circuito se produce a intervalos de aproximadamente 24 horas (oscilación circadiana). Además, los días largos inducen la expresión de genes diferentes que la exposición a días cortos en roedores y es probable que sea una respuesta conservada en todos los mamíferos (Naito *et al.*, 2008). La expresión de los genes reloj también se da en otros tejidos como el hígado, la glándula mamaria, y el intestino, por lo que el reloj maestro afecta a otros sistemas fisiológicos, en particular a sistemas endocrinos relacionados con la reproducción, el crecimiento, la respuesta inmune y la lactación (Casey y Plaut 2012; Dahl *et al.*, 2012).

Por otro lado, cuando la luz llega a la retina, se induce la degradación de la enzima NAT, que como ya se mencionó, es clave para la síntesis de melatonina tanto en los pinealocitos como en la retina (Picazo y Lincoln 1995). En el caso de la ausencia de luz la enzima NAT se sintetiza incrementando su actividad y se sintetiza melatonina, la cual se secreta en la sangre periférica y fluido espinal cerebral, donde se encuentran las concentraciones más altas (Malpoux *et al.*, 2001). La naturaleza lipofílica de la melatonina la hace capaz de entrar a todos los tejidos.

#### **4.4.1 Efectos endocrinos del fotoperiodo. Melatonina.**

Cómo ya se mencionó anteriormente, la melatonina es la hormona primaria secretada por la glándula pineal de aves y mamíferos. Los pinealocitos absorben triptófano de la circulación y lo convierten en serotonina, que luego se convierte en N-acetilserotonina en una reacción catalizada por la enzima N-acetiltransferasa (NAT), esta acción de NAT es el paso limitante de la velocidad en la síntesis de la melatonina y es el único proceso que exhibe un ritmo circadiano en la producción de melatonina (Rieter *et al.*, 2010). La melatonina se difunde libremente a través de las membranas celulares y sus concentraciones circulantes aumentan de forma rápida conforme su síntesis se acelera con la exposición a la oscuridad. En los mamíferos estacionales, la melatonina tiene un papel clave en las adaptaciones fisiológicas, incluyendo la reproducción, la hibernación y el cambio de pelo (Dardente *et al.*, 2003). Sus receptores se encuentran en la *pars tuberalis* de la

hipófisis, en el núcleo supraquiasmático, en el hipotálamo, el área preóptica, en la retina, en la misma glándula pineal, en el hígado, riñones, tracto gastrointestinal, ovarios y testículos, tejido adiposo café, páncreas, tiroides y pulmones (Weaver *et al.*, 1988; Williams *et al.*, 1997).

Una acción principal de la melatonina es en el control de la reproducción, inhibiendo la secreción hipotalámica de Kisspeptina y GnRH (Greives *et al.*, 2007), además de cambiar la sensibilidad de la hipófisis a la estimulación GnRH (Mondain-Monval *et al.*, 1988). Como consecuencia, también las concentraciones de LH y FSH responden a la melatonina (Mondain-Monval *et al.*, 1988); además, la melatonina también influye en las concentraciones sanguíneas de testosterona, estradiol, progesterona y prolactina (Rose *et al.*, 1996; Kokolis *et al.*, 2000).

Las células blanco en el cerebro y adenohipófisis son responsables de registrar y decodificar la señal de la melatonina, por lo que deben expresar receptores para melatonina de alta afinidad. Estas células también funcionan como “sensores de la duración de la señal”, ya que pueden distinguir entre períodos largos y cortos de exposición a la melatonina y generar la respuesta fisiológica apropiada a largo plazo (Lincoln *et al.*, 2003). Las células de la *pars tuberalis* poseen una gran cantidad de receptores para melatonina y son consideradas ser estos sensores, por lo que se les ha llamado “células calendario” y su capacidad se debe a un mecanismo basado en los genes “reloj” (Lincoln *et al.*, 2003).

El mecanismo fotoperiódico en los vertebrados implica también la regulación temporal de la hormona estimulante de la tiroides (tirotropina), secretada por los tirotrópos en la *pars tuberalis* de la hipófisis. En los mamíferos y las aves, las respuestas de fotoperíodo dependen crucialmente de la expresión del ARN para la subunidad  $\beta$  de la tirotropina (TSH $\beta$ ) en la *pars tuberalis* (Nakao *et al.*, 2008) y recientemente se ha descrito un interruptor molecular que regula la transcripción de TSH $\beta$  a través del reloj circadiano; en la *pars tuberalis*, la exposición a un fotoperíodo largo induce la expresión del gen coactivador (EYA3), que maximiza la transcripción de TSH $\beta$  (Dardente *et al.*, 2003). Esto conduce a la expresión de genes

que codifican para la síntesis de enzimas desyodasas (DIO2 y DIO3) que determinan las concentraciones locales de la forma biológicamente activa de hormonas de la tiroides, la triyodotironina (T3), esto eleva a la T3 en sitios específicos neuronales para activar una cascada neuroendocrina tipo fotoperíodo largo para activar al eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (Dardente *et al.*, 2014).

**Prolactina.** Después de la melatonina, la respuesta endocrina más consistente al fotoperíodo en aves y mamíferos es la secreción de Prolactina. El fotoperíodo largo, que induce disminución en las concentraciones séricas de melatonina, impulsa un aumento en las concentraciones séricas de Prolactina, mientras que el fotoperíodo corto está asociado con la disminución de esta hormona en las aves, bovinos y ovinos (Peters *et al.*, 1981; Sreekumar y Sharp 1998; Mikolayunas *et al.*, 2008). La prolactina se secreta en los lactotopos de la *pars distalis* de la adenohipófisis y su secreción es inhibida por la dopamina (Ben-Johnathan y Hnasko 2001), que se produce en las neuronas del hipotálamo y que actúa sobre los receptores situados en los lactotopos. Morgan (2000), propone que la melatonina afecta la síntesis de la prolactina de manera indirecta actuando en la *pars tuberalis* donde en días largos se secreta el “factor liberador de la prolactina” también llamada “Tuberalina”, esta funciona como regulador paracrino dentro de la adenohipófisis (Hazlerigg *et al.*, 1996, Morgan *et al.*, 1996; Morgan 2000) y es suprimida por la melatonina (Johnston *et al.*, 2003).

Una hormona hipotalámica que es un importante secretagogo de la prolactina es la hormona liberadora de la tirotrina (Galas *et al.*, 2009) la cual estimula a los lactotopos a secretarla, mientras la dopamina ejerce una inhibición tónica sobre estas mismas células (Lamberts y MacLeod 1990). La secreción de prolactina contribuye a la regulación temporal del ciclo de muda, la ingesta de alimentos, el metabolismo energético, la actividad gonadal, la gestación y la lactación en diversas especies; es una hormona lactogénica primaria y también es parte integral del desarrollo de la glándula mamaria (Akers 1985; Tucker 1994). Los lactotopos ocupan un porcentaje significativo (20-50%) del componente celular de la

adenohipófisis (Freeman *et al.*, 2000); además la prolactina también se produce en el cerebro, la placenta, el útero y la glándula mamaria, así como algunas células del sistema inmune (Freeman *et al.*, 2000).

En el ganado bovino existe una relación inversa entre las concentraciones sanguíneas de prolactina y su receptor, esto se observa en varios tejidos incluyendo la glándula mamaria, el hígado y los leucocitos (Auchtung *et al.*, 2003); de tal manera que las altas concentraciones de prolactina sanguínea asociados con los días largos reducen la expresión del ARN mensajero de su receptor y esto se asocia con una reducción de la capacidad de respuesta a esta hormona (Auchtung y Dahl 2004). En bovinos, la prolactina es más esencial para la mamogénesis y lactogénesis que para el mantenimiento de la lactación (Koprowski y Tucker 1973) y de acuerdo a Dahl *et al.*, (2000), es la principal hormona responsable de los efectos galactopoyéticos del fotoperiodo. Como ya ha sido demostrado, los días largos aumentan las concentraciones de prolactina circulante en diferentes especies, mientras los días cortos o la administración de melatonina para imitar los días cortos, la disminuyen (Peters *et al.*, 1981; Sreekumar y Sharp 1998; Mikolayunas *et al.*, 2008). Sin embargo, la administración de prolactina exógena no tiene efecto sobre la producción de leche en vacas, ya sea antes o después del pico de lactación (Plaut *et al.*, 1987).

**Factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1).** Dahl *et al.*, (1997) sugieren que los cambios estacionales del IGF-1 en los rumiantes, son impulsados por fotoperíodo. Algunos estudios (Suttie *et al.*, 1992; Collier *et al.*, 2008) muestran evidencia de que los días largos estimulan la secreción de IGF -1 en los rumiantes y proporcionan un posible mecanismo endocrino que explican los efectos del fotoperiodo sobre el crecimiento. Spicer *et al.*, (2007) realizaron un experimento para probar la hipótesis de que los días largos aumentan el IGF-1, expusieron a vaquillas a dos fotoperíodos (8 L o 16 L) durante 4 meses tomando muestras mensuales de sangre para medir IGF-1, y observaron consistentemente mayor IGF-

1 circulante en las vaquillas con 16 h de luz. Por el contrario, si se colocan implantes de melatonina en los animales se suprime la secreción de IGF-1 (Suttie *et al.*, 1992). Así mismo, las respuestas fisiológicas en los animales al fotoperíodo largo son consistentes con los efectos reportados del IGF-1; tal es el caso del incremento en el crecimiento del parénquima mamario y el crecimiento corporal (Petitclerc *et al.*, 1984). Asimismo, en comparación con días cortos, los días largos aumentan la acumulación de tejido magro, que se asocia con concentraciones elevadas de IGF-1 (Elsasser *et al.*, 1989; Tucker *et al.*, 1984).

El aumento de IGF-1, sin embargo, no se debe a un incremento de la hormona del crecimiento, ya que no hay evidencia de que el fotoperíodo altera la liberación de ésta última, ni afecta a la expresión de receptores de GH en el hígado (Dahl *et al.*, 2000; Kendall *et al.*, 2003).

**4.5 Desarrollo de la glándula mamaria** La glándula mamaria es la estructura responsable de la síntesis y la secreción de leche y está formada por el parénquima glandular y el tejido conjuntivo, mezclados en proporciones variables. En forma más detallada se compone de conductos, alvéolos y el tejido de soporte (Akers 2002 Botinaud *et al.*, 2004). Básicamente existen tres tejidos de soporte en la glándula mamaria, la almohadilla de grasa mamaria o “fatpad”, el estroma y el parénquima. La almohadilla de grasa mamaria es tejido adiposo que crece entre los sistemas de conductos (Neville *et al.*, 1998); el estroma es el tejido conectivo que rodea los alvéolos y proporciona soporte estructural y anclaje a la glándula mamaria (Akers 2002) y el parénquima es el tejido secretor que contiene un sistema de conductos y lóbulos que a su vez se componen de varios lobulillos, que incluyen grupos de alvéolos y sus conductos circundantes (Botinaud *et al.*, 2004). Los alvéolos están formados por dos capas de células secretoras epiteliales y son la unidad funcional de la glándula mamaria que sintetizan y secretan leche (Akers 2002).

El desarrollo de la glándula mamaria es un proceso continuo durante toda la vida que comienza cuando el animal es un feto y continúa a través de la edad adulta. Dicho desarrollo se lleva a cabo en fases que se relacionan con la etapa de crecimiento del animal y su estado fisiológico. La mayor parte del crecimiento se lleva a cabo durante la fase de crecimiento alométrico en el período peripuberal y durante la gestación cuando se consigue un 40 a 90% del total del crecimiento (Knight y Peaker 1982). En general el desarrollo de la glándula mamaria se da durante cuatro etapas principales que incluyen la etapa fetal, la etapa pre y pospuberal, la etapa gestacional y la lactancia (Akers 2002). Existe evidencia que indica que el crecimiento mamario durante sus diferentes etapas de desarrollo puede ser influido para afectar marcadamente el potencial futuro de la producción de leche (Tucker 1987; Sejrsen *et al.*, 2000; Capuco *et al.*, 2001).

**4.5.1 Desarrollo prenatal.** Las células epiteliales que dan lugar a las células de los alvéolos mamaros se derivan del ectodermo. La primera señal de formación de la glándula mamaria es la aparición de la banda mamaria que se da como un engrosamiento del ectodermo, que se produce alrededor de 30 días en un embrión bovino (Akers 2002). La banda mamaria luego se convierte en líneas, crestas o brotes mamaros, por la quinta semana del desarrollo embrionario. Las crestas mamaras comienzan a redondearse y madura en la yema mamaria en el día 43 de la gestación. En un feto bovino se observan cuatro yemas mamaras que corresponden a las cuatro glándulas de la ubre (Akers 2002). La formación de las yemas mamaras marca el momento en el que se producen diferentes patrones de desarrollo entre especies y sexos. Después de este momento en el desarrollo del feto bovino, las hembras tienen brotes más pequeños, ovalados y más cerca de la superficie, así como los pezones más puntiagudos y en machos se retrasa el desarrollo mamario en este punto. (Akers 2002).

El parénquima mamario se va desarrollando como una masa compacta (Capuco *et al.*, 2002) y los ductos se alargan paulatinamente durante el crecimiento y el desarrollo hasta formar las unidades ductales terminales (UDT) (Capuco *et al.*,

2002). El mesénquima, por su parte, contiene precursores como fibroblastos muy cerca de la yema mamaria y que son precursores de las células del estroma, y células precursoras de la almohadilla de grasa que se desarrollan al día 80 de vida fetal (Sheffield 1988); además, aparecen células mioepiteliales indiferenciadas. Después de los tres meses de gestación se produce poco desarrollo (Akers 2002) y al nacer están presentes el pezón, un brote primario y varios brotes secundarios (Sheffield 1988). Inicialmente, la porción epitelial de la glándula mamaria crece isométricamente pero a alrededor de los tres meses de edad el crecimiento se vuelve alométrico.

**4.5.2 Desarrollo prepuberal y pospuberal** Desde el nacimiento hasta la pubertad, los animales crecen rápidamente para prepararse para la madurez reproductiva. Aquí el desarrollo mamario se asocia con el desarrollo del sistema de conductos, incremento de tejido adiposo y demás tejido conectivo (Akers 2002).

Antes de los tres meses de edad, el crecimiento de la glándula mamaria se produce a la misma tasa (isométricamente) en comparación con el resto del cuerpo y poco tiempo antes de la pubertad, después de los tres meses de edad, el crecimiento es de tipo alométrico y es estimulado por la actividad del ovario (Johnsson y Hart, 1985; Hovey *et al.*, 2002). Aquí el crecimiento de la glándula mamaria es muy poco en comparación al que se produce más tarde durante la gestación (Akers 2002).

Sinha y Tucker (1969) analizaron el desarrollo del parénquima de vaquillas desde el nacimiento hasta el primer ciclo estral utilizando el contenido de ADN del parénquima como un índice de desarrollo mamario, ellos observaron el crecimiento alométrico en el desarrollo mamario prepuberal de los 3 a los 9 meses de edad.

Sin embargo, la importancia de este período radica en que aquí se establecen las bases iniciales necesarias para el desarrollo adecuado de la glándula mamaria. Un desarrollo inadecuado puede afectar en gran medida la función mamaria y la producción de leche (Berry *et al.*, 2003), pero también es la etapa adecuada donde se puede influir para maximizar la producción de leche en la vida del animal.

Con el inicio de la pubertad y después de los primeros ciclos estrales, el crecimiento alométrico se detiene (Akers 2002). Además, los estrógenos ováricos estimulan el desarrollo del sistema de conductos haciendo que se vuelva más complejo con cada ciclo estral posterior (Tyler y Ensminger 2006). Durante este tiempo de desarrollo, a pesar de que el sistema de conductos se hace más complejo, el crecimiento y desarrollo del sistema lóbulo-alveolar es mínimo (Hovey *et al.*, 2002). Además de los estrógenos ováricos, la hormona del crecimiento también estimula el desarrollo mamario en sinergia con ellos (Hovey *et al.*, 2002). Aunado a ello, algunos factores de crecimiento también están involucrados en el proceso de la morfogénesis del parénquima en la glándula mamaria, tal es el caso del factor de crecimiento transformante (TGF-1) y el IGF-1 cuyas interacciones proporcionan el control estimulante e inhibidor de la proliferación celular en la glándula mamaria (Plaut *et al.*, 1993).

**4.5.3 Desarrollo durante la gestación** El desarrollo del epitelio mamario es dramático durante la gestación (50 a 95 % del total) (Knight y Peaker 1982). Al Principio las células epiteliales proliferan para llenar los espacios interductales entre la almohadilla de grasa con el aumento y ramificación de los conductos y la formación de las estructuras lobuloalveolares (Akers *et al.*, 2006). Las células mioepiteliales rodean a los alvéolos y conductos terminales. En esta etapa se producen muy pocas estructuras glandulares, pero las células son sometidas a una gran diferenciación estructural y bioquímica con organelos claramente evidentes, vesículas secretoras y gotas lipídicas. Todo esto bajo la interacción entre los diferentes perfiles hormonales que ocurren durante la gestación.

## 5. ARTÍCULO PUBLICADO: 16 HOURS PHOTOPERIOD IN HOLSTEIN HEIFERS IN THE SUBTROPICS: EFFECTS IN DEVELOPMENT AND AGE TO FIRST ESTRUS



Valenzuela-Jiménez et al.  
Photoperiod in dairy heifers  
2(4):53-67,2015

### 16 HOURS PHOTOPERIOD IN HOLSTEIN HEIFERS IN THE SUBTROPICS: EFFECTS IN DEVELOPMENT AND AGE TO FIRST ESTRUS

#### Fotoperiodo de 16 horas en vaquillas Holstein en el subtrópico: Efectos en el desarrollo y edad a primer estro

<sup>1</sup>Nicolás Valenzuela-Jiménez, <sup>3</sup>Karla Rodríguez-Hernández, <sup>2</sup>Joel Hernández-Cerón, <sup>3</sup>Héctor Vera-Ávila, <sup>3</sup>Gregorio Núñez-Hernández, <sup>1\*</sup>Alejandro Villa-Godoy

<sup>1\*</sup>Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 04510.

<sup>2</sup>Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

\*aavillagodoy@gmail.com

Artículo científico recibido: 2 de julio de 2013, aceptado: 4 de agosto de 2014

**ABSTRACT.** Both growth and milk production in heifer calves are stimulated by a long photoperiod, though this has not been proven yet in subtropical areas. To evaluate the effect of 16 hr of light (L16) on calves suckling (LAC) and/or pre-pubertal stages (PP) in a subtropical area, 325 calves ( $36 \pm 0.4$  kg) were randomized into two groups: L16 or natural photoperiod (LNAT). At seven months of age, 198 of these calves ( $195 \pm 2$  kg) were randomly assigned to L16 or LNAT. The following were determined at the beginning and end of LAC and PP stages: Weight (PC, kg), height (AC, cm), thickness of back-fat (GG, cm) and of *Longissimus dorsi* (LD, cm); pelvic area (AP, cm<sup>2</sup>), body condition (CC), age at first estrus, mammary gland depth (PGM, cm) and width (AGM, cm). The statistical analysis was made using ANOVA for a 2 X 2 factorial arrangement. At the end of LAC, GG was lower and LD greater in L16 animals, while, at the end of PP, L16 heifer calves had a greater PC ( $260 \pm 3$  vs  $250 \pm 3$ ), AP ( $166 \pm 1.2$  vs  $153 \pm 1.2$ ), LD ( $3.18 \pm 0.04$  vs  $2.90 \pm 0.04$ ), and AGM ( $2.41 \pm 0.02$  vs  $2.21 \pm 0.02$ ), but a lower GG ( $0.114 \pm 0.003$  vs  $0.139 \pm 0.003$ ) as compared to LNAT heifer calves. More L16 animals (67 %) presented estrus versus LNAT (38 %) and the age of the first estrus was lower in L16 ( $278 \pm 2$  vs  $288 \pm 2$  d). Consequently, exposure to L16 during LAC promotes lean growth while lean growth and a bigger pelvis and mammary gland are prompted during PP. Hence, it may be concluded that PP heifer calves exposed to L16 have a higher production potential and lower risk of dystocia than LNAT animals.

**Key words:** Photoperiod, development, heifers calves, estrus, subtropics.

**RESUMEN.** En vaquillas el fotoperiodo largo estimula el crecimiento y la producción láctea, pero esto no se ha probado en áreas subtropicales. Para evaluar el efecto de 16 h luz (L16) durante la lactancia (PW) y/o la etapa prepuberal (PP) en un área subtropical, 325 becerras ( $36 \pm 0.4$  kg) fueron distribuidas a: L16 ó fotoperiodo natural (LNAT). A los siete meses de edad, 198 de esas becerras ( $195 \pm 2$  kg) se asignaron aleatoriamente a L16 y LNAT. Al inicio y final de PW y PP se determinó: peso (PC, kg), altura (AC, cm), grosor de grasa dorsal (GG, cm) y del músculo Longissimus dorsi (LD, cm); área pélvica (AP, cm<sup>2</sup>), condición corporal (CC), edad al primer estro, profundidad (PGM, cm) y anchura (AGM, cm) de la glándula mamaria. El análisis estadístico fue por ANDEVA para arreglos factoriales 2X2. Al final de PW, GG fue menor y LD fue mayor en L16. Al final de PP, las vaquillas L16 tuvieron más PC ( $260 \pm 3$  vs  $250 \pm 3$ ), AP ( $166 \pm 1.2$  vs  $153 \pm 1.2$ ), LD ( $3.18 \pm 0.04$  vs  $2.90 \pm 0.04$ ) y AGM ( $2.41 \pm 0.02$  vs  $2.21 \pm 0.02$ ), pero menos GG ( $0.114 \pm 0.003$  vs  $0.139 \pm 0.003$ ) que las de LNAT. Más vaquillas L16 (67 %) presentaron estro que LNAT (38 %) y la edad al primer estro fue menor en L16 ( $278 \pm 2$  vs  $288 \pm 2$  d). Consecuentemente, la exposición a L16 durante PW promueve crecimiento magro y durante PP induce crecimiento magro, mayor pelvis y glándula mamaria. Se concluye que vaquillas PP expuestas a L16 tienen mayor potencial productivo y menor riesgo de distocia que las LNAT.

**Palabras clave:** Fotoperiodo, desarrollo, vaquillas, estro, subtrópico.

www.ujat.mx/era

53

## INTRODUCTION

The generation of replacement heifers is a key operation to achieve maximum efficiency in milk production systems because it represents the second largest economic cost, only below the cost of feeding dairy cows (Heinrichs 1993, Vandehaar 2001). The rate of weight gain is very important to ensure the weight, age and body composition suitable for reproduction and for optimal mammary development (Sejrsen *et al.* 1982, Zanton and Heinrichs 2005). The development of the mammary gland can be affected by environmental factors, the most prominent being nutrition and photoperiod, which determine the expression of the genetic potential of the heifers (Sejrsen *et al.* 2000, Dahl and Petitclerc 2003, Collier *et al.* 2006).

Photoperiod manipulation can be a useful tool to increase production efficiency in cattle; in some studies conducted in countries geographically situated between 37 ° and 62 ° N (Dahl *et al.* 2000, Dahl and Petitclerc 2003, Auchtung *et al.* 2005), it has been proved that a light regime of 16 h of light and eight of dark, applied during lactation to Holstein cows, increases milk production by 12 to 15 %, compared with a system of eight hours of light and 16 h of darkness. Regarding prepubertal heifers, a 16 h of light regimen held for 270 d, advanced the onset of puberty and increased the height and the mammary gland development in comparison with animals kept in 16 h of darkness (Rius *et al.* 2005, Rius and Dahl 2006). Likewise, heifers exposed to a long photoperiod had an increased growth rate and height, and exhibited a lean format of growth and a higher milk production in their first lactation compared to animals exposed to a short photoperiod (Tucker *et al.* 1984, Rius *et al.* 2005, Rius and Dahl 2006). Endocrine mechanisms, regulating growth and milk production as a response to long photoperiod in bovines, are becoming clearer, however the information is still fragmentary. In cattle, as in most of the mammals studied, the response to photoperiod is dependent on melatonin secretion from the pineal gland (Lincoln *et al.* 2003), also called photoperiod hormone (Goldman 2001), which indirectly influences secretion of growth hormone

(GH) (Kendall *et al.* 2003, Jin *et al.* 2012) and prolactin besides modulating endocrine effects that affect growth, reproduction and lactation (Lincoln *et al.* 2003). After melatonin, the more consistent endocrine response caused by the photoperiod is the prolactin secretion (Dahl *et al.* 2000, Lincoln *et al.* 2003), increasing during the long days and decreasing during the short days (Peters *et al.* 1980, Dahl *et al.* 2000, Freeman *et al.* 2000). Cows and heifers exposed to 16 h of light also increase their serum concentration of the growth factor similar to insulin type 1 (IGF-1) (Dahl *et al.* 1997, Akers *et al.* 2005, Spicer *et al.* 2007), which is an essential component of multiple systems of body growth and metabolism regulation during pre and postnatal periods (Le Roith *et al.* 2001) as well as the mammary gland development (Akers *et al.* 2005). The increase of circulating IGF-1 caused by the long photoperiod is independent of GH (Dahl *et al.* 2000) and of the expression of GH receptors in the bovines' liver cells (Kendall *et al.* 2003) Evidence show that increments in the circulating IGF-1 an indirect action of prolactin which inhibits expression of the binding protein to IGF -1 number 5 (IGFBP-5) in liver (Rosato *et al.* 2002) and mammary gland (Accorsi *et al.* 2002, Dahl and Petitclerc 2003), which prevents the IGF-1 to exert its positive effects on cell proliferation, gene expression of casein and glucose transporters and apoptosis inhibition (Flint *et al.* 2005). The effects of the long photoperiod, raise of prolactin and IGF-1 circulating levels and the decrease of IGFBP-5, induce a higher bone and skeletal muscle growth (Salih *et al.* 2004) along with mammary development with a high proportion of parenchyma than stroma (Petitclerc *et al.* 1985, Tonner *et al.* 1997).

Previous studies of the effects of long photoperiod in dairy cows and heifers have been made in latitudes between 37 ° and 62 ° N (Dahl *et al.* 2000, Auchtung *et al.* 2005), where differences in the natural photoperiod duration are remarkable between summer and winter months. In the Laguna region of Coahuila, located at 26° 23'N (subtropical region), it was demonstrated that the 16 h light regime increased by 25 % the milk production in adult goats (Flores *et al.* 2011); consequently, it

is also possible that the difference between 16 h light and natural photoperiod in this region is perceived by the brain of bovines, which reacts by adjusting physiological mechanisms that promote accelerated and lean body growth, as well as a higher mammary gland development. With this, the animals would have increased production in their first lactation. In this process the attention is focused in two critical periods of development: the preweaning and prepubertal stages. It has been proven that during the preweaning period the development can be induced preferentially towards further growth of the parenchyma in relation to adipose tissue by increasing the levels of protein and energy in the diet (Brown *et al.* 2005); in contrast, in prepubertal stages, when there is an accelerated growth of milk ducts and the terminal duct units, structures that are the precursors of the lobule-alveolar system (Capuco and Ellis 2013), the energy and protein rise in diet, promotes mammary growth towards a higher adiposity (Brown *et al.* 2005). However, a photoperiod of 16 h exposure induced development of the mammary parenchyma (Petitclerc *et al.* 1985) in prepubertal calves and heifers that were cycling.

To date, in the available scientific information, there have not been found any cows or heifers works done in tropical or subtropical regions where the effects of long photoperiod on mammary growth and development are assessed. Therefore, the aim of this study was to determine the effects of a light regime of 16 h light, held for 60 consecutive days, during preweaning and/or prepubertal periods, on body and mammary development and the age at first estrus of replacement Holstein calves, in a region of the Mexican subtropics.

## MATERIALS AND METHODS

The procedures performed in this study were approved by the Institutional Subcommittee on Care and Use of Animals in Experimentation (Graduate Program, Faculty of Veterinary Medicine, UNAM).

The study was conducted on a dairy farm in the municipality of Gómez Palacio, Durango, located at 25° 41' 42" N and 103° 27' 43" O, and was carried out in two stages:

**Preweaning stage (PW).** 325 newborn Holstein calves were sheltered in a completely covered maternity pen with wind protective curtains. The facility has 450 individual cages equipped with bucket racks for two pails in which milk and water are provided. In addition, the cages contain an automatic feeder for forage and concentrate. The cages have slatted floor with comfortable rubber mats, with holes that allow the passing of calves ejections to lower pits, which are washed by flushing water. Calves were assigned according to a random block design to two treatments (block criteria: group of calves entering the maternity area within a period of 40 d): a) Extended photoperiod of 16 h light (L16, n = 163), and b) Natural photoperiod (LNAT, n = 162) (Figures 1 and 2). The place was divided using tarps that prevented the passage of light from the lamps used in the subdivision of the calves of L16 to the subdivision that housed animals in LNAT; LNAT animals were kept with natural light for 60 d (birth to weaning), while those of L16 received additional light for the same period. In the area of the maternity pen that housed calves in L16, "Metal-Halide" lamps (mixture of vaporized gases of mercury with bromine or iodine) were installed, illuminating the entire area with at least 450 lux for 16 h d<sup>-1</sup>, measured to the eye level of the animals regardless of their position (Rius and Dahl 2006). The evening lighting of the lamps were scheduled daily to complete 16 h of light. The daily duration of h light (Figure 1) for the latitude of the experimental site was taken from an online software for photoperiod calculation (Lammi 2011) and the lamps were programmed to light 0.5 h before the time set as the twilight, in order to ensure that the natural light would not decline below 150 lux, lowest intensity limit of detectable light for cattle (Dahl, 2005). In both sections, at the beginning and every third day of the experiment, measurements of the lux units were made by the use of a light meter (LT-1108 Lutron Electronic Enterprise Co. Taiwan). Measurements were made immediately before and after the lighting of lamps and at 22:00 h. For routine monitoring of calves at night, a hand lantern with infrared light (less than 5 lux) was used because it has not effects effects in animals (Drouyer *et al.* 2007).

Calves feeding was performed according to the barn management program; immediately after birth and 12 h later, the calves consumed at least two litres of pasteurized colostrum (post-pasteurization concentration of immunoglobulins  $> 50 \text{ g L}^{-1}$ ). From the second day after birth and until weaning, calves of both treatments were fed with four liters of pasteurized milk per day. From day five of life, animals received ad libitum water and calf starter (27.67 % of crude protein, 2.95 % of crude fat and 2.83 Mcal  $\text{kg}^{-1}$  of metabolizable energy; Nuplen® SA de CV, Santiago Papasquiaro, Gómez Palacio, Durango, Mexico).

**Prepubertal stage (PP).** Approximately at seven months of age (230-250 d), 198 of the animals used in PW were randomized into two barnyards, one with L16 and the other with LNAT, according to a  $2 \times 2$  factorial arrangement (two physiological stages: PW and PP; two photoperiod: L16 and LNAT), leaving in each of the two PP groups the 50 % of animals that during PW were exposed to L16 and the rest 50 % that during PW remained on LNAT. Consequently, the treatment combinations were LACL16-PPL16, LACL16-LNAT, LACL16-PPL16 and LACL16-LNAT. Both PP groups were divided into two treatments for 60 d: a) Artificial Photoperiod of 16 h light (L16;  $n = 99$ ), and b) Natural Photoperiod (LNAT;  $n = 99$ ).

The barnyards had enough space to reduce the social competition between heifers and they were 30 m apart from each other. The barnyard where LN heifers were housed was all the time under LN and the barnyard for heifers in L16 was entirely lit using "Metal Halide" lamps, providing at least 450 lux from the roof to a height of 20 cm above the soil surface. As in PW, lamps were programmed to turn on for the required amount of hours to complete 16 h of light per day according to the data obtained from the natural photoperiod of Lammi (2011) (Figure 2). Twice a day it was offered the same integral ration to both groups, which consisted of sorghum silage, corn stover, alfalfa hay, canola paste and mineral salts mix. Heifers remained 60 d under the described treatments.

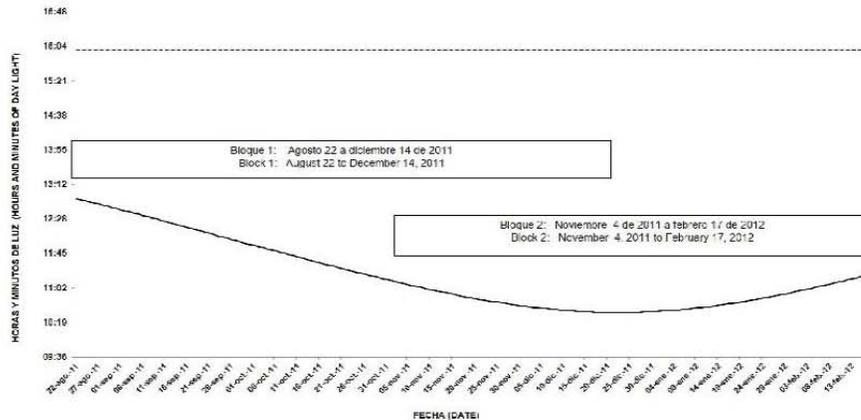
In both stages, PW and PP, it was recorded

the height at the withers (WH) and body weight (BW) at the start and end of the photoperiod treatment (Rius *et al.* 2005). With the same frequency the thickness of the backfat (BFT) and the depth of the Longissimus dorsi muscle (LD) was recorded by ultrasound (Titan-SonoSite ©, SonoSite Inc. USA; sectorial probe of 5-10 Mhz) at the intersection of the thoracic and lumbar regions (Bailey *et al.* 1986). To determine the effects of light on mammary development, the right rear quarter of the udder was examined by ultrasonography (Franz *et al.* 2004), where depth (MGD) and width (MGW) of the gland were recorded. Additionally, the pelvic growth in heifers was evaluated by using a Rice pelvimeter (Rice Pelvimeter, Lane Manufacturing Inc. USA) to calculate the pelvic area (PA) (Van Donkersgoed *et al.* 1990), and body condition was measured (BC, scale of one to five), using the proposed scale by Edmonson *et al.* (1989).

Age at first estrus was determined as an indicator of the beginning of puberty, by observing and recording behavioural signs of it (0600-0800 and 1800-2000 h). Estrus detection was carried out daily by a single person from the beginning to the end of the light treatments and as a heat detection aid crayon labeling on the tail head of heifers was used. Heifers which stood for mounting by a partner for at least three seconds, were considered in estrus; all of the heifers identified in estrus by the method of crayon were detected in estrus by the observer. Furthermore, the daily feed intake (DFI) was estimated by barnyard and individual daily weight gain (DWG) was calculated.

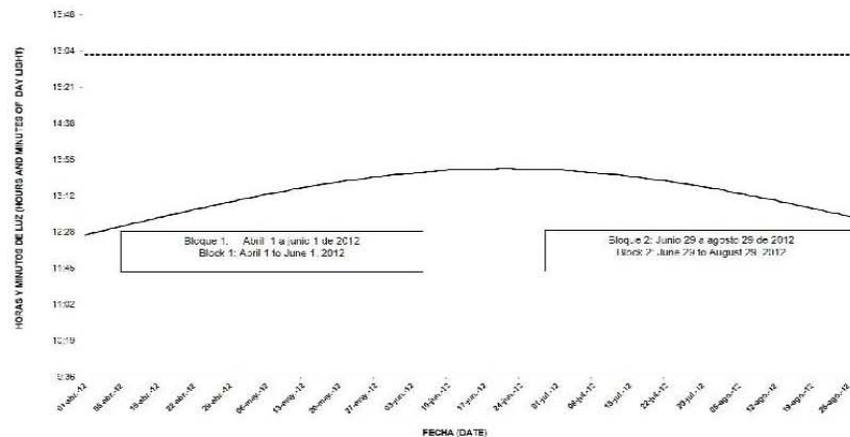
#### Data analysis

Statistical analysis of the response variables recorded in PW was performed using an analysis of variance for randomized block designs. For this, the GLM procedure of SAS statistical software (SAS 2009) was used. Data from feed intake in PW calves were analysed by analysis of variance for split plot designs with repeated measures in time; for this it was applied the MIXED procedure of SAS statistical software.



**Figure 1.** Natural photoperiod (solid line) at the farm where the study was performed ( $25^{\circ} 41' N$ ,  $103^{\circ} 27' W$ ), during intervals of calves exposure to 16 h light (segmented line) or natural photoperiod. In insets dates of entrance (birth) and exit (weaning) of animals to exposure to light regimes are shown. Animals were grouped in two random blocks (rectangles).

**Figura 1.** Fotoperiodo natural (línea continua) en el establo donde se efectuó el experimento ( $25^{\circ} 41' N$ ,  $103^{\circ} 27' O$ ), durante los períodos de exposición de becerras a un régimen de 16 h (línea segmentada) luz o fotoperiodo natural. En los rectángulos se indican las fechas de inicio (nacimiento) y fin (destete) del período de exposición de los animales a los regímenes de luz. Las becerras ingresaron al estudio en dos bloques completos al azar.



**Figure 2.** Natural photoperiod (solid line) at the farm where the study was performed ( $25^{\circ} 41' N$ ,  $103^{\circ} 27' W$ ), during the exposure of prepubertal heifers to a 16 h light regime (segmented line) or natural photoperiod. In insets dates of entrance ( $233 \pm 20$  d old) and exit ( $293 \pm 20$  d old) of animals to the experiment are shown. Animals were grouped in randomized blocks (rectangles).

**Figura 2.** Fotoperiodo natural (línea continua) en el establo donde se efectuó el experimento ( $25^{\circ} 41' N$ ,  $103^{\circ} 27' O$ ), durante los períodos de exposición de vaquillas prepúberes a un régimen de 16 h luz (línea segmentada) o fotoperiodo natural. En los rectángulos se muestra la fecha de ingreso ( $233 \pm 20$  d de edad) y salida ( $293 \pm 20$  d de edad) de los animales al experimento en forma de bloques completos al azar.

## RESULTS

### LAC stage

At the moment of birth there was no difference ( $p > 0.05$ ) between groups. At weaning BFT was lower ( $p < 0.001$ ), but LD and the conversion efficiency were higher ( $p > 0.001$ ) in calves LAC-L16 (Table 1). The average daily intake of calf starter of calves in LAC-LNAT was higher ( $p = 0.0011$ ).

### PP stage

At the beginning of the second exposure to the regimen of light ( $233 \pm 20$  d of age), there were differences ( $p < 0.05$ ) for BC, PA and BFT, that is why those values were used as covariates to analyse the corresponding data recorded at the end of the PP period ( $293 \pm 20$  d of age). At the PP end, L16 heifers had more ( $p < 0.05$ ) BW, LD, PA y MGW, but less ( $p < 0.05$ ) BFT than LNAT heifers (Table 2).

Feed intake per barnyard during PP was similar ( $p > 0.05$ ) in both groups, being the average intake of all the heifers of  $15.44 \pm 0.13$  kg d<sup>-1</sup> (wet base). Meanwhile, it was observed that the age of the first heat occurred earlier ( $p < 0.05$ ) in heifers in L16 ( $278 \pm 2$  d) than in heifers of LNAT ( $288 \pm 2$  d); furthermore, within the L16 group a bigger percentage ( $p < 0.05$ ) of the heifers (67 %; 67/99) had their first estrus during the 60 d of the light treatment, in comparison with the animals in LNAT (38 %; 38/99). Finally, when performing the analysis according to the factorial arrangement, no significant interactions were found ( $p > 0.05$ ) between growing stages (LAC and PP) and photoperiod treatments (L16 and LNAT) in any of the response variables studied.

## DISCUSSION

During PW, the final weight was similar between groups, observation that differs from what was found by Osborne *et al.* (2007), who documented that Holstein calves from 1 to 8 weeks of age exposed to 18 h light, were heavier than calves maintained under 10 h light. The contrasting

results between the present study and that of Osborne *et al.* (2007) could have been due to different ambient temperatures that prevailed in the studies, since ours began in fall whereas Osborne *et al.* (2007) initiated in summer, and it was documented that prolactin release increases during spring and summer but declines during fall and winter (Peters and Tucker 1978), regardless of a similar but mechanistically independent effect induced by seasonal variations in temperature (Wetteman *et al.* 1982); consequently, the previously mentioned effects of prolactin on IGFBP-5 and IGF-1 could be negligible in calves in the present study relative to those observed in Osborne *et al.* (2007). That is possible because in this experiment the recorded temperatures were as low as 6 °C, whereas in Osborne *et al.* (2007) animals were maintained under constant temperature of 20 °C; relative to this effects, Yaegashi *et al.* (2012) reported that prolactin was secreted at a lower rate in goats exposed to L16 and at 5 °C than goats at similar light regime but at 20 °C. In contrast with the difference in body weight, height of animals in this and Osborne *et al.* (2007) studies was not affected by photoperiod during PW, thus the only two published works conducted in preweaned calves, this and Osborne *et al.* (2007), indicate that L16 increases does not affect height in the subtropics or any other latitude during the first two months of the calves life; however, both studies with preweaned calves indicate that exposure to L16 increases the efficiency in nutrients utilization, since in the present experiment calves under L16 recorded higher body weight gain by unit of calf starter intake than in Osborne *et al.* (2007). Exposure to L16 induced a greater ADG than in calves maintained in a short photoperiod. The highest feed efficiency evoked by the long photoperiod in preweaned animals has been associated with a faster rumen development, as it was evidenced by the early increased concentration of blood volatile fatty acids and higher ACG in calves exposed to L16 (Osborne *et al.* 2007). Similarly, seasonal variations were observed in gastrointestinal structures and their functions, as well as in patterns of nutrients absorption (Rhind *et al.* 2002), changes that may contribute to variations in metabolism, hormonal signaling ac-

**Table 1.** Body measurements of heifer calves at the beginning (birth) and end (weaning) of exposure to 16 h light (L16) or natural photoperiod (LNAT).

**Tabla 1.** Mediciones corporales de beceras al inicio (nacimiento) y final (destete) del período al que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o a fotoperiodo natural (LNAT).

|                           | Birth       |             | Weaning                  |                          |
|---------------------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
|                           | L16         | LNAT        | L16                      | LNAT                     |
| Weight, kg                | 36.800±0.40 | 36.800±0.40 | 69.700±0.500             | 68.100±0.900             |
| Height to the withers, cm | 75.500±0.30 | 75.100±0.30 | 86.900±0.200             | 86.400±0.300             |
| Dorsal fat, cm            | 0.076±0.02  | 0.078±0.08  | 0.061±0.001 <sup>a</sup> | 0.075±0.001 <sup>b</sup> |
| Muscle depth, cm          | 1.820±0.30  | 1.810±0.30  | 2.680±0.020 <sup>a</sup> | 2.560±0.030 <sup>b</sup> |
| ADG, kg                   | -           | -           | 0.541±0.009              | 0.555±0.009              |

<sup>a,b</sup> Different literal in the line, between treatments and in the period, indicates statistic difference ( $p < 0.001$ ).

**Table 2.** Body measurements in prepuberal heifers at the beginning ( $233 \pm 20$  d of age) and end ( $293 \pm 20$  d of age) of exposure to 16 h light (L16) or natural photoperiod (LN).

**Tabla 2.** Mediciones corporales de vaquillas prepúberes al inicio ( $233 \pm 20$  d de edad) y al final ( $293 \pm 20$  d de edad) de un período de exposición a 16 h luz (L16) o fotoperiodo natural (LNAT).

|                              | Beginning                     |                              | End                          |                              |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                              | L16                           | LN                           | L16                          | LN                           |
| Weight, kg                   | 195.000 ± 2.000               | 195.000 ± 2.000              | 260.000 ± 3.000 <sup>a</sup> | 250.000 ± 3.000 <sup>b</sup> |
| Height, m                    | 1.0800 ± 0.003                | 1.080 ± 0.003                | 1.170 ± 0.002                | 1.170 ± 0.002                |
| Pelvic area, cm <sup>2</sup> | 141.1000 ± 1.100 <sup>a</sup> | 133.200 ± 1.100 <sup>b</sup> | 166.900 ± 1.200 <sup>a</sup> | 153.100 ± 1.200 <sup>b</sup> |
| Body condition, point        | 2.7000 ± 0.020 <sup>a</sup>   | 2.600 ± 0.020 <sup>b</sup>   | 2.600 ± 0.020                | 2.600 ± 0.020                |
| Dorsal fat, cm               | 0.1130 ± 0.002 <sup>a</sup>   | 0.122 ± 0.002 <sup>b</sup>   | 0.114 ± 0.003 <sup>a</sup>   | 0.139 ± 0.003 <sup>b</sup>   |
| Muscle depth, cm             | 2.8800 ± 0.020                | 2.880 ± 0.020                | 3.180 ± 0.040 <sup>a</sup>   | 2.900 ± 0.040 <sup>b</sup>   |
| Mammary gland depth, cm      | 0.5400 ± 0.006                | 0.540 ± 0.006                | 0.550 ± 0.005                | 0.550 ± 0.005                |
| Mammary gland width, cm      | 2.0000 ± 0.030                | 2.000 ± 0.030                | 2.410 ± 0.020 <sup>a</sup>   | 2.210 ± 0.020 <sup>b</sup>   |

<sup>a,b</sup> Different literal between columns, within the period, indicates statistic difference ( $p < 0.05$ ).

tions along with the interpretation of these signal at the neuronal centers that regulate voluntary intake. Relative to this, evidence exist that the hypothalamus receives information associated with the organism nutritional and metabolic conditions via signals from peripheral tissues such as insulin, leptin, ghrelin (Sartin *et al.* 2011), adiponectin (Alonso-Vale *et al.* 2009) and several intestinal peptides (Konturek *et al.* 2011). Associated with the activation or inhibition of the orexigenic and anorexigenic pathways at brain level (Valassi *et al.* 2008), which could explain at least partially, the lower feed intake during PW period in calves exposed to 16L relative to those of under LNAT. On the other hand, GH, IGF-1 and prolactin have been implicated in promoting gastrointestinal growth in non-ruminant animals (Rhind *et al.* 2002); indeed, it has been demonstrated the expression of receptors for IGF-1 in the intestine of mice (Dong *et al.* 2011), as

well as for GH and prolactin in all segments of the intestinal epithelium of humans, rabbits and rats (Nagano *et al.* 1995), findings that permit to suggest regulatory actions of these hormones as a result of photoperiodic variations at gastrointestinal level. Moreover, the documented profound effects of photoperiod on development and functions of the gastrointestinal tract (Rhind *et al.* 2002, Konturek *et al.* 2011), makes feasible to propose effects of melatonin as an activator of peripheral oscillators at stomach, liver and other digestive organs level, as well as an inhibitor of oxidative and nitrosative stress, actions that affect intestinal motility, gastric secretions, proliferation of gastroenteric epithelium, production of digestive enzymes, nutrient transport across small intestine epithelium, as well as modulation of the immune system inherent to the gastrointestinal tract (Konturek *et al.* 2011). The results of this study along with others (Peters *et al.* 1980,

Petitclerc *et al.* 1983), where weaned, prepubertal heifers exposed to L16 had a higher feed efficiency than heifers under shorter photoperiod regimes, provide bases to propose that an extended photoperiod is an effective management tool to modify the metabolism in PW calves and PP weaned heifers in such a way that growing becomes a more efficient process under conditions that prevail in subtropical regions or in localities situated north of the Tropic of Cancer, by altering the physiological mechanisms discussed in the previous paragraph. It is convenient to emphasize that L16 promoted lean growth in PW and PP animals despite variations on natural photoperiod (Figures 1 and 2), thus within the photoperiod range in the locality, additional light seems to be a sufficient stimulus to trigger mechanisms that direct toward a lean growth format from fall through summer.

Regarding the PP stage, several workers reported that exposure to a long photoperiod, relative to natural photoperiod or exposure to 8 h light, promotes growth in Holstein heifers (Peters and Tucker 1978, Petitclerc *et al.* 1983, Tucker *et al.* 1984, Zinn *et al.* 1986, Rius and Dahl 2006), consequently, the information in this work relative to the BW increment in heifers is in agreement with data previously published over the effects of L16 in locations above the Tropic of Cancer; our findings allow to say that the effects of a long photoperiod are exerted similarly in subtropical areas than in latitudes above 37° N.

In this study it was observed that relative to natural photoperiod, L16 modified body growth composition, since that light regime reduced the back fat depth and increased density of the Longissimus dorsi muscle during PW and PP stages. To our knowledge, there is no precedent on the influence of L16 in preweaned calves body composition; However in PP weaned heifers some conflicting result have been reported, for instance while Petitclerc *et al.* (1984) found that L16 promotes protein accretion in skeletal muscle and 8 h light increased fat deposition, Zinn *et al.* (1986) observed a similar L16 effect in muscle exclusively in pubertal but not in prepubertal heifers. Therefore, data from the present study give support to the findings of Petit-

clerc *et al.* (1984) and provide evidence to propose that exposure of prepubertal heifers to L16 promotes lean body growth from birth to at least nine months of age. On the other hand and according to our knowledge, this is the first time that the positive effect of L16 on pelvic area, an important characteristic associated with the maternal calving ease trait. Potentially the influence of exposure to an extended light regime may reduce the probabilities of dystocia at first calving. What are the physiological mechanisms that mediate effects of L16 on pelvic area. It has been determined that lengthening the daylight increases the circulating levels of IGF-1 in Holstein cows and heifers (Akers *et al.* 2005, Dahl *et al.* 1997). Likewise it was established that the concentration of plasma prolactin rises as length of the daytime period is increased (Peters *et al.* 1980, Dahl *et al.* 2012). The interaction of these two hormones along with the reduction of IGFBP-5 in blood and several body tissues is the main mechanism proposed in this study, as responsible for the changes in body composition and the bone increment (pelvis area) observed in animals. It is known that IGF-1 is a protein that promotes growth and remodeling of bone (Canalis 1993), and participates in modulating cell survival as well as development of tissues such as muscle and mammary gland parenchyma (Coolican *et al.* 1997, Akers *et al.* 2005). Other researchers found that IGF-1 stimulates bone formation, by regulating proliferation, differentiation and survival of osteoblasts (Grey *et al.* 2003). In support of this, bone formation is severely compromised in mice with a disrupted IGF-1 gene (Liu *et al.* 1993). A key component in the regulatory role of IGF-1 actions in bone and muscle is IGFBP5. For example, transgenic mice overexpressing IGFBP5 compared with wild type mice, had a reduced litter size and the surviving offspring had a lower birth weight and a reduced growing rate; likewise pups of overexpressing IGFBP5 mice had a retarded skeletal muscle development (Salih *et al.* 2004) as well as deficiencies in bone volume and density (Devlin *et al.* 2002). In turn, prolactin inhibits synthesis and release of IGFBP5 in several tissues (Tonner *et al.* 1997), promoting with this action a greater availability of circulating and lo-

cal IGF-1, and a reduction of the negative effects exerted by IGFBP5 in tissues which are described below.

As for mammary gland development, in the present work L16 heifers had a greater width than animals under natural photoperiod, indicating that the long photoperiod induces mammary growth. It can be speculated that long photoperiod induces mammary growth by privileging growth of parenchyma over adipose tissue, as it promotes lean body growth. This is possible because Petitclerc *et al.* (1985) demonstrated that exposition to L16 promotes a greater growth of parenchyma over adipose tissue in mammary gland of pre and post pubertal heifers, than in animals under eight h light. Again an interaction of IGF-1, IGFBP-5 and prolactin plays an important role in this effect of long photoperiod, in which IGF-1 promotes proliferation while inhibits apoptosis of mammary cells (Akers *et al.* 2005 Capuco *et al.* 2003), whereas IGFBP-5 sequesters IGF-1 in circulating blood and mammary gland preventing its binding to specific receptors in mammary tissues, thus avoiding the positive effects of IGF-1 described above. Besides, IGFBP-5 exerts a negative effect at mammary cells level by stimulating synthesis of proapoptotic molecules and by inhibiting actions of antiapoptotic agents in parenchymal and stromal cells (Flint *et al.* 2005); meanwhile prolactin inhibits these negative effects and enhances the positive IGF-1 actions by reducing IGFBP-5 synthesis in several tissues (Tonner *et al.* 1997). To provide further support to our speculation, information relative to mammary growth composition in heifers under L16 or natural photoperiod is currently under study. In a different line of thought, the higher percentage of heifers in estrus and the reduction of age to first estrus in response to exposure to 16 h light observed in this study provides evidence in support to a previous experiment carried out at 40° N in which exposure to L16 advanced puberty significantly in Holstein heifers (Rius *et al.* 2005). Therefore, the observed effects of L16 here, resemble those reported in latitudes  $\geq 40$  N relative to the initiation of reproductive activity despite cattle is considered non-seasonal breeders. The advancement of puberty in heifers ex-

posed to 16 h light, documented in this study and in that of Rius *et al.* (2005), is a phenomenon understood partially, because long photoperiod despite reducing the deposition of adipose tissue, increases circulating levels of leptin in cattle (Dahl *et al.* 2000 Bernabucci *et al.* 2006), hormone thought to be a signal of somatic maturity and it was proposed by some authors as a triggering factor of puberty (Petitclerc *et al.* 1983, Sejrsen 1994). However, there is evidence that leptin can also be produced by bovine mammary epithelial cells, phenomenon that is regulated at least partially by IGF-1 (Smith and Sheffield 2002). Thus, the increase of IGF-1 as a result of exposure of animals to supplementary light, could be one of the factors involved in the advancement of puberty, because it was observed that the highest luteinizing hormone (LH) response to exogenous kisspeptin, a secretagogue of gonadotrophin releasing hormone (GnRH) and through this of LH (Roa and Tena-Sempere 2010), was observed in prepubertal heifer calves that had the highest circulating levels of IGF-1 but not of leptin (Santos *et al.* 2014). The fact that the sustained increase in pulsatile secretion of GnRH and LH determines the first ovulation and estrous cyclicity in prepubertal females (Roa and Tena-Sempere 2010), makes possible the proposal of Santos *et al.* (2014), and Pinilla *et al.* (2012) that IGF-1 is an indicator of somatic maturity that trigger puberty, among other factors mentioned above such as leptin, adiponectin, insulin, ghrelin, glucocorticoids and estradiol (Roa and Tena-Sempere 2010, Pinilla *et al.* 2012, Tsang *et al.* 2014). Because in the present experiment exposure to L16 induced quantitative and qualitative changes in body growth as well as the advancement of puberty and mammary development in heifer calves, it is adequate to recognize that mammals possess systems, known as biological clocks, that detect changes in the external environment which also allows them to anticipate predictable environmental variations with an approximate duration of 24 h (circadian cycles): Adaptation of mammals with long biological cycles to these circadian cycles and the subsequent circannual cycles is considered as vital for their survival and adequate performance of their physiological functions (Lincoln *et al.* 2003).

The photoperiod effects imply the recognition of signals derived from variations in length of the diurnal segment of the day; these signals elicit seasonal changes of physiological and behavioral nature in animals (Goldman 2001). The light signals are detected by retinal photoreceptors that are not involved in the visual phenomena and via the retino-hypothalamic tract, they eventually influence the pineal gland activity, whose main function consists in the melatonin release during the dark period (Goldman 2001, Tsang *et al.* 2014). Some neurons located in the suprachiasmatic nucleus, during the diurnal period release gamma-aminobutyric acid (GABA) which inhibits the sympathetic stimulation to the pineal gland, thus melatonin is not released; in contrast, during darkness GABA is not released and melatonin is secreted (Tsang *et al.*, 2014). In mammals, melatonin plays a key role in modulating the physiological mechanisms that determine adaptation to seasonal changes (Lincoln *et al.* 2003). Scientific information indicates that this hormone acts mainly in the pars tuberalis of the adenohypophysis, where three types of specific receptors for melatonin have been identified in mammals (Reppert *et al.* 1994, Browning *et al.* 2000), in cells named "calendar" which apparently decode the signals emitted by melatonin (Lincoln *et al.* 2003). This hormone, mainly acting in cells of the pars tuberalis of the anterior pituitary and to a lesser extent in the mid-basal and dorsolateral hypothalamus, exerts retrograde actions that activate or inactivate genes whose expression, or lack of it, determines the synthesis of the  $\alpha$  and  $\beta$  chains of thyroid stimulating hormone (TSH), as well as actions of the deiodinase enzymes II and III, which in turn direct the transformation from prohormone thyroxine (T<sub>4</sub>) to the active hormone 3,5,3 triiodothyronine (T<sub>3</sub>), or the degradation of T<sub>4</sub> and T<sub>3</sub> (Beltramo *et al.* 2014, Dardente *et al.* 2014), changes that participate in the regulation of reproductive functions in animals that are seasonal breeders (Barret *et al.* 2007, Beltramo *et al.* 2014, Dardente *et al.* 2014) and in some non-seasonal species (Beltramo *et al.* 2014). Melatonin also plays a role in the physiological modulation of the somatotrophic and adrenocortical axes (Tsang *et al.* 2014). By

a retrograde pathway (TSH / deiodinase), melatonin is involved in the regulation of reproduction by inhibiting indirectly the release of GnRH through the RFamide related peptides (Mason *et al.* 2010, Dardente *et al.* 2014), factors that depending of the time of the year when they are applied exogenously may also stimulate the GnRH release, apparently acting on neurons that secrete kisspeptin, a potent GnRH secretagogue (Beltramo *et al.* 2014). By the same retrograde path, melatonin is involved in the release of kisspeptin (Beltramo *et al.* 2014, Dardente *et al.* 2014) by a mechanism which is partially known but in the biochemical cascade it still remains elusive the factor that ultimately determines the melatonin indirect action on the kisspeptidergic cells (Beltramo *et al.* 2014). Some authors proposed that melatonin acting throughout the retrograde pathway, stimulates prolactin release by means of the TSH/deiodinase system, in which an intermediary factor is enhanced whose identity is not unanimously recognized but evidence has allowed to propose salsolinol, a dopamine derivative, as the putative prolactin secretagogue (Yaegashi *et al.* 2012); however, other researchers suggested an anterograde action of melatonin, exerting its positive effects on prolactin secretion by activating tuberulin (Graham *et al.* 2002).

## CONCLUSIONS

In summary, relative to animals under natural photoperiod, exposure to L16 during 60 d to prepubertal Holstein heifers maintained in a subtropical area, promoted growth of skeletal muscle, pelvis and mammary gland, and induced the advancement of puberty but reduced adipose tissue growth; therefore we conclude that supplementary light promotes development of heifers with a higher productive potential and a lower risk of dystocia at first calving.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was funded by SAGARPA-CONACYT Sectoral Fund 2010-144591. Macroproject "Improving productivity, competitiveness and sustainability of the productive chain of bovine milk

in Mexico." The authors are deeply grateful to the owners of the farm "Eucaliptos" because they selflessly provided facilities, equipment, animals, feeds and other supplies as well as friendship and constant

support. We are also grateful with the staff members of the farm who worked closely along the lengthy study, providing assistance and friendship in all times.

#### LITERATURE CITED

- Accorsi PA, Pacioni B, Pezzi C, Forni M, Flint DJ, Seren E (2002) Role of prolactin, growth hormone, and insulin-like growth factor 1 in mammary gland involution in the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 85: 507-513.
- Akers RM, Ellis SE, Berry SD (2005) Ovarian and IGF-I axis control of mammary development in prepubertal heifers. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 259-267.
- Alonso-Vale MI, Peres SB, Vernochet C, Farmer SR, Lima FB (2009) Adipocyte differentiation is inhibited by melatonin through the regulation of C/EBPbeta transcriptional activity. *Journal of Pineal Research* 47: 221-227.
- Auchtung TL, Rius AG, Kendall PE, McFadden TB, Dahl GE (2005) Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production. *Journal of Dairy Science* 88: 121-127.
- Bailey CM, Jensen J, Andersen B (1986) Ultrasonic scanning and body measurements for predicting composition and muscle distribution in young Holstein X Friesian bulls. *Journal of Animal Science* 63: 1337-1346.
- Barrett P, Ebling FJP, Schuhler S, Wilson D, Ross AW, Warner A, Jethwa P, Boelen A, Visser TJ, Ozanne DM, Archer ZA, Mercer JG, Morgan PJ (2007) Hypothalamic thyroid hormone catabolism acts as a gatekeeper for the seasonal control of body weight and reproduction. *Endocrinology* 148: 3608-3617.
- Beltramo M, Dardente H, Cayla X, Caraty A (2014) Cellular mechanisms and integrative timing of neuroendocrine control of GnRH secretion by kisspeptin. *Molecular and Cellular Endocrinology* 382: 387-399.
- Bernabucci U, Basiricò L, Lacetera N, Morera P, Ronchi B, Accorsi PA (2006) Photoperiod affects gene expression of leptin and leptin receptors in adipose tissue from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 4678-4686.
- Brown EG, Vandehaar MJ, Daniels KM, Liesman JS, Chapin LT, Forrest JW, Akers RM, Pearson RE, Nielsen MS (2005) Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves. *Journal of Dairy Science* 88: 595-603.
- Browning C, Beresford I, Fraser N, Giles H (2000) Pharmacological characterization of human recombinant melatonin MT1 and MT2 receptors. *British Journal of Pharmacology* 129: 877-886.
- Canalis E (1993) Insulin like growth factors and the local regulation of bone formation. *Bone* 14: 273-276.
- Capuco AV, Ellis SE (2013) Comparative aspects of mammary gland development and homeostasis. *Annual Review of Animal Biosciences* 1: 179-202.
- Capuco AV, Ellis SE, Hale SA, Long E, Erdman RA, Zhao X, Paape MJ (2003) Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. *Journal of Animal Science* 81: 18-31.
- Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ (2006) Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89: 1244-1253.
- Coolican SA, Samuel DS, Ewton DZ, McWade FJ, Florini JR (1997) The mitogenic and myogenic actions of insulin-like growth factors utilize distinct signaling pathways. *The Journal of Biological Chemistry* 272: 6653-6662.

- Dahl GE (2005) Let there be light: Photoperiod management of cows for production and health. Proceedings 42nd Florida Dairy Production Conference, Gainesville. 35p.
- Dahl GE, Buchanan BA, Tucker HA (2000) Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science* 83: 885-893.
- Dahl GE, Elsasser TH, Capuco AV, Erdman RA, Peters RR (1997) Effects of a long daily photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-1. *Journal of Dairy Science* 80: 2784-2789.
- Dahl GE, Petitclerc D (2003) Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science* 81: 11-17.
- Dahl GE, Tao S, Thompson IM (2012) Lactation Biology Symposium: effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *Journal of Animal Science* 90: 755-760.
- Dardente H, Hazlerigg DG, Ebling FJP (2014) Thyroid hormone and seasonal rhythmicity. *Frontiers in Endocrinology* 5: 1-11.
- Devlin RD, Du Z, Buccilli V, Jorgetti V, Canalis E. (2002) Transgenic mice overexpressing insulin-like growth factor binding protein-5 display transiently decreased osteoblastic function and osteopenia. *Endocrinology* 143: 3955-3962.
- Drouyer E, Rieux C, Hut RA, Cooper HM (2007) Responses of suprachiasmatic nucleus neurons to light and dark adaptation: Relative contributions of melanopsin and rod-cone inputs. *Journal of Neuroscience* 27: 9623-9631.
- Dong CX, Zhao W, Solomon C, Rowland KJ, Ackerley C, Robine S, Holzenberger M, Gonska T, Brubaker PL (2014) The intestinal epithelial insulin-like growth factor-1 receptor links glucagon-like peptide-2 action to gut barrier function. *Endocrinology* 155: 370-379.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster GA (1989) Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68-78.
- Flint DJ, Boutinaud M, Tonner E, Wilde CJ, Hurley W, Accorsi PA, Kolb AF, Whitelaw CB, Beattie J, Allan GJ (2005) Insulin-like growth factor binding proteins initiate cell death and extracellular matrix remodeling in the mammary gland. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 274-282.
- Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejía A, Delgadillo JA, Hernández H (2011) Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *Journal of Animal Science* 90: 856-862.
- Franz S, Hoffman-Parisot MM, Baumgartner W (2004) Evaluation of three-dimensional ultrasonography of the bovine mammary gland. *American Journal of Veterinary Research* 65: 1-5.
- Freeman ME, Kanyicska B, Lerant A, Nagy G (2000) Prolactin: Structure, function and regulation of secretion. *Physiological Review* 80: 1523-1631.
- Graham ES, Webster CA, Hazlerigg DG, Morgan PJ (2002) Evidence for the biosynthesis of a prolactin-releasing factor from the ovine pars tuberalis, which is distinct from thyrotropin-releasing hormone. *Journal of Neuroendocrinology* 14: 945-954.
- Grey A, Chen Q, Xu X, Callon K, Cornish J (2003) Parallel phosphatidylinositol-3 kinase and p42/44 mitogen-activated protein kinase signaling pathways subserve the mitogenic and antiapoptotic actions of insulin-like growth factor 1 in osteoblastic cells. *Endocrinology* 144: 4886-4893.

- Goldman BD (2001) Mammalian photoperiodic system: Formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. *Journal of Biological Rhythms* 16: 283-301
- Heinrichs AJ (1993) Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science* 76: 3179-3187.
- Jin J, Yaegashi T, Sawai K, Hashizume T (2012) Effects of photoperiod on the secretion of growth hormone in female goats. *Animal Science Journal* 83: 610-616.
- Kendall PE, Auchtung TL, Swanson KS, Radcliff RP, Lucy MC, Drackley JK, Dahl GE (2003) Effect of photoperiod on hepatic growth hormone receptor 1A expression in steer calves. *Journal of Animal Science* 81: 1440-1446.
- Konturek PC, Brzozowski T, Konturek SJ (2011) Gut clock: Implication of circadian rhythms in the gastrointestinal tract. *Journal of Physiology and Pharmacology* 62: 139-150.
- Lammi J (2011) Cálculo del fotoperiodo. [http://www.tutiempo.net/silvia\\_larocca/Temas/fotoperiodo.htm](http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/fotoperiodo.htm)  
 Fecha de consultado 09 de agosto de 2011.
- Le Roith D, Bondy C, Yakar S, Liu JL, Butler A (2001) The somatomedin hypothesis: 2001. *Endocrine Reviews* 22: 53-74.
- Lincoln GA, Andersson H, Loudon A (2003) Clock genes in calendar cells as the basis of annual timekeeping in mammals - a unifying hypothesis. *Journal of Endocrinology* 179: 1-13.
- Liu JP, Baker J, Perkins AS, Robertson EJ, Efstratiadis A (1993) Mice carrying null mutations of the genes encoding insulin-like growth factor I (IGF-I) and type 1 IGF receptor (Igf1r). *Cell* 75: 59-72.
- Mason AO, Duffy S, Zhao S, Ubuka T, Bentley GE, Tsutsui K, Silver R, Kriegsfeld LJ. (2010) Photoperiod and reproductive condition are associated with changes in RFamide-related peptide (RFRP) expression in Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Journal of Biological Rhythms* 25: 176-185.
- Nagano M, Chastre E, Choquet A, Bara J, Gespach CH, Kelly PA (1995) Expression of prolactin and growth hormone receptor genes and their isoforms in the gastrointestinal tract. *American Journal of Physiology* 268: G431-G442.
- Osborne VR, Odongo NE, Edwards AM, McBride BW (2007) Effects of photoperiod and glucose-supplemented drinking water on the performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 90: 199-207.
- Peters RR, Tucker HA (1978) Prolactin and growth hormone responses to photoperiod in heifers. *Endocrinology* 103: 229-234.
- Peters, RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1980) Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *Journal of Animal Science* 51: 1148-1153.
- Petitclerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1983) Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 57: 892-898.
- Petitclerc D, Chapin LT, Tucker HA (1984) Carcass composition and mammary development responses to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 58: 913-919.
- Petitclerc D, Kineman RD, Zinn SA, Tucker HA (1985) Mammary growth response of Holstein heifers to photoperiod. *Journal of Dairy Science* 68: 86-90.
- Pinilla L, Aguilar E, Dieguez C, Millar RP, Tena-Sempere M (2012) Kisspeptins and reproduction: physiological roles and regulatory mechanisms. *Physiological Reviews* 92: 1235-1316.

- Reppert S, Weaver D, Ebisawa T (1994) Cloning and characterization of a mammalian melatonin receptor that mediates reproductive and circadian responses. *Neuron* 13: 1177-1185.
- Rhind SM, Archer ZA, Adam CL (2002) Seasonality of food intake in ruminants: recent developments in understanding. *Nutrition Research Reviews* 15: 43-65.
- Rius AG, Connor EE, Capuco AV, Kendall PE, Auchtung-Montgomery TL, Dahl GE (2005) Long-day that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 88: 4356-4365.
- Rius AG, Dahl GE (2006) Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. *Journal of Dairy Science* 89: 2080-2083.
- Roa J, Tena-Sempere M (2010) Energy balance and puberty onset: emerging role of central mTOR signaling. *Trends in Endocrinology and Metabolism* 21: 519-528.
- Rosato R, Lindenbergh-Kortleve D, van Neck J, Drop S, Jahn G (2002) Effect of chronic thyroxine treatment on IGF-I, IGF-II and IGF-binding protein expression in mammary gland and liver during pregnancy and early lactation in rats. *European Journal of Endocrinology* 146: 729-739.
- Salih DA, Tripathi G, Holding C, Szestak TA, Gonzalez MI, Carter EJ, Cobb LJ, Eisemann JE, Pell JM (2004) Insulin-like growth factor-binding protein 5 (IGFBP5) compromises survival, growth, muscle development, and fertility in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 4314-4319.
- Santos ER, Calderón RRC, Vera-Ávila HR, Perera-Marín G, Arreguín-Arévalo JA, Nett TM, Gutiérrez CG, Villa-Godoy A (2014) Hormona luteinizante y actividad ovárica en respuesta a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-1 y leptina en becerras pre-púberes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5:181-200.
- Sartin JL, Whitlock BK, Daniel JA (2011) Triennial Growth Symposium: neural regulation of feed intake: modification by hormones, fasting, and disease. *Journal of Animal Science* 89: 1991-2003.
- Sejrsen KJ, Huber T, Tucker HA, Akers RM (1982) Influence of nutrition on mammary development in pre and postpubertal heifers. *Journal of Dairy Science* 65: 793-800.
- Sejrsen K (1994) Relationships between nutrition, puberty and mammary development in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society* 53: 103-111.
- Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M, Foldager J (2000) High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology* 19: 93-104.
- Smith JL, Sheffield LG (2002) Production and regulation of leptin in bovine mammary epithelial cells. *Domestic Animal Endocrinology* 22: 145-154.
- Spicer LJ, Buchanan BA, Chapin LT, Tucker HA (2007) Effect of Exposure to Various Durations of Light on Serum Insulin-Like Growth Factor-I in Prepubertal Holstein Heifers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 2: 42-45. *Statistical Analysis Systems* (2009) SAS Institute, Inc. V. 9.2.
- Tonner E, Barber MC, Travers MT, Logan A, Flint DJ (1997). Hormonal control of insulin-like growth factor-binding protein-5 production in the involuting mammary gland of the rat. *Endocrinology* 138: 5101-5107.
- Tucker HA, Petittlerc D, Zinn ZA (1984) The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake, and hormone secretion. *Journal of Animal Science* 59: 1610-1620.

- Tsang AH, Barclay JL, Oster H (2014) Interactions between endocrine and circadian systems. *Journal of Molecular Endocrinology* 52: R1-R16.
- Valassi E, Scacchi M, Cavagnini F (2008) Neuroendocrine control of food intake. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases* 18: 158-168.
- Van Donkersgoed J, Ribble CS, Townsend HG, Janzen ED (1990) The usefulness of pelvic area measurements as an on-farm test for predicting calving difficulty in beef heifers. *Canadian Veterinary Journal* 31: 190-193.
- Vandehaar MJ (2001) Accelerated growth for dairy heifers: Id rather bet on blackjack. *Proceedings of the 5th Western Dairy Management Conference, Las Vegas Nevada*. pp. 123-131.
- Wettemann RP, Tucker HA, Beck TW, Meyerhoeffer DC (1982) Influence of ambient temperature on prolactin concentrations in serum of Holstein and Brahman x Hereford heifers. *Journal of Animal Science* 55: 391-394.
- Wolf E, Schneider MR, Zhou R, Fisch TM, Herbach N, Dahlhoff M, Wanke R, Hoefflich A (2005) Functional consequences of IGFBP excess: Lessons from transgenic mice. *Pediatric Nephrology* 20: 269-278.
- Yaegashi T, Jin J, Sawada T, Saito H, Fülöp F, Nagy GM, Hashizume T (2012) Effects of photoperiod on salsolinol-induced prolactin secretion in goats. *Animal Science Journal* 83: 418-425.
- Zanton GI, Heinrichs AJ (2005) Meta-analysis to assess the effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *Journal of Dairy Science* 88: 3860-3867.
- Zinn SA, Purchas RW, Chapin LT, Petitclerc D, Merkel RA, Bergen WG, Tucker HA (1986) Effects of photoperiod on growth, carcass composition, prolactin, growth hormone and cortisol in prepubertal and postpubertal Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 63: 1804-1815.

## 6. FOTOPERIODO DE 16 HORAS EN VAQUILLAS HOLSTEIN EN EL SUBTRÓPICO: EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

FOTOPERIODO DE 16 HORAS EN VAQUILLAS HOLSTEIN EN EL SUBTRÓPICO: EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE

N Valenzuela-Jiménez, K Rodríguez-Hernández, J Hernández-Cerón, HR Vera-Ávila, A Villagodoy✉

(NVJ) Licenciatura en Zootecnia, Universidad del Papaloapan

(JHC) Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM

(KRH) (HRVA) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

(AVG) Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 04510, UNAM

(AVG) [aavillagodoy@gmail.com](mailto:aavillagodoy@gmail.com)

RESUMEN. Los efectos del fotoperíodo en la composición corporal de becerras y vaquillas ha sido demostrado en un trabajo previo. El presente trabajo es para evaluar el efecto de 16 h luz (L16) durante la lactancia (LAC) y/o la etapa prepuberal (PP) en un área subtropical, en la producción de leche de esos animales. Para esto, 325 becerras ( $36\pm 0.4$  kg) distribuidas en dos fotoperíodos: L16 ó LNAT durante la etapa de lactancia y posteriormente a los siete meses de edad, 198 de esas becerras ( $195\pm 2$  kg) se reasignaron nuevamente a L16 o LNAT. Se dio seguimiento a esos animales y se evaluó su producción de leche durante toda la lactación. El análisis estadístico fue por ANDEVA para un arreglo factorial 2X2. No hubo interacción ( $P>0.05$ ) entre los dos fotoperíodos y las dos etapas de desarrollo de los animales en la producción de leche por día, pero en los días en leche y la producción por lactación se observa la tendencia con una  $P=0.08$  y  $P=0.09$  respectivamente, cuando se comparan los animales que permanecieron en L16 durante ambas etapas contra los que en ambas etapas

permanecieron bajo LN. Consecuentemente, la exposición de hembras bovinas a L16 durante ambas etapas (LAC y PP) ofrece un mayor potencial productivo de estos animales.

Palabras Clave: fotoperiodo, leche, vaquillas, subtrópico.

ABSTRACT. The effects of the photoperiod on the body composition of calf's and heifers has been demonstrated in a previous work. The present study is to evaluate the effect of 16 h light (L16) during lactation (LAC) and / or the prepuberal stage (PP) in a subtropical area, in the milk production of these animals. For this, 325 Holstein calves ( $36 \pm 0.4$  kg) distributed in two photoperiods: L16 or LNAT during the lactancy stage and later, at seven months of age, 198 of these heifers ( $195 \pm 2$  kg) were reassigned to L16 or LNAT. These animals were monitored and milk production was evaluated throughout lactation. The statistical analysis was by ANDEVA for a factorial arrangement 2X2. There was no interaction ( $P > 0.05$ ) between the two photoperiods and the two stages of development of the animals in milk production per day, but in the days in milk and total lactation production there was tendency with a  $P = 0.08$  and  $P = 0.09$ , respectively, when comparing the animals that remained in L16 during both stages that remained under LN in both stages. Consequently, the exposure of bovine females to L16 during both stages (LAC and PP) offers a greater productive potential of these animals.

Key words: photoperiod, milk, heifers, subtropic.

## INTRODUCCIÓN

Para maximizar la producción de leche en las explotaciones ganaderas, es necesario realizar una adecuada crianza de vaquillas de reemplazo. Se debe procurar un correcto crecimiento y desarrollo del animal, lo que se traducirá en adecuadas tasas de crecimiento para la reproducción oportuna y una máxima producción de leche (Heinrichs 1993).

El inicio temprano de la etapa reproductiva, reduce el período no productivo de la vaquilla, lo cual implica menor requerimiento de alimento para alcanzar la edad productiva (Stelwagen y Grieve, 1990), sin embargo, un inadecuado tamaño corporal al primer parto puede reflejarse en una baja producción de leche durante el primer y segundo parto, debido a la competencia de nutrientes utilizados para el crecimiento y no para la lactación (Van Amburgh *et al.*, 1998). Para alcanzar el peso y el tamaño adecuado para la primera inseminación se ha intentado estimular el crecimiento acelerado por medio de la sobrealimentación, sin embargo se ha comprobado que también puede incidir negativamente en la producción futura de leche de esos animales (Hoffman *et al.*, 1997; Sejrsen y Purup, 1997); tal situación parece estar relacionada con el alto consumo de energía y la mala conformación de la glándula mamaria (Lammers *et al.*, 1999; Sejrsen *et al.*, 2000). El asegurar tasas óptimas de ganancia diaria de peso es muy importante para asegurar el peso, la edad y la composición corporal adecuados para la reproducción y para lograr el óptimo desarrollo de la glándula mamaria (Sejrsen *et al.* 1982; Zanton y Heinrichs 2005).

El efecto del nivel de alimentación sobre el crecimiento mamario en vaquillas ha sido investigado en varios experimentos (Sejrsen *et al.*, 1982, Petitclerc *et al.*, 1984, Petitclerc y Bailey, 1991; Sejrsen *et al.*, 2000). En estos estudios los resultados demuestran que los niveles de alimentación que producen ganancias diarias por encima de 600 a 700 g en vaquillas Holstein tienen una influencia negativa en

el crecimiento de su parénquima mamario desde los 3 meses de edad hasta el período puberal (Sejrsen *et al.*, 2000).

La regulación del crecimiento y desarrollo mamario en vaquillas sucede mediante interacciones complejas de hormonas y factores de crecimiento, varios de estos producidos localmente en la glándula mamaria y que se ven afectados por el estado nutricional y el estado de desarrollo los animales; por ejemplo, se ha comprobado que el estradiol y la hormona del crecimiento son factores críticos para la mamogénesis (Sejrsen *et al.*, 2000; Capuco *et al.*, 2002), además de otros factores paracrinos y proteínas que son importantes reguladores de crecimiento mamario en rumiantes prepúberes (Akers *et al.*, 2000; Sejrsen *et al.*, 2000).

La secreción de estos reguladores endocrinos y paracrinos puede verse afectada por factores ambientales, concretamente la alimentación y el fotoperíodo (Sejrsen *et al.* 2000; Dahl y Petitclerc 2003; Dahl *et al.*, 2012). Así, existe evidencia de un efecto galactopoyético del fotoperíodo largo (16 a 18 h de luz) durante la lactación de vacas Holstein (Peters *et al.*, 1980; Dahl *et al.* 2000; Dahl y Petitclerc 2003; Auchtung *et al.*, 2005; Dahl *et al.*, 2012) y que se acompaña de un incremento en el IGF-1 circulante (Dahl *et al.*, 1997, Kendall *et al.*, 2003).

Desde hace varias décadas, en un primer estudio, Peters *et al.* (1978), reportaron el efecto galactopoyético del fotoperíodo con un incremento en la producción de leche de 10 a 15 % en vacas recién paridas a las que se exponía a 16 horas de luz en comparación con vacas bajo fotoperíodo natural de 9 o 12 horas de luz durante los primeros 60 días de lactación. El mismo efecto ha sido observado en diversos estudios en bovinos y caprinos lecheros en diferentes partes del mundo en latitudes entre los 37° y 62° N (Dahl *et al.* 2000; Dahl y Petitclerc 2003; Flores *et al.*, 2011). Además, se ha comprobado en vaquillas prepúberes que el fotoperíodo de 16 h de luz incrementa la estatura,

adelanta la pubertad y mejora el desarrollo de la glándula mamaria, en comparación con animales mantenidos en 16 h de oscuridad (Rius *et al.*, 2005; Rius y Dahl 2006; Dahl *et al.*, 2012); y tal fotoperíodo dirige su desarrollo hacia un crecimiento magro y promueve una mayor producción de leche en su primera lactación (Tucker *et al.* 1984; Rius *et al.* 2005; Rius y Dahl 2006). De la misma manera, en una región subtropical en México (26°23' LN), se probó que el fotoperíodo de 16 h luz incrementó en 25% la producción de leche en cabras adultas (Flores *et al.*, 2011), mientras que esta misma región, nuestro grupo de investigación reportó en un primer estudio (Valenzuela *et al.*, 2015) que la exposición de hembras Holstein prepúberes a un fotoperíodo de 16 h luz por períodos de 60 d, promovió el crecimiento del músculo esquelético y de la glándula mamaria, y sugieren que los efectos del fotoperíodo largo en el subtrópico permiten el desarrollo de animales con mayor potencial para la producción de leche. Es necesario saber si este efecto del fotoperíodo en el desarrollo corporal y en la glándula mamaria de las becerras de nuestro estudio previo se ve transformado en mayor producción de leche en la primera lactación de estos animales.

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar los efectos de un régimen lumínico de 16 h luz, aplicado durante 60 días consecutivos, durante la lactancia y/o la etapa prepuberal, sobre la producción de leche de becerras Holstein de reemplazo, en una región del subtrópico mexicano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos y el manejo de los animales aplicados en el presente estudio fueron aprobados por el Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales en Experimentación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. El experimento se llevó a cabo en un establo lechero en Gómez Palacio, Durango (25° 41' 42'' N y 103° 27' 43'' O) y se utilizaron 325 becerras Holstein recién nacidas a las que se les dio seguimiento hasta el final de su primera lactación.

El estudio se llevó a cabo en dos etapas de sesenta días, la primera etapa correspondió a la lactancia de los animales (1 a 60 días de edad) y la segunda comenzó aproximadamente a los siete meses de edad (230-250 días); mismas que se describen a continuación:

Etapa 1. Lactancia (LAC). Se utilizaron 325 becerras Holstein recién nacidas que fueron alojadas en una sala de crianza completamente techada y con cortinas protectoras del viento. La instalación tiene 450 jaulas individuales, equipadas con cubetas en las que se proporciona leche y agua, comedero automático para concentrado y forraje y piso de rejilla con tapetes de hule confortables con perforaciones para permitir el paso de las eyecciones de las becerras hacia fosas inferiores, las cuales son lavadas por golpe de agua.

Los animales fueron distribuidos, de acuerdo con un diseño de bloques al azar, en dos tratamientos (criterio de bloque: grupo de becerras ingresando a la maternidad dentro de un período de 40 días): a) Fotoperiodo extendido de 16 horas luz (L16; n=163), y b) Fotoperiodo natural (LNAT; n=162).

El local de becerreras fue dividido utilizando lonas que impidieron el paso de luz proveniente de las lámparas usadas en la subdivisión de las becerras de L16 hacia la subdivisión que alojó los animales en LNAT; los animales de LNAT fueron mantenidos con iluminación natural durante 60 días (nacimiento a destete), mientras que las de L16 recibieron luz adicional por el mismo período. En la porción del local con becerras en L16, se instalaron lámparas para iluminar el área en su totalidad con al menos 450 luxes durante 16 h/día, medidos a la altura de los ojos de los animales independientemente de su postura (Rius y Dahl 2006). El encendido vespertino de las lámparas se programó diariamente para completar 16 h de luz. La duración diaria de h luz (Figura 1) para la latitud

del sitio experimental, fue tomada de un software disponible en Internet para cálculo de fotoperiodo (Lammi 2011) y las lámparas se programaron para encenderse 0.5 h antes del tiempo marcado como el crepúsculo, con el fin de asegurar que la luz natural no declinara por debajo de 150 luxes, límite inferior de intensidad lumínica detectable por los bovinos (Dahl 2005). En ambas secciones, al inicio del experimento y cada tercer día, se efectuaron mediciones de las unidades lux mediante el uso de un luxómetro (LX-1108 Lutron Electronic Enterprise Co., Taiwán). Las mediciones se efectuaron inmediatamente antes y después del encendido de las lámparas y a las 22:00 h. Para la vigilancia rutinaria de las becerras durante la noche, se usó una linterna manual con luz infrarroja (menos de 5 luxes) que no ejerce efectos en los animales (Drouyer *et al.*, 2007). El manejo alimenticio se realizó de acuerdo a lo establecido en el establo; inmediatamente después del nacimiento y 12 horas después, las becerras consumieron al menos dos litros de calostro pasteurizado (concentración post-pasteurización de inmunoglobulinas  $\geq 50$  g/L). A partir del segundo día de vida y hasta el destete, las becerras de ambos tratamientos se alimentaron con cuatro litros de leche pasteurizada por día y a partir del quinto día de vida, los animales recibieron *ad libitum* agua y alimento iniciador con 27 % de proteína cruda 2.95 % de grasa cruda y 2.83 Mcal/kg de energía metabolizable (Nuplen® S.A. de C.V., Santiago Papasquiari, Gómez Palacio, Durango, México).

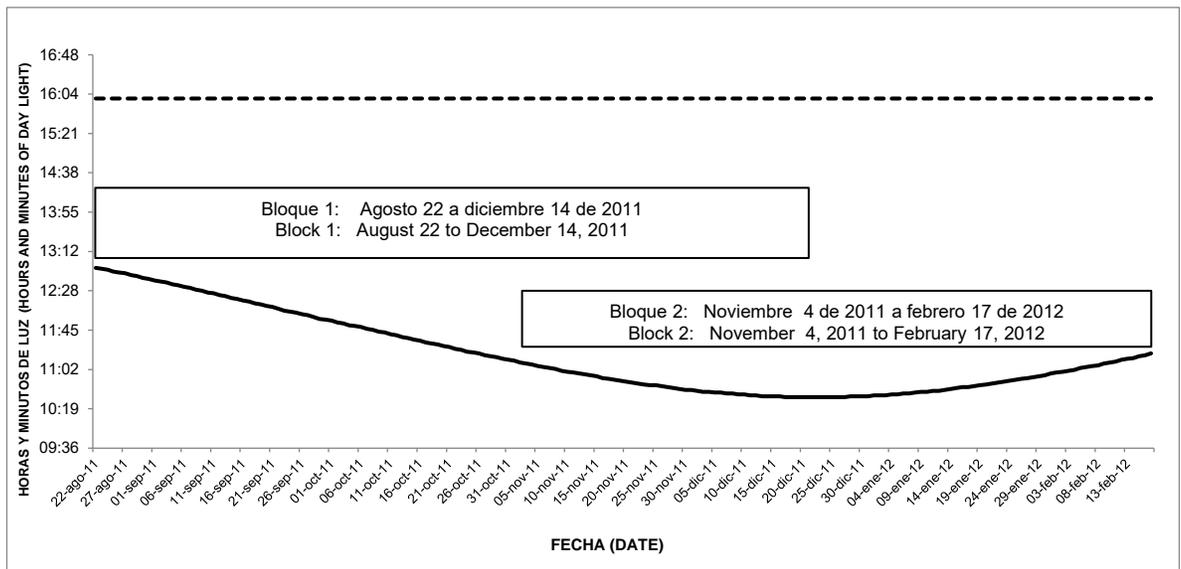


Figura 1. Fotoperiodo natural (línea continua) en el establo donde se efectuó el experimento (25° 41' N, 103° 27' O), durante los períodos de exposición de becerras a un régimen de 16 h de luz (línea segmentada) o fotoperiodo natural. En los rectángulos se indican las fechas de inicio (nacimiento) y fin (destete) del período de exposición de los animales a los regímenes de luz. Las becerras ingresaron al estudio en dos bloques completos al azar (Valenzuela *et al.*, 2015).

Etapa 2. Prepúber (PP). Aproximadamente a los siete meses de edad, 198 de los animales utilizados en la primera etapa (LAC) fueron distribuidos al azar en dos corrales, uno con L16 y otro con LNAT, de acuerdo con un arreglo factorial 2 x 2 (dos etapas fisiológicas: LAC y PP; dos fotoperiodos: L16 y LNAT), quedando en cada uno de los dos grupos PP el 50 % de animales que durante LAC fueron expuestos a L16 y el otro 50 % que durante LAC permanecieron en LNAT. Consecuentemente las combinaciones de tratamientos fueron LACL16-PPL16, LACL16-PPLNAT y LACL16-PPLNAT. Los dos grupos PP así conformados quedaron distribuidos en dos tratamientos durante 60 días: a) Fotoperiodo artificial de 16 h luz (L16; n=99), y b) Fotoperiodo natural (LNAT; n=99). Los corrales contaron con espacio suficiente para reducir la competencia social entre vaquillas y separados 30 metros uno del otro. El corral donde se alojaron las vaquillas de LN se encontró todo

el tiempo bajo condiciones de LN y el corral para vaquillas en L16 fue iluminado en su totalidad **mediante el uso de lámparas “Metal Halide”, proporcionando al menos 450 luxes desde el techo hasta** una altura de 20 cm por arriba de la superficie del suelo. Como en LAC, las lámparas se programaron para encenderse durante la cantidad necesaria de horas para completar 16 h de luz por día de acuerdo a los datos del fotoperiodo natural obtenidos de Lammi (2011) (Figura 2). Se ofreció dos veces al día la misma ración integral a ambos grupos, que consistió en ensilado de sorgo, rastrojo de maíz, heno de alfalfa, pasta de canola y mezcla de sales minerales. Las vaquillas permanecieron bajo los tratamientos descritos por 60 días.

Tanto en la etapa de LAC como de PP, se registró la altura a la cruz (AC) y el peso corporal (PC) al inicio y al final del tratamiento de fotoperiodo (Rius *et al.* 2005). Con la misma frecuencia se registró el grosor de la grasa dorsal (GG) y la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* (LD) mediante ultrasonido (transductor sectorial de 5 a 10 Mhz) en la intersección de las regiones torácica y lumbar (Bailey *et al.* 1986). Para determinar los efectos de luz en el desarrollo mamario, se efectuó una observación en el cuarto posterior derecho de la glándula mamaria también mediante ultrasonografía (Franz *et al.* 2004), en donde se realizaron mediciones de la profundidad (PGM) y anchura (AGM) de la misma. Adicionalmente, en las vaquillas se evaluó el crecimiento pélvico utilizando un pelvómetro de Rice (Rice Pelvimeter, Lane Manufacturing Inc., EUA) para calcular el área pélvica (AP) (Van Donkersgoed *et al.* 1990), y se midió la condición corporal (CC, escala de uno a cinco), utilizando la escala propuesta por Edmonson *et al.* (1989). Asimismo, se estimó el consumo diario de alimento (CDA) por corral y se calculó la ganancia diaria de peso individual (GDP). Los animales continuaron en estudio hasta su primer parto y a lo largo de toda su lactación para evaluar la producción de leche.

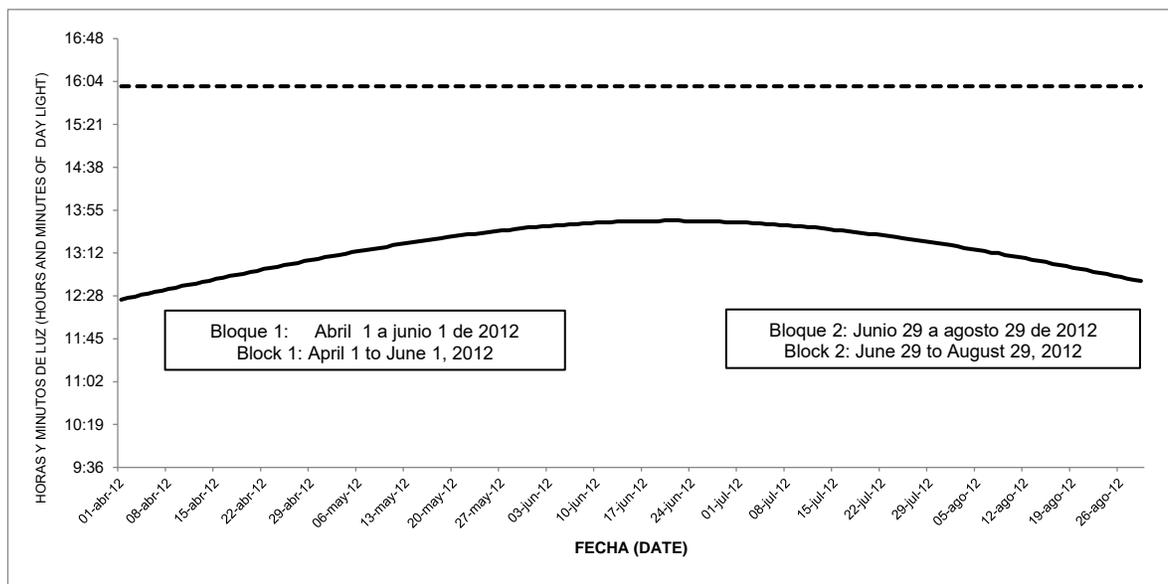


Figura 2. Fotoperiodo natural (línea continua) en el establo donde se efectuó el experimento (25° 41' N, 103° 27' O), durante los períodos de exposición de vaquillas prepúberes a un régimen de 16 h luz (línea segmentada) o fotoperiodo natural. En los rectángulos se muestra la fecha de ingreso ( $233 \pm 20$  días de edad) y salida ( $293 \pm 20$  días de edad) de de los animales al experimento en forma de bloques completos al azar (Valenzuela *et al.*, 2015).

Análisis de los datos. El análisis estadístico de las variables de respuesta registradas en LAC, se realizó mediante un análisis de varianza para diseños de bloques al azar. Para ello, se empleó el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (SAS 2009, The SAS Institute Inc, Cary, NC). La producción de leche se comparó entre grupos mediante un análisis de varianza con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (SAS 2009).

## RESULTADOS

Etapa LAC. Los resultados de desarrollo corporal y consumo de alimento en las dos etapas fueron publicados en un artículo previo (Valenzuela *et al.*, 2015) (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 1. Mediciones corporales de becerras al inicio (nacimiento) y final (destete) del período al que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o a fotoperiodo natural (LNAT) (Valenzuela *et al.*, 2015).

|                             | Nacimiento |            | Destete                  |                          |
|-----------------------------|------------|------------|--------------------------|--------------------------|
|                             | L16        | LNAT       | L16                      | LNAT                     |
| Peso, kg                    | 36.8±0.4   | 36.8±0.4   | 69.7±0.5                 | 68.1±0.9                 |
| Altura a la cruz, cm        | 75.5±0.3   | 75.1±0.3   | 86.9±0.2                 | 86.4±0.3                 |
| Grasa dorsal, cm            | 0.076±0.02 | 0.078±0.08 | 0.061±0.001 <sub>a</sub> | 0.075±0.001 <sub>b</sub> |
| Profundidad del Músculo, cm | 1.82±0.3   | 1.81±0.3   | 2.68±0.02 <sub>a</sub>   | 2.56±0.03 <sub>b</sub>   |
| GDP, kg                     | -          | -          | 0.541±0.009              | 0.555±0.009              |

a,b Distinta literal dentro de línea, entre tratamientos y dentro de período, indica diferencia estadística (p<0.001).

#### Etapa PP.

Cuadro 2. Mediciones corporales de vaquillas prepúberes al inicio (233±20d de edad) y al final (293±20d de edad) de un período de exposición a 16 h luz (L16) o fotoperiodo natural (LNAT) (Valenzuela *et al.*, 2015)..

|                                  | Inicio                   |                          | Final                    |                          |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                  | L16                      | LN                       | L16                      | LN                       |
| Peso, kg                         | 195±2                    | 195±2                    | 260±3 <sub>a</sub>       | 250±3 <sub>b</sub>       |
| Altura, m                        | 1.08±0.003               | 1.08±0.003               | 1.17±0.002               | 1.17±0.002               |
| Área Pélvica, cm <sup>2</sup>    | 141.1±1.1 <sub>a</sub>   | 133.2±1.1 <sub>b</sub>   | 166.9±1.2 <sub>a</sub>   | 153.1±1.2 <sub>b</sub>   |
| Condición Corporal, punto        | 2.7±0.02 <sub>a</sub>    | 2.6±0.02 <sub>b</sub>    | 2.6±0.02                 | 2.6±0.02                 |
| Grasa dorsal, cm                 | 0.113±0.002 <sub>a</sub> | 0.122±0.002 <sub>b</sub> | 0.114±0.003 <sub>a</sub> | 0.139±0.003 <sub>b</sub> |
| Profundidad del músculo          | 2.88±0.02                | 2.88±0.02                | 3.18±0.04 <sub>a</sub>   | 2.90±0.04 <sub>b</sub>   |
| Profundidad Glándula Mamaria, cm | 0.54±0.006               | 0.54±0.006               | 0.55±0.005               | 0.55±0.005               |
| Anchura de Glándula Mamaria, cm  | 2.0±0.03                 | 2.0±0.03                 | 2.41±0.02 <sub>a</sub>   | 2.21±0.02 <sub>b</sub>   |

a, b Distinta literal entre columnas, dentro de período, indica diferencia estadística (p<0.05).

Producción de leche:

Al final de la lactación o días en leche (DEL) permanecieron en el hato sólo las vacas en cada grupo que se observan en el Cuadro 3. No hubo interacción ( $P>0.05$ ) entre los dos fotoperiodos y las dos etapas de los animales en la producción de leche por día, pero en DEL y la producción por lactación se observa la tendencia con una  $P=0.08$  y  $P=0.09$  respectivamente, cuando se comparan los animales que permanecieron en L16 durante ambas etapas contra los que en ambas etapas permanecieron bajo LN (Cuadro 3).

Cuadro 3. Días en leche (DEL) y producción de leche (kg) por día y por lactación total de vacas que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o fotoperiodo natural (LNAT) en una o dos etapas de su desarrollo.

| <b>Fotoperiodo X<br/>Etapa</b> | <b>n</b> | <b>DEL<br/>(Media ± EE)</b> | <b>Producción por lactación<br/>(Media ± EE)</b> | <b>Producción por día<br/>(Media ± EE)</b> |
|--------------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>L16 X L16</b>               | 33       | 314.09 ± 8.2*               | 10 070.7 ± 393*                                  | 31.9 ± 0.7                                 |
| <b>L16 X LNAT</b>              | 35       | 305.34 ± 7.9                | 9 693.2 ± 382                                    | 31.3 ± 0.6                                 |
| <b>LNAT X LA</b>               | 38       | 309.66 ± 7.6                | 9 878.3 ± 367                                    | 31.8 ± 0.6                                 |
| <b>LNAT X LNAT</b>             | 32       | 293.75 ± 8.3*               | 9 138.3 ± 400*                                   | 30.9 ± 0.7                                 |

La presencia de un \* muestra la tendencia que existe entre tratamientos ( $p=0.08$ ).

Cuando se analizó la producción promedio por semana (durante 43 semanas) de esos mismos animales, no se encontró diferencia entre grupos ni interacción entre fotoperiodos y etapas (Figura 3).

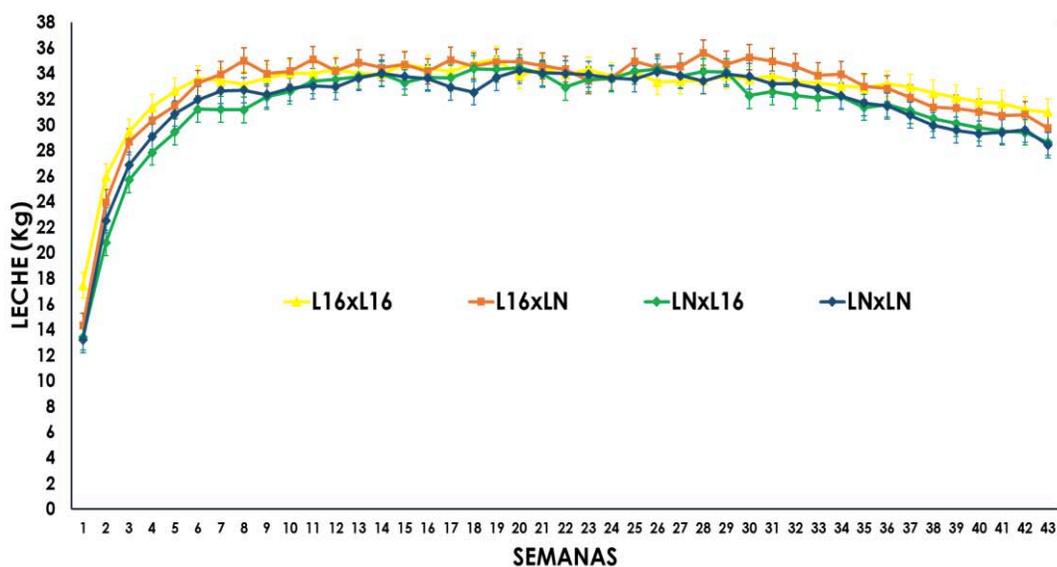


Figura 3. Producción de leche por semana (301 días) de vacas que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o fotoperiodo natural (LNAT) en una o dos etapas de su desarrollo ( $P>0.05$ ).

## DISCUSIÓN

La primera parte de la información generada con estos animales (peso, composición corporal, área pélvica), fue presentada y discutida anteriormente por nuestro equipo de trabajo (Valenzuela *et al.*, 2015). En ese escrito reportamos que la exposición a 16 h de luz modificó la calidad del crecimiento en ambas etapas, ya que redujo la grasa dorsal e incrementó la profundidad del *músculo Longissimus dorsi* durante LAC y PP, lo que nos permite proponer que la exposición de hembras bovinas prepúberes a 16 h luz promueve el crecimiento magro desde el nacimiento hasta cuando menos los nueve meses de edad. Adicionalmente, las vaquillas en L16 tuvieron mayor anchura de la glándula mamaria, lo que indica que el fotoperiodo largo induce un mayor crecimiento de este órgano y es posible especular que sea similar al crecimiento corporal, es decir privilegiando la deposición de tejido no adiposo, efecto reportado por Petitclerc *et al.* (1985), quienes determinaron una mayor cantidad de

parénquima con respecto al tejido adiposo en la glándula mamaria de vaquillas pre y pos-púberes expuestas a 16 h de luz, en comparación con animales expuestos a solo ocho h luz.

De acuerdo a lo encontrado en el presente estudio, en la producción de leche de esos animales, podemos observar que la tendencia a producir más leche al final de la lactación es de las vacas que fueron expuestas durante las dos etapas de desarrollo comparadas contra las que nunca tuvieron luz suplementaria (LNxLN), lo que indica que la exposición a L16 debería ocurrir durante estos dos períodos del desarrollo de las hembras de reemplazo, para inducir un aumento en la producción de leche, ya que si se exponen los animales por 60 días únicamente durante una etapa, la producción con respecto a la de animales en LN durante LAC y PP, no cambia. Al respecto, Rius y Dahl (2006) reportan que en becerras expuestas a L16 desde los tres a los diez meses de edad (Rius y Dahl., 2006), la producción de leche se incrementa tal como se observó en este trabajo con la aplicación de L16 en las dos etapas comparadas con las vaquillas que siempre permanecieron en LN. Es probable entonces que se puedan lograr incrementos en el desempeño productivo con solo 120 días de luz (60 en LAC y 60 en PP) en lugar de los 210 días recomendados por Rius y Dahl (2006). Estos mismos autores (Rius y Dahl 2006) reportan el primer informe que prueba el efecto de fotoperíodo largo en el rendimiento de leche de la primera lactación en vaquillas prepuberales, donde los animales en fotoperíodo largo tendieron a producir más leche ( $P < 0,10$ ) durante los primeros 5 meses de la lactación en comparación a aquellos que crecieron bajo fotoperíodo corto. Sin embargo, también mencionan que, debido al número de vaquillas asignadas a cada tratamiento ( $n=10$ ), se debe tener precaución en la interpretación de los resultados.

Los mecanismos fisiológicos del efecto galactopoyético del fotoperíodo largo ha sido discutido por varios autores (Peters *et al.*, 1978 y 1981; Dahl *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 1999; Miller *et al.*, 2000; Rius

y Dahl 2006; Dahl *et al.*, 2012) principalmente cuando los animales son expuestos a la luz inmediatamente después del parto o durante el período seco de las vacas gestantes. De los mecanismos endocrinos que regulan el fotoperíodo el más estudiado es el del efecto de la luz en la inhibición de la producción de melatonina.

La luz es recibida por fotorreceptores en la retina y por la vía del tracto retino-hipotalámico influyen en la actividad de la glándula pineal, cuya principal función consiste en la liberación de melatonina durante el periodo de oscuridad (Goldman 2001; Tsang *et al.* 2014). Se ha comprobado que la administración de melatonina exógena a vacas en lactación disminuye la producción de leche (Auld *et al.*, 2007), por lo que es de suponer que al exponer a un fotoperíodo largo a los animales se disminuyen las concentraciones de melatonina favoreciendo o permitiendo un incremento en la galactopoyesis. Sin embargo, el mecanismo es más complejo; existe evidencia de que el efecto galactopoyético del fotoperíodo largo durante el periodo de lactancia está mediado por aumentos en el IGF-1 circulante (Akers *et al.* 2005), el cual es independiente de la hormona del crecimiento (Dahl *et al.*, 1997, Kendall *et al.*, 2003; Dahl *et al.*, 2012). El IGF-1 promueve la proliferación de las células mamarias e inhibe su muerte por apoptosis (Akers *et al.* 2005; Capuco *et al.* 2003). De igual manera, también se ha observado en las vacas un incremento en la prolactina circulante (Peters *et al.* 1980; Dahl *et al.* 2012), el cual pudiera ser el mecanismo endocrino que dirige a la galactopoyesis incrementada, sin embargo, la aplicación directa de esta hormona alrededor del pico de lactancia no produce un efecto sobre el rendimiento de la leche en una lactancia ya establecida (Plaut *et al.*, 1987).

Se ha propuesto que la interacción entre estas hormonas y otras proteínas es el principal mecanismo responsable de los cambios en la composición corporal y producción de leche observados en los animales (Valenzuela *et al.*, 2015). Otro factor implicado en este mecanismo fisiológico es la proteína

ligadora de IGF-1 número 5 (IGFBP-5), misma que aumenta su expresión en ausencia de prolactina (Accorsi *et al.*, 2002). La IGFBP-5 se une al IGF-1 presente en la circulación sanguínea y en la glándula mamaria, impidiendo que éste se una a sus receptores del tejido mamario y ejerza sus efectos; además, el IGFBP-5 estimula a las células mamarias para la síntesis de moléculas proapoptóticas e inhibiendo la acción de agentes antiapoptóticos, aumentando con ello la tasa de apoptosis de las células parenquimales de la glándula mamaria (Flint *et al.* 2005).

Una acción de la prolactina es la de disminuir la síntesis de IGFBP-5 en varios tejidos corporales (Tonner *et al.* 1997), favoreciendo una mayor disponibilidad de IGF-1 circulante y local, así como la disminución de los efectos negativos ejercidos por la IGFBP-5 en los tejidos. De esta forma, podemos especular que el incremento de prolactina inducido por L16 podría conducir a pérdidas más lentas de las células mamarias en comparación con el fotoperiodo natural y por lo tanto también conduciría a una disminución más lenta en la producción de la leche.

Los resultados del presente estudio y del anterior (Valenzuela *et al.*, 2015) en conjunto con los de otras investigaciones (Peters *et al.* 1980; Petitclerc *et al.* 1983), donde hembras bovinas expuestas a 16 h luz tuvieron un mejor desarrollo corporal y mayor producción de leche, nos permiten afirmar que dicha extensión del fotoperiodo es una herramienta efectiva de manejo para modificar el metabolismo de becerras, vaquillas y vacas para incrementar la producción de leche mediante los mecanismos fisiológicos previamente mencionados. En conclusión, la exposición de hembras Holstein prepúberes a un fotoperiodo de 16 h luz durante dos etapas del desarrollo por períodos de 60 d, es capaz de incrementar la producción de leche durante su primera lactación.

## LITERATURA CITADA

- Accorsi PA, Pacioni B, Pezzi C, Forni M, Flint DJ, Seren E (2002) Role of prolactin, growth hormone, and insulin-like growth factor 1 in mammary gland involution in the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 85:507-513.
- Akers RM, McFadden TB, Purup S, Vestergaard M, Sejrsen K, Capuco AV (2000). Local IGF-I axis in peripubertal ruminant mammary development. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 5:43-51.
- Akers RM, Ellis SE, Berry SD (2005) Ovarian and IGF-I axis control of mammary development in prepubertal heifers. *Domestic Animal Endocrinology* 29(2):259-267.
- Auchtung TL, Rius AG, Kendall PE, McFadden TB, Dahl GE (2005) Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production. *Journal of Dairy Science* 88:121-127.
- Auldist 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. *Journal of Dairy Research* 74: 52-57.
- Bailey CM, Jensen J, Andersen B (1986) Ultrasonic scanning and body measurements for predicting composition and muscle distribution in young Holstein X Friesian bulls. *Journal of Animal Science* 63:1337-1346.
- Capuco AV, Ellis SE, Garrett WM, Akers RM (2002) Postnatal mammary ductal growth: three-dimensional imaging of cell proliferation, effects of estrogen treatment and expression of steroid receptors in prepubertal calves. *Tissue and Cell*. 34(3):9-20.
- Capuco AV, Ellis SE, Hale SA, Long E, Erdman RA, Zhao X, Paape MJ (2003) Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. *Journal of Animal Science* 81 Suppl. 3:18-31.
- Dahl GE, Elsasser TH, Capuco AV, Erdman RA, Peters RR (1997) Effects of a long daily photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-1. *Journal of Dairy Science* 80(11):2784-2789.

- Dahl GE, Buchanan BA, Tucker HA (2000) Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science* 83:885-893.
- Dahl GE (2005) Let there be light: Photoperiod management of cows for production and health. *Proceedings 42nd Florida Dairy Production Conference, Gainesville*. 35 pp.
- Dahl GE, Petitclerc D (2003) Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science* 81(Suppl. 3):11-17.
- Dahl GE, Tao S, Thompson IM (2012) Lactation Biology Symposium: effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *Journal of Animal Science* 90(3):755-760.
- Drouyer E, Rieux C, Hut RA, Cooper HM (2007) Responses of suprachiasmatic nucleus neurons to light and dark adaptation: Relative contributions of melanopsin and rod-cone inputs. *Journal of Neuroscience* 27(36):9623-9631.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster GA (1989) Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 72:68-78.
- Flint DJ, Boutinaud M, Tonner E, Wilde CJ, Hurley W, Accorsi PA, Kolb AF, Whitelaw CB, Beattie J, Allan GJ (2005) Insulin-like growth factor binding proteins initiate cell death and extracellular matrix remodeling in the mammary gland. *Domestic Animal Endocrinology* 29(2):274-282.
- Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejía A, Delgadillo JA, Hernández H (2011) Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *Journal of Animal Science* 90:856–862.
- Franz S, Hoffman-Parisot MM, Baumgartner W (2004) Evaluation of three-dimensional ultrasonography of the bovine mammary gland. *American Journal of Veterinary Research* 65:1-5.
- Goldman BD (2001) Mammalian photoperiodic system: Formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. *Journal of Biological Rhythms* 16:283-301
- Heinrichs AJ (1993) Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science* 76:3179-3187.

- Hoffman PC (1997) Optimum body size of Holstein replacement heifers. *Journal of Animal Science* 75:836-845.
- Kendall PE, Auchtung TL, Swanson KS, Radcliff RP, Lucy MC, Drackley JK, Dahl GE (2003) Effect of photoperiod on hepatic growth hormone receptor 1A expression in steer calves. *Journal of Animal Science* 81:1440-1446.
- Lammers BP, Heinrichs AJ, Kensinger RS. (1999) The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *Journal of Dairy Science* 82:1753-1764.
- Lammi J (2011) Cálculo del fotoperiodo. En: [http://www.tutiempo.net/silvia\\_larocca/Temas/fotoperiodo.htm](http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/fotoperiodo.htm), Consultado el 11 de enero del 2011.
- Miller AR, Stanisiewski EP, Erdman RA, Douglass LW, Dahl GE (1999) Effects of long daily photoperiod and bovine somatotropin (Trobest®) on milk yield in cattle. *Journal of Dairy Science* 82:1716–1722.
- Miller AR, Douglass LW, Erdman RA, Dahl GE (2000) Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83:962–967.
- Peters RR, Tucker HA (1978) Prolactin and growth hormone responses to photoperiod in heifers. *Endocrinology* 103:229–234.
- Peters RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1980) Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *Journal of Animal Science* 51:1148-1153.
- Peters RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1981) Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cows to supplemental light. *Journal of Dairy Science* 64:1671–1678.
- Petitclerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1983) Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 57:892–898.

- Petitclerc D, Chapin LT, Tucker HA (1984) Carcass composition and mammary development responses to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 58:913-919.
- Petitclerc D, Kineman RD, Zinn SA, Tucker HA (1985) Mammary growth response of Holstein heifers to photoperiod. *Journal of Dairy Science* 68:86-90.
- Petitclerc D, Bailey DRC (1991) Effects of genotype and plane of nutrition on mammary development of beef heifers. *Journal of Animal Science* 69:324.
- Plaut K, Bauman DE, Agergaard N, Akers RM (1987) Effect of exogenous prolactin administration on lactational performance of dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology* 4:279–290.
- Rius AG, Connor EE, Capuco AV, Kendall PE, Auchtung-Montgomery TL, Dahl GE (2005) Long-day that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 88:4356-4365.
- Rius AG, Dahl GE (2006) Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. *Journal of Dairy Science* 89:2080-2083.
- Sejrsen KJ, Huber T, Tucker HA, Akers RM (1982) Influence of nutrition on mammary development in pre and postpubertal heifers. *Journal of Dairy Science* 65:793-800.
- Sejrsen K, Purup S (1997) Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: a review. *Journal of Animal Science* 75:828.
- Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M, Foldager J (2000) High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology*. 19:93-104.
- Stelwagen K, Grieve DB (1990) Effect of plane of nutrition on growth and mammary gland development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 73:2333.
- Statistical Analysis Systems (2009) SAS Institute, Inc. V. 9.2.

- Tonner E, Barber MC, Travers MT, Logan A, Flint DJ (1997). Hormonal control of insulin-like growth factor-binding protein-5 production in the involuting mammary gland of the rat. *Endocrinology* 138:5101-5107.
- Tucker HA, Petitclerc D, Zinn ZA (1984) The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake, and hormone secretion. *Journal of Animal Science* 59:1610-1620.
- Tsang AH, Barclay JL, Oster H (2014) Interactions between endocrine and circadian systems. *Journal of Molecular Endocrinology* 52:R1-R16.
- Valenzuela JN, Rodríguez HK, Hernández CJ, Vera AH, Núñez HG, Villa GA (2015) 16 hours photoperiod in Holstein heifers in the subtropics: effects in development and age to first estrus. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(4):53-67.
- Van Amburgh, ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DG, Chase LE, Erb HN (1998) Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science* 81:527-538.
- Van Donkersgoed J, Ribble CS, Townsend HG, Janzen ED (1990) The usefulness of pelvic area measurements as an on-farm test for predicting calving difficulty in beef heifers. *Canadian Veterinary Journal* 31(3): 190–193.
- Zanton GI, Heinrichs AJ (2005) Meta-analysis to assess the effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *Journal of Dairy Science* 88:3860-3867.

## 7. PRODUCCIÓN DE LECHE Y DESARROLLO CORPORAL DE VAQUILLAS GESTANTES EXPUESTAS A 16 HORAS LUZ EN EL SUBTRÓPICO MEXICANO

### MILK PRODUCTION AND BODY DEVELOPMENT IN PREGNANT HEIFERS EXPOSED TO 16 HOURS OF LIGHT IN THE MEXICAN SUBTROPICS

Nicolás Valenzuela Jiménez<sup>a</sup>, Karla Rodríguez Hernández<sup>b</sup>, Joel Hernández Cerón<sup>c</sup>, Héctor Raymundo Vera Ávila<sup>d</sup>, Alejandro Villa Godoy<sup>e</sup>✉

<sup>a</sup>Universidad del Papaloapan, *Campus* Loma Bonita. Oaxaca, México.

<sup>b</sup>Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Torreón, Coahuila, México

<sup>c</sup>Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>d</sup>Universidad Autónoma de Querétaro, México.

<sup>e</sup>Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 04510. Tel. 52 55 56 22 59 80, aavillagodoy@gmail.com. Correspondencia al último autor.

**RESUMEN.** En vacas lecheras, 16 h luz (16L) incrementan la producción láctea (12-15%) comparado con 8 h luz (8L). En contraste, vacas expuestas a 8L durante los últimos dos meses de gestación, producen más leche en su lactación inmediata que las vacas con 16L. No existen estudios del efecto de 16L en vacas o vaquillas en el segundo tercio de la gestación en el subtrópico (25° 41'LN). Es factible que 16L en este período favorezcan el desarrollo corporal induciendo amplitud de cadera y sin afectar la producción en su primera lactación. 66 vaquillas Holstein gestantes (160-190 días) distribuidas en dos tratamientos: 16h luz (L16; n=34) o fotoperiodo natural (LNAT; n=32); al inicio y final del tratamiento se registró peso (PC, kg), altura (AC, cm), grasa dorsal (GD, cm), músculo *Longissimus dorsi* (PLD, cm), área pélvica (AP, cm<sup>2</sup>) y se registró su producción de leche. Al final del tratamiento, las vaquillas L16 tuvieron menos grasa (L16=0.250±0.018 vs. LNAT=0.346±0.018) y más musculo (L16=4.44±0.089 vs LNAT=3.99±0.091); el consumo de alimento fue menor (P<0.001) en L16 que en LNAT (9.23±0.08 vs 10.47±0.08). No hubo diferencia en la producción de leche/día (media=34±0.8). El área pélvica fue mayor en L16 (292.7±3) que en LNAT (283.7±3.1) y la presentación de distocias fue mayor en LNAT

(L16=0% vs. LN=13.8%; P=0.03). En vaquillas gestantes en esta latitud, 16 h de luz no mejoraron el peso ni la altura a la cruz, sin embargo, si favorecen el crecimiento muscular e incrementa la amplitud de la pelvis, lo que resulta en animales magros y con un desarrollo corporal adecuado sin alterar la producción de leche en su primera lactación y disminuyendo el riesgo de distocia.

Palabras Clave: fotoperiodo, vaquillas gestantes, subtropical, desarrollo corporal, parto, producción de leche

Key Words: Photoperiod, pregnant heifers, subtropics, milk production

#### **ABSTRACT.**

In dairy cows, 16 h light (16L) increase milk production (12-15%) compared with 8 h light (8L). In contrast, cows exposed to 8L during the last two months of gestation, produce more milk in their immediate lactating compared with cows in 16L. There are no studies of the effect of 16L in cows or heifers, in the second third of gestation in the subtropics (25 ° 41LN). Maybe 16L in this period promotes the body development and inducing hip width, without affecting production in first lactation. Sixtysix pregnant Holstein heifers were divided (160-190 days) on two treatments: 16h light (L16; n = 34) or natural photoperiod (LNAT; n = 32); at the beginning and end of treatment was recorded weight (BW, kg), height (AC, cm), dorsal fat (GD, cm), *Longissimus dorsi* (PLD, cm), pelvic area (AP cm<sup>2</sup>), and milk production was recorded. At the end of treatment, heifers had less fat L16 (L16 = 0.250 ± 0.018 vs. 0.346 ± 0.018 LNAT =) and more muscle (L16 = 4.44 ± 0.089 vs 0.091 ± LNAT = 3.99); feed intake was lower (P <0.001) in LNAT than L16 (9.23 ± 0.08 vs 10.47 ± 0.08). There was no difference in milk production by day (mean = 34 ± 0.8). The pelvic area was greater in L16 (292.7 ± 3) than LNAT (283.7 ± 3.1) and the presentation of dystocia was higher in LNAT (L16 = 0% vs. 13.8% LN =; P = 0.03). In pregnant heifers at this latitude, 16 h light did not improve the weight and height, however, promote muscle growth and increases the amplitude of the pelvis, resulting in lean animals and appropriate body development without altering the milk production in their first lactation and reducing the risk of dystocia.

## INTRODUCCIÓN

La capacidad de aumentar la producción de leche mediante la extensión del fotoperíodo es bien reconocida (Peters *et al.* 1980 Dahl *et al.* 2000; Dahl & Petitclerc 2003); en investigaciones efectuadas entre los 39° y 62° de latitud Norte, se ha comprobado que 16 horas de luz (16L) aplicadas durante los primeros 60 días de lactación a vacas Holstein, incrementa la producción de leche hasta un 15 %, en comparación con un régimen de sólo ocho h de luz (Dahl *et al.* 2000; Dahl & Petitclerc 2003; Auchtung *et al.* 2005). En contraste, las vacas expuestas a 16h luz durante los últimos dos meses de gestación producen menos leche en su lactación inmediata comparadas con las vacas expuestas a sólo 8 h luz (Miller *et al.* 2000; Dahl & Petitclerc, 2003; Auchtung *et al.* 2005). Este efecto del fotoperíodo durante el período seco está asociado a una disminución de las concentraciones sanguíneas de prolactina (PRL) y a un aumento en la expresión de su receptor en la glándula mamaria (Auchtung *et al.* 2003) en los animales expuestos a fotoperíodo corto; por lo que al momento del parto, el aumento natural de PRL en la sangre actuando sobre un mayor número de receptores se traduce en un aumento en el crecimiento mamario y por lo tanto en la producción de leche (Dahl & Petitclerc, 2003; Wall *et al.* 2005).

Otro efecto importante del fotoperíodo de 16 h de luz es en vaquillas prepúberes, en las que se da un incremento del peso, de la estatura y del parénquima mamario (Petitclerc *et al.* 1985; Rius *et al.* 2005); en comparación con animales mantenidos en solo 8 h de luz. En el subtrópico (25° 41' LN), nosotros encontramos que vaquillas prepúberes expuestas a 16 h luz son más pesadas y tienen mayor amplitud pélvica que animales en el fotoperíodo natural de la región (Valenzuela *et al.* 2015). De la misma manera se ha comprobado, también en esta latitud, el efecto galactopoyético del fotoperíodo de 16 h en cabras adultas, las cuales incrementaron su producción de leche en un 25 % (Flores *et al.* 2011) comparadas con cabras en el fotoperíodo natural de la región. Sin embargo, no existen estudios del efecto de 16h Luz en vacas o vaquillas gestantes en el subtrópico. Durante esta etapa, las vaquillas continúan con su desarrollo (Nogalski, 2002) además de necesitar apoyo metabólico para mantener al feto. Es factible que 16L aplicadas durante este período favorezca el desarrollo corporal induciendo amplitud de cadera y sin afectar la producción de leche en su primera lactación, dado que el tratamiento de luz se aplicará durante el segundo tercio de la gestación se espera que 16 h l no tenga un efecto negativo en la producción de leche.

Hasta la fecha no se encontraron trabajos donde se evalúen los efectos del fotoperiodo largo en el desarrollo corporal y producción de leche en vacas o vaquillas gestantes dentro de la región tropical o subtropical, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de un fotoperíodo de 16 h luz durante el segundo tercio de la gestación en vaquillas Holstein de reemplazo, sobre su desarrollo corporal y la producción de leche en su primera lactación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó en el municipio de Gómez Palacio, Durango, localizado en los 25° 41' 42'' N y 103° 27' 43'' O, en el establo "Los eucaliptos", el cual cuenta con 1800 vacas en ordeño y con un promedio de producción de 32 litros por día. Todos los procedimientos aplicados a los animales fueron aprobados por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales en Experimentación (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM). Se utilizaron 66 vaquillas gestantes (160-190 días de gestación) las cuales fueron divididas de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar, en dos tratamientos: a) Fotoperíodo de 16 horas luz (L16; n=34), ó b) Fotoperíodo natural (LNAT; n=32).

Para proporcionar 16 h de luz, el corral de vaquillas en L16 fue iluminado en su totalidad con lámparas "Metal-Halide" proporcionando al menos 450 luxes durante el tiempo necesario para completar 16 h por día, durante 60 días; se efectuaron mediciones con un luxómetro para comprobar dicha cantidad de luxes; las lámparas se programaron para encender automáticamente en la tarde, media h antes del crepúsculo, con el fin de asegurar que la luz natural no declinara por debajo de 150 luxes, límite inferior de intensidad lumínica para tener el efecto en los bovinos (Dahl 2005). El corral de los animales LNAT se mantuvo con la iluminación natural de la región (de septiembre a noviembre con 11 horas 28 minutos de luz en promedio). El cálculo del fotoperiodo para la latitud del sitio experimental, se realizó mediante un software disponible en Internet (Lammi, 2011). Para la vigilancia durante la noche se usó una linterna con luz infrarroja (menos de 5 luxes) que no ejerce efectos en los animales (Drouyer *et al.* 2007). Los corrales estuvieron separados al menos 30 metros uno del otro para evitar que la iluminación de uno afectara al otro, y contaron con espacio suficiente para reducir la competencia social entre vaquillas.

La alimentación se realizó de acuerdo al manejo realizado en el establo, se ofreció una ración integral 2 veces al día, que consistió en ensilado de sorgo, rastrojo de maíz, heno de

alfalfa, pasta de canola y mezcla de sales minerales (aporte mínimo de 13 % de PC) la cual fue ofrecida en forma de ración totalmente mezclada. La cantidad ofrecida por corral también fue de acuerdo al manejo del establo y en la misma cantidad en cada corral del experimento; se registró diariamente la cantidad ofrecida de la ración por tratamiento, así como los rechazos para calcular el consumo diario (kg MS/vaquilla).

Todos los animales fueron pesados (PC, kg) y medidos a la cruz (AC, m), al inicio y al final de los tratamientos; con la misma frecuencia se registró el espesor de la grasa dorsal (GG) y la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* (PLD) entre la doceava y treceava vertebra torácica (Bailey *et al.*, 1986) por medio de un ultrasonido con transductor sectorial de 5 a 10 Mhz (Titan-SonoSite©, SonoSite Inc. EUA). Adicionalmente, se midió la pelvis utilizando un pelvímetro de Rice (Rice Pelvimeter, Lane Manufacturing Inc. EUA) para determinar el área pélvica (AP) (Van Donkersgoed *et al.*, 1990), se midió la condición corporal (CC, escala de uno a cinco Edmonson *et al.* 1989) y se registró el tipo de parto (eutócico o distócico). La producción de leche se siguió a través de los registros del establo.

El análisis estadístico de las variables PC, AC, AP, GD, PLD se efectuó mediante ANDEVA, para la producción de leche al día se empleó un análisis de mediciones repetidas empleando el PROC GLM (SAS, 2009) y el tipo de parto se midió mediante el uso de métodos no paramétricos, usando el PROC NPARWAY1 de SAS (2009). En todos los análisis se consideró  $P < 0.05$  para detectar diferencia estadística.

## RESULTADOS

Al inicio del tratamiento se encontró diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre grupos en la altura y el área pélvica, por lo que esta diferencia se utilizó como covariable para el posterior análisis de estas variables a la salida. En otras variables no se encontraron diferencias entre grupos ( $p > 0.05$ ), lo que indica que los animales se encontraban en condiciones similares de manejo y alimentación al inicio del experimento (Cuadro 1).

Cuadro 1 Mediciones corporales de vaquillas al inicio del período al que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o a fotoperiodo natural (LNAT).

|                                    | <b>TRATAMIENTOS</b>     |                           | <b>p</b> |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------|
|                                    | <b>L16</b>              | <b>LNAT</b>               |          |
| <b>Peso Kg</b>                     | 512.9±9.96 <sup>a</sup> | 512.37±10.27 <sup>a</sup> | 0.97     |
| <b>Altura cm</b>                   | 135±1 <sup>a</sup>      | 133±1 <sup>b</sup>        | 0.05     |
| <b>Área Pélvica cm<sup>2</sup></b> | 247.2±2.70 <sup>a</sup> | 256.13±2.78 <sup>b</sup>  | 0.02     |
| <b>Condición corporal</b>          | 2.62±0.03 <sup>a</sup>  | 2.68±0.03 <sup>a</sup>    | 0.32     |
| <b>Grasa dorsal cm</b>             | 0.29±0.01               | 0.31±0.02                 | 0.38     |
| <b>Profundidad de músculo cm</b>   | 4.06±0.10               | 4.14±0.10                 | 0.56     |

<sup>a,b</sup> Distinta literal entre tratamientos indica diferencia estadística

Por otro lado, al final de los 60 días del tratamiento fotoperiódico, se encontró diferencia estadística ( $p < 0.01$ ) en el grosor de la grasa dorsal y en la profundidad del músculo, siendo menor la GD ( $0.250 \pm 0.018$  cm) y mayor el PLD ( $4.442 \pm 0.089$  cm) en las vaquillas de L16, que en las de LNAT ( $0.346 \pm 0.018$  cm y  $3.997 \pm 0.091$  cm respectivamente); de la misma manera, el área pélvica fue mayor ( $p < 0.05$ ) en los animales L16 ( $292.73 \pm 3.07$  cm<sup>2</sup>) que en las vaquillas LNAT ( $283.77 \pm 3.16$  cm<sup>2</sup>). En cuanto al peso, altura, y condición corporal al final del tratamiento fueron similares entre ambos grupos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mediciones corporales de vaquillas gestantes al final del período al que fueron expuestas a 16 h luz (L16) o a fotoperiodo natural (LNAT).

|                                    | <b>TRATAMIENTOS</b>      |                          | <b>p</b> |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
|                                    | <b>L16</b>               | <b>LNAT</b>              |          |
| <b>Peso Kg</b>                     | 541.9±9.96               | 532.68±10.27             | 0.55     |
| <b>Altura cm</b>                   | 138±0.004                | 138±0.004                | 0.36     |
| <b>Área Pélvica cm<sup>2</sup></b> | 292.73±3.07 <sup>a</sup> | 283.77±3.16 <sup>b</sup> | 0.05     |
| <b>Condición corporal</b>          | 2.59±0.03                | 2.63±0.03                | 0.37     |
| <b>Grasa dorsal cm</b>             | 0.25±0.02 <sup>a</sup>   | 0.35±0.02 <sup>b</sup>   | 0.001    |
| <b>Profundidad de músculo cm</b>   | 4.44±0.09 <sup>a</sup>   | 3.99±0.09 <sup>b</sup>   | 0.001    |

<sup>a,b</sup> Distinta literal entre tratamientos indica diferencia estadística

El consumo de alimento durante el período de aplicación del tratamiento lumínico fue menor ( $P < 0.05$ ) en las vaquillas L16 que en las vaquillas LNAT ( $L16 = 9.23 \pm 0.08$  vs.  $LNAT = 10.47 \pm 0.08$ ). Por otro lado, al momento del parto, la condición corporal no fue diferente entre tratamientos ( $L16 = 3.4 \pm 0.2$  vs.  $LNAT = 3.4 \pm 0.1$ ), sin embargo, los animales expuestos a L16 tuvieron significativamente una mayor presentación de partos normales (100 %) en comparación con los animales en fotoperiodo natural (87.5 %) ( $Z = 2.0935$ ,  $P = 0.036$ ) y  $P = 0.89656$ ). En cuanto a la producción de leche por día (Figura 1) no se detectó efecto de la aplicación de horas adicionales de luz ( $P = 0.2609$ ), el promedio de producción fue de  $32.03 \pm 0.86$  para L16 y de  $30.64 \pm 0.86$  para el grupo LNAT; de igual modo, tampoco fue diferente la producción a los 305 días ( $L16 = 9370.35 \pm 300.55$  vs  $LNAT = 8972.536 \pm 300.55$ ).

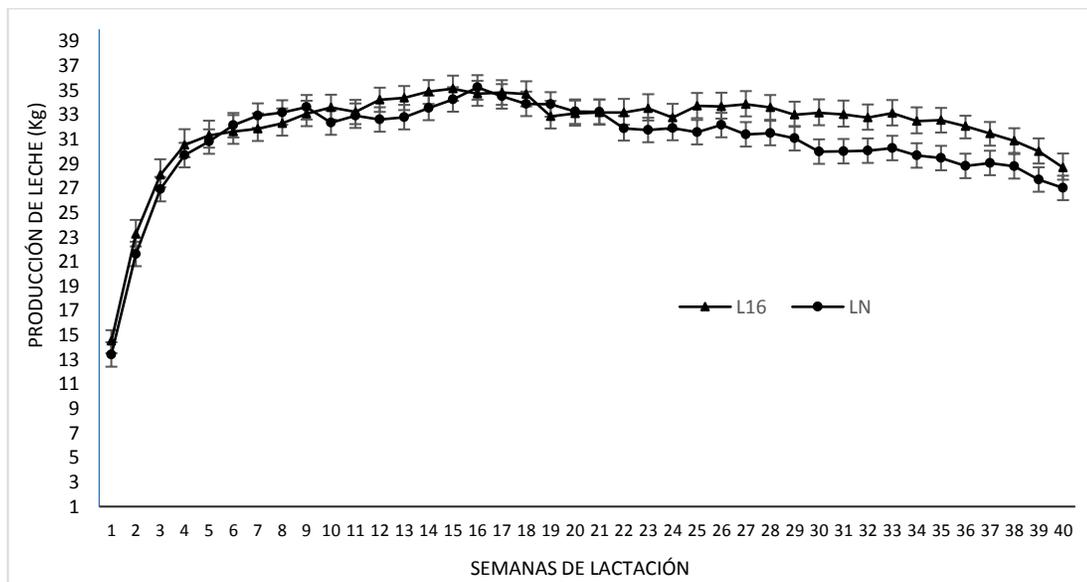


Figura 1. Nivel de producción de leche durante la primera lactación de animales que fueron expuestos a 16 horas luz (L16) o fotoperiodo natural (LNAT) durante 60 días en el segundo tercio de la gestación. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

La manipulación de fotoperíodo durante la gestación en vacas lecheras puede ser una técnica de manejo útil para aumentar la producción de leche en la lactancia subsiguiente (Miller *et al.* 2000) y aunque el fotoperíodo largo durante el período seco no es benéfico para la producción de leche (Miller *et al.* 2000; Lacasse *et al.* 2014), si tiene efectos benéficos en el desarrollo corporal de las vaquillas (Dahl *et al.* 2000; Valenzuela *et al.* 2015). En el presente estudio, el tratamiento con 16 h de luz por 60 días promovió que las vaquillas gestantes tuvieran menor cantidad de grasa y mayor profundidad del musculo *longissimus dorsi*, aunque no hubo efecto en su peso ni la altura, lo que concuerda con lo reportado por nuestro grupo de trabajo en becerras lactantes y vaquillas prepubes en el subtrópico (Valenzuela *et al.* 2015); de la misma manera, pero en otra latitud, Petitclerc *et al.* (1984), reportaron que un fotoperíodo de 16L mejora el porcentaje de proteína en músculo de vaquillas prepubes alimentadas *ad libitum*. Sin embargo, en un estudio con vaquillas gestantes, Newbold *et al.* (1991), no encontraron efecto del fotoperíodo largo en el peso corporal, en la grasa dorsal, ni la profundidad del *longissimus dorsi* de las vaquillas, ni en el peso y longitud de sus fetos; esto después de que los animales estuvieron expuestos a L16 a partir de los 128 días de preñez.

La diferencia de los resultados del presente estudio con el estudio de Newbold, puede relacionarse a la duración de la exposición al fotoperíodo largo, ya que en nuestro estudio fueron solo 60 días bajo 16 h de luz, mientras en el otro estudio la duración del tratamiento fue de 120 días, lo que puede ocasionar que los animales dejen de responder a la estimulación de la luz. En cabras ha sido reportado (Maeda *et al.* 1988) que después de la exposición durante 150 días a días largos artificiales se origina un fenómeno de refractoriedad disminuyendo las concentraciones de prolactina en sangre y en consecuencia los efectos asociados a esta hormona y al fotoperíodo largo. En otros estudios con fotoperíodo largo en vaquillas gestantes (Miller *et al.* 2000; Auchtung *et al.* 2005; Lacasse *et al.* 2014), no se ha evaluado la composición corporal de los animales y el tratamiento con fotoperíodo ha sido en el último tercio de la gestación principalmente para evaluar la producción de leche. Por otro lado, otro parámetro importante en el desarrollo de las vaquillas es la amplitud del área pélvica (Johnson *et al.* 1988; Nogalski, 2002) característica deseable para una hembra de reemplazo y que en este estudio fue influenciada por la exposición a luz suplementaria, ya que las vaquillas bajo 16L tuvieron

mayor área pélvica que las expuestas a fotoperíodo natural. Este mismo efecto del fotoperíodo largo en la amplitud de caderas fue reportado en vaquillas prepúberes por nuestro grupo de trabajo (Valenzuela *et al.* 2015) y al parecer, no hay otra información al respecto con fotoperíodo; sin embargo, una respuesta similar en el aumento del área pélvica fue reportado en vaquillas de carne por McShane *et al.* (1989), quienes aplicaron somatotropina bovina recombinante más una dieta alta en energía a estos animales.

El efecto del fotoperíodo en el área pélvica en las vaquillas L16 puede ser atribuido al incremento sérico de las hormonas IGF-1 y prolactina causado por la luz suplementaria y que ha sido reportado en varios estudios (Peters *et al.* 1980; Dahl *et al.* 1997; Akers *et al.* 2005; Crawford *et al.* 2005; Dahl *et al.* 2012;) en vaquillas Holstein. Se ha comprobado que el IGF-1 promueve el crecimiento y remodelación del tejido óseo (Canalis, 1993), ya que estimula la formación de hueso mediante la regulación de la proliferación, diferenciación y sobrevivencia de los osteoblastos (Grey *et al.* 2003). Además, es un modulador del desarrollo y la supervivencia celular en otros tejidos como músculo (Coolican *et al.* 1997), lo que podría explicar, al menos parcialmente, el incremento muscular observado en las vaquillas.

La prolactina, por otro lado, inhibe la síntesis y liberación de la proteína IGFBP-5 (proteína de unión o ligadora del IGF-1 número 5) en varios tejidos corporales (Tonner *et al.* 1997), favoreciendo una mayor disponibilidad de IGF-1 circulante y local, ya que esta proteína ligadora de IGF-1 no permite que esta hormona ejerza sus efectos mientras permanezca unida a ella. Además, el IGFBP-5 por sí solo, ejerce efectos negativos en los tejidos. Así, en estudios con ratones transgénicos con sobre-expresión de IGFBP-5, induce el nacimiento de un menor número de crías, con bajo peso al nacimiento y con deficiente crecimiento corporal y desarrollo muscular (Devlin *et al.* 2002, Salih *et al.* 2004, Wolf *et al.* 2005). De esta manera, el IGF-1 circulante aumenta por una acción indirecta de la prolactina que inhibe la expresión IGFBP-5 en hígado (Rosato *et al.* 2002) y es independiente de la hormona del crecimiento (GH) (Dahl *et al.* 2000) y de la expresión de sus receptores en las células hepáticas de los bovinos (Kendall *et al.* 2003).

Este incremento en el área pélvica de los animales en fotoperíodo L16 fue reflejado en la presentación de partos distócicos, ya que solamente hubo distocias en el grupo de vaquillas en fotoperíodo natural, que también presentaron una menor área pélvica. Al respecto, se

ha observado que vaquillas con trabajo de parto normal se caracterizan también por tener valores altos de la altura y del ancho (área pélvica) de la pelvis (Nogalski, 2002).

En cuanto a los resultados en producción de leche, no se observó efecto por la exposición al fotoperíodo largo, pues fue similar entre los dos grupos, esta información se contrapone a los diferentes resultados de estudios existentes con vacas (Miller *et al.* 2000; Auchtung *et al.* 2005; Velasco *et al.* 2008) y vaquillas (Petitclerc *et al.* 1990), gestantes donde un fotoperíodo corto (16 horas de oscuridad y sólo 8 de luz) favorece la producción de leche (hasta 3,1 kg más de leche al día; Dahl *et al.* 2000), sin embargo hay que aclarar que ese tratamiento se aplica durante el período seco o últimos dos meses de gestación en vaquillas y en nuestro estudio fue aplicado en el segundo tercio de gestación, además de que el fotoperíodo natural sólo fue en promedio de 12 h y 30 minutos de oscuridad. Sin embargo, Lacasse *et al.* (2014), tampoco encontraron efecto del fotoperíodo corto o largo en la producción de leche de vaquillas, pero si en vacas tratadas durante los dos últimos meses de gestación y sugieren que la glándula mamaria de las vaquillas de primer parto tiene una sensibilidad más baja a las señales del fotoperíodo.

## **CONCLUSIÓN**

Los efectos del fotoperíodo en vacas y vaquillas lecheras se repiten constantemente y la información del presente trabajo lo demuestra y nos permite afirmar que el efecto del fotoperíodo largo en los rumiantes se ejerce de manera similar en el subtrópico que en latitudes más al norte (superiores a 37° LN). Además, a pesar de que en este trabajo la exposición a un fotoperíodo de 16 horas de luz en vaquillas durante la gestación, no mejoró el peso o la altura a la cruz, si fue capaz de afectar las reservas de grasa corporal y favoreció el crecimiento muscular y la amplitud pélvica, lo que resulta en animales más magros y eficientes en la conversión de alimento y con facilidad al parto, sin alterar la producción de leche durante su primera lactación. Vale la pena recalcar la importancia del efecto de la luz en el desarrollo corporal, principalmente en la amplitud de la pelvis, ya que se deriva en una mayor facilidad al parto de las vaquillas, factor clave en el desarrollo de vaquillas de reemplazo.

## LITERATURA CITADA

- Akers RM, Ellis SE, Berry SD (2005). Ovarian and IGF-I axis control of mammary development in prepubertal heifers. *Domest Anim Endocrinol* 29(2):259-267.
- Auchtung, TL, Kendall PE, Salak-Johnson JL, McFadden TB, Dahl GE (2003). Effects of photoperiod and bromocriptine on prolactin receptor mRNA expression in bovine liver, mammary gland, and peripheral blood lymphocytes. *J. Endocrinol.* 179:347–356.
- Auchtung TL, Rius AG, Kendall PE, McFadden TB, Dahl GE (2005) Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production. *J Dairy Sci* 88:121-127.
- Bailey CM, Jensen J, Andersen B (1986) Ultrasonic scanning and body measurements for predicting composition and muscle distribution in young Holstein X Friesian bulls. *J Anim Sci* 63:1337-1346.
- Canalis E (1993) Insulin like growth factors and the local regulation of bone formation. *Bone* 14: 273-276.
- Coolican SA, Samuel DS, Ewton DZ, McWade FJ, Florini JR (1997) The mitogenic and myogenic actions of insulin-like growth factors utilize distinct signaling pathways. *The Journal of Biological Chemistry* 272:6653-6662.
- Crawford, HM, Dauderman, JL, Morin, DE, McFadden, TB, Dahl, GE (2005). Evidence of a role of prolactin in mediating photoperiodic effects during the dry period. *J. Dairy Sci.* 88(Suppl. 1):363.
- Dahl GE, Elsasser TH, Capuco AV, Erdman RA, Peters RR (1997) Effects of a long daily photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-1. *J Dairy Sci.* 80(11):2784-2789..
- Dahl GE, Buchanan BA, Tucker HA (2000) Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J Dairy Sci* 83:885-893.
- Dahl GE, Petitclerc D (2003) Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *J Anim Sci* 81(Suppl. 3):11-17.

- Dahl GE (2005) Let There be Light: Photoperiod Management of Cows for Production and Health. Proceedings 42nd Florida Dairy Production Conference, Gainesville. 35 pp.
- Dahl GE, Tao S, Thompson IM (2012) Lactation Biology Symposium: effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *J Anim Sci.* 90(3):755-760.
- Devlin RD, Du Z, Buccilli V, Jorgetti V, Canalis E. (2002) Transgenic mice overexpressing insulin-like growth factor binding protein-5 display transiently decreased osteoblastic function and osteopenia. *Endocrinology* 143: 3955-3962.
- Drouyer E, Rieux C, Hut RA, Cooper HM (2007) Responses of Suprachiasmatic Nucleus Neurons to Light and Dark Adaptation: Relative Contributions of Melanopsin and Rod–Cone Inputs *Journal of Neuroscience* 27(36):9623-9631.
- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster GA (1989) Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 72:68-78.
- Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejía A, Delgadillo JA, Hernández H (2011) Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *J. Anim. Sci.* 90:856–862.
- Grey A, Chen Q, Xu X, Callon K, Cornish J (2003) Parallel phosphatidylinositol-3 kinase and p42/44 mitogen activated protein kinase signaling pathways subserve the mitogenic and antiapoptotic actions of insulinlike growth factor 1 in osteoblastic cells. *Endocrinology* 144: 4886-4893.
- Johnson SK; Deutscher GH; Parkhurst A (1988). Relationships of pelvic structure, body measurements, pelvic area and calving difficulty. *Journal of Animal Science* 66:1081-1088.
- Kendall PE, Auchtung TL, Swanson KS, Radcliff RP, Lucy MC, Drackley JK, Dahl GE (2003) Effect of photoperiod on hepatic growth hormone receptor 1A expression in steer calves. *Journal of Animal Science* 81: 1440-1446.
- Lacasse P, Vinet CM, Petitclerc D. (2014). Effect of prepartum photoperiod and melatonin feeding on milk production and prolactin concentration in dairy heifers and cows. *Journal of Dairy Science.* 97:3589-3598

Lammi J (2011) Cálculo del fotoperiodo. En: [http://www.tutiempo.net/silvia\\_larocca/Temas/fotoperiodo.htm](http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/fotoperiodo.htm), consultado el 20 de enero del 2011.

Maeda KI; Mori Y; Kano Y (1988). Involvement of melatonin in the seasonal changes of the gonadal function and prolactin secretion in female goats. *Reprod Nutr Dev.* 28(2B):487-497.

McShane TM; Schillo KK; Boling JA; Bradley NW; Hall JB (1989). Effects of recombinant DNA-derived somatotropin and dietary energy intake in development of beef heifers: I. Growth and puberty. *J. Anim. Sci.* 67:2230-2236.

Miller AR; Erdman RA; Douglass LW; Dahl GE (2000). Effect of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83, 962-967.

Newbold JA; Chapin LT; Zinn SA; Tucker HA (1991). Effects of photoperiod on mammary development and concentration of hormones in serum of pregnant dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 74:100-108.

Nogalski Z (2002). Effect of selected factors on the course of parturition in Holstein-Friesian heifers. *Electronic journal of polish agricultural universities* 5:15-25.

Peters, RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1980) Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *J. Anim. Sci.* 51:1148-1153.

Petitclerc D, Chapin LT, Tucker HA (1984) Carcass composition and mammary development responses to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *J Anim Sci.* 58:913-919.

Petitclerc D, Kineman RD, Zinn SA, Tucker HA (1985). Mammary growth response of Holstein heifers to photoperiod. *J. Dairy Sci.* 68:86-90.

Petitclerc, D, Vinet CM, Lacasse P (1990). Peripartum effects of photoperiod and lactose on primiparous Holstein heifers. *Proceedings of 41st Annu. Mtg. EAAP. European Federation of Animal Science (EAAP), Rome, Italy.* 86-87.

- Rius AG, Connor EE, Capuco AV, Kendall PE, Auchtung-Montgomery TL, Dahl GE (2005) Long-day that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *J Dairy Sci* 88:4356-4365.
- Rosato R, Lindenbergh-Kortleve D, van Necck J, Drop S, Jahn G (2002) Effect of chronic thyroxine treatment on IGF-I, IGF-II and IGF-binding protein expression in mammary gland and liver during pregnancy and early lactation in rats. *European Journal of Endocrinology* 146: 729-739.
- Salih DA, Tripathi G, Holding C, Szeszak TA, Gonzalez MI, Carter EJ, Cobb LJ, Eisemann JE, Pell JM (2004) Insulin-like growth factor-binding protein 5 (Igfbp5) compromises survival, growth, muscle development, and fertility in mice. *Proc Natl Acad Sci.* 101(12):4314-4319.
- Statistical Analysis Systems (2009). SAS Institute, Inc. V. 9.2.
- Tonner E, Barber MC, Travers MT, Logan A, Flint DJ (1997). Hormonal control of insulin-like growth factor-binding protein-5 production in the involuting mammary gland of the rat. *Endocrinology* 138:5101-5107.
- Valenzuela JN; Rodríguez HK; Hernández CJ; Vera AH; Núñez HG; Villa GA (2015). 16 hours photoperiod in Holstein heifers in the subtropics: effects in development and age to first estrus. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 2(4):53-67.
- Van Donkersgoed J, Ribble CS, Townsend HG, Janzen ED (1990) The usefulness of pelvic area measurements as an on-farm test for predicting calving difficulty in beef heifers. *Can Vet J.* 31(3): 190–193.
- Velasco, JM; Reid ED; Fried KK; Gressley TF; Wallace RL; Dahl GE (2008). Short-day photoperiod increases milk yield in cows with a reduced dry period length. *J. Dairy Sci.* 91:3467-3473.
- Wall, EH; Auchtung TL; Dahl GE; Ellis SE; Mc-Fadden TB (2005). Exposure to short day photoperiod during the dry period enhances mammary growth in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:1994–2003.

Wolf E, Schneider MR, Zhou R, Fisch TM, Herbach N, Dahlhoff M, Wanke R, Hoeflich A (2005) Functional consequences of IGF1P excess: Lessons from transgenic mice. *Pediatr Nephrol.* 20(3):269-278.

## 8. DISCUSIÓN GENERAL

En el primer experimento durante la etapa de lactancia, el peso final fue similar entre los dos grupos, lo que difiere de lo encontrado por Osborne *et al.* (2007), quienes documentaron que becerras Holstein de 1 a 8 semanas de edad expuestas a 18 h luz, fueron más pesadas que becerras bajo un fotoperíodo de 10 h luz. La diferencia de resultados entre los estudios puede haberse debido a que los autores antes mencionados iniciaron su investigación durante el verano, mientras que nuestro trabajo fue iniciado en otoño, donde posiblemente la temperatura ambiental afectó la secreción de la prolactina (Peters y Tucker 1978), hormona cuya liberación disminuye durante otoño-invierno por efectos de la temperatura ambiental, independientemente de un efecto similar desencadenado por el descenso de las horas luz durante otoño e invierno (Wettemann *et al.*, 1982); consecuentemente, los efectos debidos a la prolactina pudieron ser menores en las becerras del trabajo aquí informado que en el de Osborne *et al.* (2007).

En contraste con las diferencias señaladas, la altura a la cruz de los animales de ambos experimentos no fue afectada por el fotoperíodo durante LAC, por tanto, los dos trabajos publicados parecen indicar que durante dicha etapa de desarrollo, la exposición a 16L no afecta la estatura de las becerras. Después de una minuciosa revisión de literatura, no encontramos otros estudios en los que se hayan analizado los efectos del fotoperíodo en becerras lactantes, por lo que éste es el primer estudio en el que se analizan dichos efectos en el subtrópico o en otras latitudes durante los primeros dos meses de vida de las becerras. Los dos trabajos efectuados con becerras lactantes, el presente y el de Osborne *et al.* (2007), indican que el fotoperíodo de 16 h luz aumenta la eficiencia en la utilización de nutrientes, ya que en nuestro trabajo las becerras sometidas a 16L registraron una mayor ganancia de

peso vivo por unidad de alimento iniciador consumido y en el estudio de Osborne *et al.* (2007), la exposición a L16 generó una mayor GDP que las de fotoperiodo corto. Puesto que otros investigadores determinaron que hembras bovinas prepúberes destetadas expuestas a 16 h luz tuvieron una mejor eficiencia alimenticia que las sometidas a fotoperiodos cortos (Peters *et al.*, 1980; Petitclerc *et al.*, 1983), es factible afirmar que dicha extensión del fotoperiodo resulta ser una herramienta efectiva de manejo para modificar el metabolismo de becerras y vaquillas de tal modo, que el proceso de desarrollo se vuelve más eficiente bajo condiciones tanto de subtrópico como de latitudes al norte del trópico de Cáncer. Conviene señalar que los efectos de 16L ocurrieron en el mismo sentido (crecimiento magro) en animales LAC, PP y gestantes independientemente del experimento y a pesar de las diferencias del fotoperiodo natural ocurrido durante las tres etapas fisiológicas bajo estudio, lo que pudiera indicar que dentro del rango existente en la región, la luz adicional parece ser suficiente estímulo para desencadenar los fenómenos observados en distintas épocas del año. Por otro lado, en lo que respecta a la etapa PP, diversos grupos de investigación han observado que la exposición a un fotoperiodo largo, en comparación con un fotoperiodo natural o de 8 h luz, favorece el crecimiento de vaquillas Holstein (Peters y Tucker, 1978; Petitclerc *et al.*, 1983; Zinn *et al.*, 1986; Tucker *et al.*, 1984; Rius and Dahl, 2006); por tanto, la información del presente trabajo con respecto al incremento de PC, concuerda con la previamente publicada, por lo que la contribución de nuestros hallazgos permite afirmar que el efecto del fotoperiodo de 16 h luz se ejerce de manera similar en el subtrópico que en latitudes superiores a 37° LN. Hasta donde nuestro conocimiento lo permite, esta es la primera vez que se determina el efecto de 16 h luz en el aumento de la amplitud de caderas de las vaquillas, característica deseable para una hembra de cría, ya que potencialmente la influencia de la exposición a luz suplementaria, abatirá las probabilidades de distocia al momento del primer parto.

En el presente estudio encontramos que la exposición a 16L modificó la calidad del crecimiento en ambas etapas, ya que redujo la grasa dorsal e incrementó la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* durante LAC y PP. Con relación a lo

observado por nosotros en becerras lactantes, no existen precedentes de la influencia del fotoperiodo de 16L sobre la composición del crecimiento en esa etapa fisiológica; por el contrario, en vaquillas prepúberes se han reportado varios resultados, algunos de ellos contradictorios, ya que mientras Petitclerc *et al.* (1984), descubrieron que el fotoperiodo de 16L favorece el desarrollo muscular esquelético con respecto al formato de crecimiento promovido por el fotoperiodo corto, el cual conduce hacia una mayor deposición de grasa, Zinn *et al.* (1986) observaron que solamente las vaquillas púberes responden de igual forma al fotoperíodo, pero las vaquillas prepúberes no. Por tanto, nuestros datos apoyan lo encontrado por Petitclerc *et al.* (1984) y permiten proponer que la exposición de hembras bovinas prepúberes a 16 h luz promueve el crecimiento magro desde el nacimiento hasta cuando menos los nueve meses de edad. En cuanto al desarrollo mamario, las vaquillas en L16 tuvieron mayor anchura de la glándula mamaria, lo que indica que el fotoperiodo largo induce un mayor crecimiento de este órgano. Es factible especular que el crecimiento mamario evocado por el fotoperíodo largo sea similar al crecimiento corporal, es decir privilegiando la deposición de tejido no adiposo. Lo anterior no es aventurado, ya que Petitclerc *et al.* (1985), determinaron una mayor cantidad de tejido parenquimal con respecto al adiposo en la glándula mamaria de vaquillas pre y pos-púberes expuestas a 16L, en comparación con animales expuestos a solo ocho h luz.

Por otro lado, el mayor porcentaje de vaquillas en celo y el acortamiento de la edad al primer estro en respuesta a la exposición a 16L por 60 días, corrobora lo observado en un trabajo efectuado a 40° latitud N en el que dicho fotoperiodo aplicado por 210 días adelantó significativamente la pubertad en vaquillas Holstein (Rius *et al.*, 2005); por tanto, nuestro trabajo contribuye con datos que abalan la posibilidad de reducir el costo correspondiente a energía eléctrica hasta por 150 días. Los efectos del fotoperiodo de 16L en una zona subtropical, se asemejan a los observados en latitudes > 40° LN en el inicio de la actividad reproductiva, a pesar de que las hembras bovinas son consideradas como reproductoras no estacionales.

Los mecanismos endocrinos mediante los cuales el fotoperiodo ejerce sus efectos en el desarrollo corporal y mamario cada vez son más claros, sin embargo aún existe mucho por investigar. Existe información que explica algunos elementos involucrados. Por ejemplo, se ha determinado que el aumento de las h luz induce un incremento del factor de crecimiento similar a la insulina (IGF1) circulante en vacas Holstein en producción y en vaquillas de la misma raza (Akers *et al.*, 2005; Dahl *et al.*, 1997). El IGF1 promueve la proliferación de las células mamarias e inhibe su muerte por apoptosis (Akers *et al.*, 2005; Capuco *et al.*, 2003). Igualmente, la concentración de prolactina plasmática aumenta conforme la longitud de las horas de luz se incrementa (Dahl *et al.*, 2012) y aparentemente, los cambios circadianos de la prolactina obedecen a las variaciones de la melatonina, la cual se secreta en mayor cantidad durante la noche (Dahl *et al.*, 2012).

La prolactina, por su parte inhibe la síntesis y liberación de la proteína de unión tipo 5 del IGF1 (IGFBP-5) en varios tejidos corporales (Flint *et al.*, 2005). Por su parte, la IGFBP-5, se une al IGF1 presente en la circulación sanguínea y en la glándula mamaria, impidiendo que éste se una a sus receptores del tejido mamario y ejerza sus efectos positivos (Flint *et al.*, 2005), aumentando con ello la tasa de apoptosis de las células parenquimales y estromáticas de la glándula mamaria (Flint *et al.*, 2005). Otras evidencias generadas en ratones transgénicos con sobreexpresión de la IGFBP-5, indican que dicha proteína reduce el número de crías nacidas y su peso al nacimiento, así como la tasa de crecimiento corporal de las crías sobrevivientes, el desarrollo del músculo esquelético (Salih *et al.*, 2004) y la densidad del tejido óseo (Wolf *et al.*, 2005). Por lo tanto, las interacciones entre prolactina, IGF1 e IGFBP-5 parecen ser los mecanismos que traducen, al menos en parte, los efectos del fotoperiodo de 16L, dirigiendo el crecimiento hacia la deposición de tejidos magros y el desarrollo mamario con una proporción elevada de parénquima. El adelanto de la pubertad en vaquillas expuestas a 16L, documentado en el presente trabajo y en el de Rius *et al.* (2005), es un fenómeno poco entendido, ya que el fotoperiodo largo a pesar de reducir la deposición de tejido adiposo, estimula en bovinos los niveles circulantes de leptina (Dahl *et al.*, 2000;

Bernabucci *et al.*, 2006), hormona asociada con la señalización de madurez somática, propuesta como desencadenante de la pubertad (Petitclerc *et al.*, 1983; Sejrnsen, 1994). No obstante, el incremento de IGF1 como resultado de la exposición de los animales a luz adicional, ha sido propuesto como uno de los factores involucrados en el adelanto de la pubertad, ya que la mayor respuesta de la hormona luteinizante (LH) a la aplicación de kisspeptina, un péptido secretagogo de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), se observó en becerras prepúberes que tuvieron las mayores concentraciones circulantes de IGF1, mas no de leptina (Santos *et al.*, 2013). El hecho de que el incremento sostenido en la secreción pulsátil de GnRH y LH determina la primera ovulación y la ciclicidad estral en hembras prepúberes (Roa y Tena-Sempere, 2010), hace factible la propuesta de Santos *et al.* (2013) de que el IGF1 es uno de los elementos indicadores de la madurez somática que desencadenan la pubertad. Sin embargo, nosotros no observamos un aumento de IGF1 debido a la exposición de becerras o vaquillas a 16L, pero en los animales expuestos tanto en LAC como en PP a dicho fotoperiodo, mostraron que la IGF1 declina linealmente conforme aumenta la edad, mientras que en los animales sometidos a fotoperíodo natural, los niveles de IGF1 aumentan y declinan sin un patrón definido; consecuentemente el efecto de L16 durante LAC y PP sobre IGF1 podría regular el metabolismo, amortiguando los efectos de otros factores no estudiados en el presente trabajo, tales como variaciones en la alimentación, clima o manejo, determinando así un crecimiento mamario y corporal óptimo con el consiguiente impacto positivo en el desempeño productivo y reproductivo.

Otro aspecto importante a remarcar es que en el experimento con vaquillas gestantes, el 100 % de los animales expuestos a L16 en el segundo tercio de la gestación parieron normalmente, mientras que únicamente el 86.2 % de las expuestas a LN lo hicieron de la misma manera, lo que se adjudica al aumento del área pélvica inducido por el fotoperíodo largo. Adicionalmente pueden haber otros mecanismos que determinan el superior desempeño al parto. Un mecanismo alternativo podría ser la reducción de los niveles de IGFBP-5 en sangre y diversos

tejidos durante la exposición a L16, ya que se ha documentado que al declinar la IGFBP-5 en músculo liso y epitelio del útero aumenta el desarrollo y funcionalidad de dichos tejidos (Huyn, 1998). De haber ocurrido lo antes dicho, los animales expuestos a LN pudieron tener una mayor expresión de IGFBP-5 en útero, menor desarrollo muscular del mismo y, por lo tanto, menor capacidad para expulsar el producto durante el parto, con el consiguiente aumento del riesgo de presentar distocia. Al respecto, no se puede descartar un efecto de la mayor adiposidad registrada en el presente estudio de las vaquillas bajo LN, como un factor que puede contribuir al desencadenamiento de la distocia.

La información generada en estos experimentos, indica que la exposición a L16 debe ocurrir en dos períodos del desarrollo de las hembras de reemplazo de 60 días cada uno, la LAC y la etapa PP para inducir un aumento en la producción de leche, ya que si se exponen los animales por 60 días únicamente en la LAC o por 60 ó 90 días durante el período pre o peri-puberal, así como por 60 días durante la gestación, la producción con respecto a la de animales en LN no cambia.

En la literatura encontramos un reporte en el que se expusieron a L16 vaquillas desde los 3 a 10 meses de edad (Rius y Dahl., 2006) o bien en vacas durante el último tercio de la gestación (Dahl y Petitclerc, 2003; Dahl *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2000). En el primero aumentó la producción tal como se observó en nuestro primer experimento con la aplicación de L16 en LAC y etapa PP; mientras que en el segundo, la producción se redujo en comparación con la de vacas con 8 h luz, en contraste con lo registrado en nuestro trabajo con vaquillas gestantes expuestas a L16 en el segundo tercio de la gestación, donde el nivel de producción fue similar al de los animales en LN. Como se mencionó en el caso de los efectos de L16 en el inicio de la pubertad, donde se requieren únicamente 60 días durante la etapa PP para adelantar la presentación del primer estro, la contribución mayor desde el punto de vista productivo de nuestro estudio, es que se pueden lograr incrementos en el desempeño productivo con solo 120 días (60 en LAC y 60 en PP) de L16, con un ahorro en este caso de 90 días respecto a las recomendaciones de Rius y Dahl (2006); consecuentemente, para lograr un pleno efecto de L16 en

crecimiento, inicio de la ciclicidad reproductiva y aumento en el nivel de producción láctea, es recomendable aplicar L16 en las etapas de LAC y PP, ya que dicha práctica puede ser rentable en tanto las vaquillas expuestas a luz logren una lactación de al menos 210 días de duración (Rodríguez *et al.*, 2013).

## 9. CONCLUSION GENERAL

En resumen, la exposición de hembras Holstein prepúberes mantenidas en una región subtropical a un fotoperiodo de 16 h luz (L16), por dos períodos de 60 días, la lactancia y la etapa prepupal (LAC y PP, respectivamente), o durante el segundo tercio de la gestación promovió el crecimiento magro. Asimismo, la luz suplementaria durante la etapa prepupal y en la gestación además de inducir crecimiento magro, promueve un mayor crecimiento pélvico, adelanta la presentación del primer estro, y disminuye la presentación de distocias.

Con toda la información generada en estos estudios concluimos que, al menos parcialmente, el efecto del fotoperiodo largo en los ruminantes se ejerce de manera similar en el subtrópico que en latitudes más al norte (superiores a 37° LN).

Es claramente observado que las tres etapas del desarrollo (lactación, prepupal y gestación) en vaquillas lecheras son claves para la formación de una glándula mamaria altamente productiva y que pueden ser influenciadas al menos parcialmente por el fotoperiodo largo.

Se deben analizar otros parámetros productivos y reproductivos que pueden ser influenciados por el fotoperiodo extendido y dar seguimiento a las subsecuentes lactaciones de estos animales. Además, es necesaria más investigación en nuestra latitud para analizar otros factores que pueden afectar la producción de leche además del fotoperiodo.

## 10. LITERATURA CITADA

- Abeni, F., L. Calamari, L. Stefanini and G. Pirlo. 2000. Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile, and future milk production. *J. Dairy Sci.* 83:1468-1478.
- Abrahamson EE, Moore RY. 2001. Suprachiasmatic nucleus in the mouse: retinal innervation, intrinsic organization and efferent projections. *Brain Research* 916(1-2): 172-191.
- Akayezu JM, Linn JG, Otterby DE, Hansen WP, Johnson DG (1994) Evaluation of calf starters containing different amounts of crude protein for growth of Holstein calves. *J Dairy Sci.* 77(7):1882-1889.
- Akers RM, McFadden TB, Purup S, Vestergaard M, Sejrsen K, Capuco AV (2000). Local IGF-I axis in peripubertal ruminant mammary development. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 5:43-51.
- Akers, R. M. 2002. *Lactation and the Mammary Gland*. Iowa State Press, Ames.
- Akers, R. M. 1985. Lactogenic hormones: Binding sites, mammary growth, secretory cell differentiation and milk biosynthesis in ruminants. *J. Dairy Sci.* 68:413–437.
- Akers, R. M., A. V. Capuco and J. E. Keys. 2006. Mammary histology and alveolar cell differentiation during late gestation and early lactation in mammary tissue of beef and dairy heifers. *Livest. Sci.* 105:44-49.
- Akers RM, Ellis SE, Berry SD (2005) Ovarian and IGF-I axis control of mammary development in prepubertal heifers. *Domestic Animal Endocrinology* 29(2):259-267.
- Auchtung, TL, Kendall PE, Salak-Johnson JL, McFadden TB, Dahl GE (2003). Effects of photoperiod and bromocriptine on prolactin receptor mRNA expression in bovine liver, mammary gland, and peripheral blood lymphocytes. *J. Endocrinol.* 179:347–356.
- Auchtung TL, Rius AG, Kendall PE, McFadden TB, Dahl GE (2005) Effects of photoperiod during the dry period on prolactin, prolactin receptor, and milk production. *Journal of Dairy Science* 88:121-127.
- Auchtung, T L, Dahl GE (2004) Prolactin mediates photoperiodic immune enhancement: Effects of administration of exogenous prolactin on circulating concentrations, receptor expression, and immune function in steers. *Biol. Reprod.* 71:1913–1918.

- Bach A, Kertz A F (2010) Raising Dairy Replacements Objectively: The Value of Data-Based On-Farm Decisions. Proceedings of the 19th Annual Tri-State Dairy Nutrition 77-90.
- Baldwin RL, McLeod KR, Capuco AV (2004) Visceral Tissue Growth and Proliferation During the Bovine Lactation Cycle. *J. Dairy Sci.* 87:2977–2986.
- Beck PA, Gunter SA, Phillips JM, Kreider DL (2005) Development of replacement heifers using programmed feeding. *Professional Animal Scientist* 21:365-370.
- Ben-Jonathan N, Hnasko R, (2001) Dopamine as a prolactin inhibitor. *Endocr. Rev.* 22:724-763.
- Bernabucci U, Basiricò L, Lacetera N, Morera P, Ronchi B, Accorsi PA (2006) Photoperiod affects gene expression of leptin and leptin receptors in adipose tissue from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 4678–4686.
- Berry, S. D., Howard, R. D., & Akers, R. M. 2003. Mammary localization and abundance of laminin, fibronectin, and collagen N proteins in prepubertal heifers. *Journal of Dairy Science* 86:2864-2874.
- Bilodeau PP, Petitclerc D, St. Pierre N, Pelletier G, St. Laurent GJ (1989) Effects of photoperiod and pair-feeding on lactation of cows fed corn or barley grain in total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 72, 2999-3005.
- Blome R, Drackley J K, McKeith FK, Hutjens GC (2003) Growth, nutrient utilization, and bodycomposition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein. *Journal of Animal Science.* 81:1641-1655.
- Boutinaud M, Guinard-Flamenta J, Janunes H (2004) The number and activity of mammary epithelial cells, determining factors for milk production. *Nutrition, Development* 44:499-508.
- Brown EG, Vandehaar MJ, Daniels KM, Liesman JS, Chapin LT, Forrest JW, Akers RM, Pearson RE, Nielsen MS (2005) Effect of increasing energy and protein intake on mammary development in heifer calves. *Journal of Dairy Science* 88(2): 595-603.
- Buchanan BA, Chapin LT, Tucker HA (1992) Prolonged suppression of serum concentrations of melatonin in heifers. *J.Pineal Res.* 12:181–189.

- Capuco AV, Wood DL, Baldwin RL, McLeod KR, Paape MJ (2001) Mammary cell number, proliferation, and apoptosis during the bovine lactation cycle: Relation to milk production and effect of bST. *J. Dairy Sci.* 84:2177–2187.
- Capuco AV, Ellis SE, Garrett WM, Akers RM (2002) Postnatal mammary ductal growth: three-dimensional imaging of cell proliferation, effects of estrogen treatment and expression of steroid receptors in prepubertal calves. *Tissue and Cell.* 34(3):9-20.
- Capuco AV, Ellis SE, Hale SA, Long E, Erdman RA, Zhao X, Paape MJ (2003) Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies. *Journal of Animal Science* 81 Suppl. 3:18-31.
- Casey TM, Plaut K (2012) Lactation Biology Symposium: Circadian clocks as mediators of the homeorhetic response to lactation. *Journal of Animal Science* 90:744-754.
- Collier RJ., Dahl GE., VanBaale MJ (2006) Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science.* 89: 1244–1253.
- Dahl GE, Elsasser TH, Capuco AV, Erdman RA, Peters RR (1997) Effects of a long daily photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-1. *Journal of Dairy Science* 80(11):2784-2789.
- Dahl GE, Buchanan BA, Tucker HA (2000) Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science* 83:885-893.
- Dahl GE, Tao S, Thompson IM (2012) Lactation Biology Symposium: effects of photoperiod on mammary gland development and lactation. *Journal of Animal Science* 90(3):755-760.
- Dahl GE, Petitclerc D (2003) Management of photoperiod in the dairy herd for improved production and health. *Journal of Animal Science* 81(Suppl. 3):11-17.
- Daniels KM, McGilliard ML, Meyer MJ, Van Amburgh ME, Capuco AV, Akers RM (2009) Effects of body weight and nutrition on histological mammary development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 92: 499-505.
- Dardente H, Klosen P, Pe´vet P, Masson-Pe´vet M (2003) MT1melatonin receptor mRNA expressing cells in the pars tuberalis of the European hamster: Effect of photoperiod. *J. Neuroendocrinol.* 15:778–786.

- Dardente H, Hazlerigg DG, Ebling FJP (2014) Thyroid hormone and seasonal rhythmicity. *Frontiers in Endocrinology* 26(5):1-11.
- Elsasser TH, Rumsey TS, Hammond AC (1989) Influence of diet on basal and growth hormone-stimulated plasma concentrations of IGF-1 in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 67:128–141.
- Evans NM, Hacker RR (1989) Effect of chronobiological manipulation of lactation in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 72:2921–2927
- Faber SN, Faber NE, McCauley TC, Ax RL (2005) Effects of colostrum ingestion on lactational performance. *The Professional Animal Scientist.* 21:420-425.
- Flint DJ, Boutinaud M, Tonner E, Wilde CJ, Hurley W, Accorsi PA, Kolb AF, Whitelaw CB, Beattie J, Allan GJ (2005) Insulin-like growth factor binding proteins initiate cell death and extracellular matrix remodeling in the mammary gland. *Domestic Animal Endocrinology* 29(2):274-282.
- Flores MJ, Flores JA, Elizundia JM, Mejía A, Delgadillo JA, Hernández H (2011) Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. *Journal of Animal Science* 90:856–862.
- Forbes J, El Shahat A, Jones R., Duncan JGS, Boaz TG (1979) The effect of daylength on the growth of lambs: I. Comparisons of sex, level of feeding, shearing and breed of sire. *Anim. Prod.* 29:33-42.
- Forbes J (1982) Effects of lighting pattern on growth, lactation and food intake of sheep. cattle and deer. *Livest. Prod. Sci.* 9: 361-374.
- Freeman ME, Kanyicska BL, Lerant A, Nagy GR (2000) Prolactin: Structure, Function, and Regulation of Secretion. *Physiological Reviews*, 80, 1523-1631.
- Gabler MT, Tozer PR, Heinrichs AJ (2000) Development of a cost analysis spreadsheet for calculating the costs to raise a replacement dairy heifer. *J. Dairy Sci.* 83:1104-1109.
- Galas L, Raoult E, Tonon MC, Okada R, Jenks BG, Castan˜o JP, Kikuyama S, Malagon M, Roubos EW & Vaudry H (2009) TRH acts as a multifunctional hypophysiotropic factor in vertebrates. *General and Comparative Endocrinology* 164 40–50.

- Garcia-Hernandez R, Newton G, Horner S, Nuti LC (2007) Effect of photoperiod on milk yield and quality, and reproduction in dairy goats. *Livestock Science* 110:215-220.
- Gasser CL, Behlke EJ, Grum DE, Day ML (2006) Effect of timing of feeding a high-concentrate diet on growth and attainment of puberty in early-weaned heifers. *J. Anim. Sci.* 84:3118–3122.
- Gooley JJ, Lu J, Chou TC, Scammell TE, Saper CB (2001) Melanopsin in cells of origin of the retinohypothalamic tract. *Nat Neurosci* 4:1165.
- Greives TJ, Mason AO, Scotti MA, Levine J, Ketterson ED, Kriegsfeld LJ, Demas GE (2007) Environmental control of kisspeptin: implications for seasonal reproduction. *Endocrinology*. 148:1158–1166.
- Hammond J (1940) *Farm Animals: Their Breeding, Growth, and Inheritance*. Edward Arnold and Co. University Of Cambridge, London 51.
- Hansen PJ, Kamwanja LA, Hauser ER (1983) Photoperiod influences age at puberty of heifers. *J. Anim. Sci.*, 57: 985-992.
- Hansen PJ (1985) Seasonal modulation of puberty and the postpartum anestrus in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 12: 309–327.
- Hansen M, Misztal I, Lund MS, Pedersen J, Christensen LG (2004) Undesired phenotypic and genetic trend for stillbirth in Danish Holsteins. *Journal of Dairy Science* 87:1477–1486.
- Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW (2002) Melanopsin-containing retinal ganglion cells: Architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* 295:1065-1070.
- Hazlerigg DG, Hastings MH, Morgan PJ (1996) Production of a prolactin releasing factor by the ovine pars tuberalis. *Journal of Neuroendocrinology*, 8, 489-492.
- Heinrichs AJ (1993) Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *Journal of Dairy Science* 76:3179-3187.
- Heinrichs AJ, Gabler MT (2003): Dietary Protein to Metabolizable Energy Ratios on Feed Efficiency and Structural Growth of Prepubertal Holstein Heifers. *Journal of Dairy Science*. 86(1):268-274.

- Heinrichs AJ, Heinrichs BS (2011) A prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd. *J. Dairy Sci.* 94:336-341.
- Hoffman PC, Funk DA (1992) Applied dynamics of dairy replacement growth and management. *J. Dairy Sci.* 75:2504-2516.
- Hoffman PC, Brehm NM, Price SG, Prill-Adams A (1996): Effect of accelerated postpubertal growth and early calving on lactation performance of primiparous Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 79:2024-2031.
- Hovey RC, Trott JF, Vonderhaar BK (2002) Establishing a framework for the functional mammary gland: from endocrinology to morphology. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia* 7, 17–38.
- Huyn H (1998) Suppression of uterine insulin-like growth factor binding protein 5 by estrogen is mediated in part by insulin-like growth factor I. *International Journal of Oncology* 12(2): 427-459.
- Ingvartsen KL, Andersen HR, Foldager J (1992) Random variation in voluntary dry matter intake and the effect of day length on feed intake capacity in growing cattle. *Acta. Agríc. Scand.* 42: 121-126.
- Jasper J, Weary DM (2002): Effects of Ad Libitum Milk Intake on Dairy Calves. *Journal of Dairy Science* 85(11):3054-8.
- Johnsson ID, Hart IC (1985) Pre- pubertal mammogenesis in the sheep. 1. The effects of level of nutrition on growth and mammary development in female lambs. *Anim Prod* 41:323.
- Johnston JD, Messenger S, Ebling FJP, Williams LM, Barrett P, Hazlerigg DG (2003) Gonadotrophin-releasing hormone drives melatonin receptor down-regulation in the developing pituitary gland. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100, 2831-2835.
- Kendall PE, Auchtung TL, Swanson KS, Radcliff RP, Lucy MC, Drackley JK, Dahl GE (2003) Effect of photoperiod on hepatic growth hormone receptor 1A expression in steer calves. *Journal of Animal Science* 81:1440-1446.
- Klein DC, Coon SL, Roseboom PH, Weller JL, Bernard M, Gastel JA, Zatz M, Iuvone PM, Rodriguez IR, Begay V, Falcon J, Cahill GM, Cassone VM, Baler R (1997) The melatonin rhythm-

generating enzyme: molecular regulation of serotonin-N-acetyltransferase in the pineal gland. *Rec Prog Horm Res* 52: 307–357.

Knight CH, Peaker M (1982) Mammary cell proliferation in mice during pregnancy and lactation in relation to milk yield. *J. Exp. Physiol.* 67, 165–177.

Ko CH, Takahashi JS (2006) Molecular components of the mammalian circadian clock. *Hum. Mol. Genet.* 15 (Suppl 2), R271–R277.

Kokolis N, Theodosiadou E, Tsantariotou M, Rekkas C, Goulas P, Smokovitis A (2000). The effect of melatonin implants on blood testosterone and acrosin activity in spermatozoa of the ram. *Andrologia* 32, 107-114.

Koprowski JA, Tucker HA (1973) Serum prolactin during various physiological states and its relationship to milk production in the bovine. *Endocrinology* 92, 1480-1487

Lamberts SW, Macleod RM (1990) Regulation of prolactin secretion at the level of the lactotroph. *Physiol. Rev.* 70, 279-318.

Lammers BP, Heinrichs AJ (2000) The Response of Altering the ratio of Dietary Protein to Energy on Growth, Feed Efficiency, and Mammary Development in Rapidly Growing Prepubertal Heifers. *Journal of Dairy Science* 83:977-983.

Lawrence LJ, Fowler VR (2012) *Growth of Farm Animals*. 3rd Edition. CABI Wallingford UK, Cambridge, Ma, USA, 352.

Le Cozler Y, Lollivier V, Lacasse P, Disenhaus C (2008) Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers: a review. *Animal* 9:1393-1404.

Le Cozler Y, Peyraud JL, Troccon JL (2009) Effect of feeding regime, growth intensity and age at first insemination on performances and longevity of Holstein heifers born during autumn. *Livestock Science* 124:72-81.

Lincoln GA, Andersson H, Hazlerigg D (2003) Clock genes and the long-term regulation of prolactin secretion: evidence for a photoperiod/circannual timer in the pars tuberalis. *J Neuroendocrinol* 15:390–397

Malpoux B, Migaud M, Tricoire H, Chemineau P (2001) Biology of Mammalian Photoperiodism and the Critical Role of the Pineal Gland and Melatonin. *J Biol Rhythms*, 16, 336-347.

- Marcek JM, Swanson LV (1984) Effect of photoperiod on milk production and prolactin of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67:2380–2388.
- Martin JL, Vonnahme KA, Adams DC, Lardy GP, Funston RN (2007) Effects of dam nutrition on growth and reproductive performance of heifer calves. *J. Anim. Sci.* 2007. 85:841–847.
- Mikolayunas CM, Thomas DL, Dahl GE, Gressley TF, Berger YM (2008) Effect of prepartum photoperiod on milk production and prolactin concentration of dairy ewes. *J. Dairy Sci.*, 91: 85–90.
- Miller AR, Stanisiewski EP, Erdman RA, Douglass LW, Dahl GE (1999) Effects of long daily photoperiod and bovine somatotropin (Trobest®) on milk yield in cattle. *Journal of Dairy Science* 82:1716–1722.
- Miller AR, Douglass LW, Erdman RA, Dahl GE (2000) Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83:962–967.
- Mondain-Monval M, Smith AJ, Simon P, Møller OM, Scholler R, McNeilly AS (1988) Effect of melatonin implantation on the seasonal variation of FSH secretion in the male blue fox (*Alopex lagopus*). *J Reprod Fertil* 83, 345-354.
- Morgan PJ, Webster CA, Mercer JG, Ross AW, Hazlerigg DG, Maclean A, Barrett P (1996) The ovine pars tuberalis secretes a factor(s) that regulates gene expression in both lactotropic and nonlactotropic pituitary cells. *Endocrinology*, 137, 4018-26.
- Morgan PJ (2000) The Pars Tuberalis: The Missing Link in the Photoperiodic Regulation of Prolactin Secretion? *Journal of Neuroendocrinology*, 12, 287-295.
- Mossberg I, Jonsson H (1996) The influence of day length and temperature on food intake and growth rate of bulls given concentrate or grass silage ad libitum in two housing systems. *Anim. Sci.* 62:233–240.
- Naito, E, T Watanabe, H Tei, T Yoshimura, and S Ebihara (2008) Reorganization of the suprachiasmatic nucleus coding for day length. *J Biol Rhythms*. 23:140–149.
- Nakao N, Ono H, Yoshimura T (2008) Thyroid hormones and seasonal reproductive neuroendocrine interactions. *Reproduction* 136, 1–8.

- Neville MC, Medina D, Monks J, Hovey RC (1998) The mammary fat pad. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 3:109-116.
- Osborne VR, Odongo NE, Edwards AM, McBride BW (2007) Effects of photoperiod and glucose-supplemented drinking water on the performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science* 90(11): 5199-207.
- Owens FN, Dubeski P, Hanson CF (1993) Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:3138-3150.
- Panda S, Sato TK, Castrucci AM, Rollag MD, DeGrip WJ, Hogenesch JB, Provencio I, Kay SA (2002) Melanopsin (Opn4) requirement for normal light- induced circadian phase shifting. *Science* 298:2213-2216.
- Payne LF, Simmons LJ (1934). Management of leghorn hens and pullets with and without artificial lights. *Poult Sci.* 13:323–332.
- Peters RR, Chapin LT, Leining KB, Tucker HA (1978) Supplemental lighting stimulates growth and lactation in cattle. *Science* 199:911–912.
- Peters RR, Tucker HA (1978) Prolactin and growth hormone responses to photoperiod in heifers. *Endocrinology* 103:229–234.
- Peters RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1980) Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *Journal of Animal Science* 51:1148-1153.
- Peters RR, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1981) Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone, and glucocorticoid response of cows to supplemental light. *Journal of Dairy Science* 64:1671–1678.
- Petitclerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA (1983) Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 57:892–898.
- Petitclerc D, Chapin LT, Tucker HA (1984) Carcass composition and mammary development responses to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 58:913-919.

- Petitclerc D, Kineman RD, Zinn SA, Tucker HA (1985) Mammary growth response of Holstein heifers to photoperiod. *Journal of Dairy Science* 68:86-90.
- Phillips CJC, Schofield SA (1989) The effect of supplementary light on the production and behavior of dairy cows. *Anim. Prod.* 48:293–303.
- Phillips CJC, Johnson PN, Arab TM (1997) The effect of supplementary light during winter on the growth, body composition and behaviour of steers and heifers. *Anim. Sci.* 65:173–181.
- Picazo RA, Lincoln GA (1995) Light control of the duration of the daily melatonin signal under long and SD in the Soay ram. Role of inhibition and entrainment. *Journal of Biological Rhythms* 10 55–63.
- Plaut K, Bauman DE, Agergaard N, Kers RM (1987) Effect of exogenous prolactin administration on lactational performance of dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology* 4:279–290
- Plaut K, Ikeda M, Vonderhaar BK (1993) Role of growth hormone and insulin-like growth factor-I in mammary development. *Endo* 133:1843.
- Porter PA, Luhman CM (2002) Changing photoperiod improves persistency in high producing Holstein cows. *J Dairy Sci.* 85 (Suppl. 1):
- 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.
- Reiter RJ, Tan DX, Fuentes-Broto L (2010) Melatonin: A multitasking molecule. *Prog Brain Res.* 181:127-151.
- Rinker DLE, VandeHaar MJ, Wolf CA, Liesman JS, Chapin LT, Weber Nielsen MS (2011) Effect of intensified feeding of heifer calves on growth, pubertal age, calving age, milk yield, and economics. *J. Dairy Sci.* 94:3554–3567.
- Rius AG, Connor EE, Capuco AV, Kendall PE, Auchtung-Montgomery TL, Dahl GE (2005) Long-day that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 88:4356-4365.
- Rius AG, Dahl GE (2006) Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. *Journal of Dairy Science* 89:2080-2083.

- Roa J, Tena-Sempere M (2010) Energy balance and puberty onset: emerging role of central mTOR signaling. *Trends Endocrinol. Metab.* 21(9): 519-528
- Rodríguez HK, Villa GA, Valenzuela JN, Núñez HG; (2013). Aplicación de luz suplementaria en vaquillas de reemplazo. Folleto Técnico No 25, INIFAP, Coahuila, México. 14.
- Rose J, Slayden O, Stormshak F (1996) Melatonin- induced downregulation of uterine prolactin receptors in mink (*Mustela vison*). *Gen Comp Endocrinol* 103, 101-106.
- Russo VM, Cameron AWN, Dunshea FR, Tilbrookc AJ, Leurya BJ (2013) Artificially extending photoperiod improves milk yield in dairy goats and is most effective in late lactation. *Small Ruminant Research* 113 179-186
- Salih DA, Tripathi G, Holding C, Szeszak TA, Gonzalez MI, Carter EJ, Cobb LJ, Eisemann JE, Pell JM (2004) Insulin-like growth factor-binding protein 5 (*Igfbp5*) compromises survival, growth, muscle development, and fertility in mice. *Proc Natl Acad Sci.* 101(12):4314-4319.
- Santos ER, Calderón RRC, Arreguín AJA, Villa GA (2013) Kisspeptina: Aplicación potencial en la reproducción de los Rumiantes. *Memorias de la XL Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, Tabasco México* 81-99.
- Schanbacher BD, Crouse JD (1980) Growth and performance of growing finishing lambs exposed to long or short photoperiods. *J. Anim. Sci.* 51 (4): 943-948.
- Sejrsen K (1994) Relationships between nutrition, puberty and mammary development in cattle. *Proc Nutr Soc*, 53:103.
- Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M, Foldager J (2000) High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Domestic Animal Endocrinology.* 19:93-104.
- Shamay AD, Werner U, Moallem H, Barash, Bruckental I (2005) Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 88:1460-1469.
- Sheffield LG (1988). Organization and growth of mammary epithelia in the mammary fat pad. *J. Dairy Sci.* 71:2855–2874

- Sinha YN, Tucker HA (1969). Mammary development and pituitary prolactin level of heifer from birth through puberty and during the estrous cycle. *J. Dairy Sci.* 52:507-512.
- Small JA, Glover ND, Kennedy AD, McCaughey WP, Ward DR (2003) Photoperiod effects on the development of beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 721-730.
- Spicer LJ, Buchanan BA, Chapin LT, Tucker HA (2007) Effect of exposure to various durations of light on serum Insulin-like growth factor-1 in prepubertal Holstein heifers. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 2: 42-45.
- Sreekumar KP, Sharp PJ (1998) Ontogeny of the photoperiodic control of prolactin and luteinizing hormone secretion in male and female bantams (*Gallus domesticus*). *Gen Comp Endocrinol.* 109:69-74.
- Stanisiewski EP, MelleMBERGER RW, Anderson CR, Tucker HA (1985) Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science* 68: 1134-1140.
- Stanisiewski, E. P., Chapin, L. T., Rzepkowski, R. A. and Tucker, H. A. 1987. The effect of continuous light on prolactin secretion in prepubertal Holstein bulls. *Life Sciences* 41: 1029- 1035.
- Sumová A, Trávníčková Z, Peters R, Schwartz WJ, Illnerová H (1995) The rat suprachiasmatic nucleus is a clock for all seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92, 7754-7758.
- Suttie JM, Breier BH, Gluckman PD, Littlejohn RP, Webster JR (1992) Effects of melatonin implants on insulin-like growth factor 1 in male red deer (*Cervus elaphus*). *Gen Comp Endocrinol* 87:111-119.
- Tosini G, Menaker M (1996) Circadian rhythms in cultured mammalian retina. *Science* 272:419-421.
- Tucker HA, Petitclerc D, Zinn ZA (1984) The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake, and hormone secretion. *Journal of Animal Science* 59:1610-1620.
- Tucker HA (1987) Quantitative estimates of mammary growth during various physiological states: A review. *J. Dairy Sci.* 70:1958-1966.

- Tucker HA (1994) Lactation and its hormonal control. In *The Physiology of Reproduction*. Vol. 2. E. Knobil and J. D. Neill, ed. Raven Press, New York, NY:1065-1098.
- Tucker H.A. 2000. Hormones, mammary growth, and lactation: a 42-year perspective. *Journal of Dairy Science* 83: 874-884.
- Tyler HD, Ensminger ME (2006) *Dairy Cattle Science*. 4th ed. Pearson Prentice Hall. Columbus, Ohio. Pp. 371-381.
- Van Amburgh ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DGL, Chase E, Erb HN (1998): Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science* 81:527-538
- Van Baale MJ, Armstrong DV, Etchebarne MA, Mattingly RM, Fiscalini JB (2005) Case study: supplemental light for lactating dairy cows. *Prof Anim Sci*. 21:521–523.
- Vandehaar MJ (2001) Accelerated growth for dairy heifers: I'd rather bet on blackjack. *Proceedings of the 5th Western Dairy Management Conference*, Las Vegas, Nevada. Pp 123-131.
- Waldo DR, Capuco AV, Rexroad CE (1998) Milk production of Holstein heifers fed either alfalfa or silage diets at two rates of daily gain. *J. Dairy Sci*. 81:756-764.
- Weaver DR, Namboodiri MAA, Reppert SM (1988) Iodinated melatonin mimics melatonin action and reveals discrete binding sites in fetal brain. *Febs Letters* 228:123-127.
- Wettemann RP, Tucker HA, Beck TW, Meyerhoeffer DC (1982) Influence of ambient temperature on prolactin concentrations in serum of Holstein and Brahman x Hereford heifers. *Journal of Animal Science* 55:391-394.
- Williams LM, Lincoln GA, Mercer JG, Barrett P, Morgan PJ, Clarke IJ (1997) Melatonin receptors in the brain and pituitary gland of hypothalamo-pituitary disconnected soay rams. *Journal of Neuroendocrinology* 9:639-643.
- Wolf E, Schneider MR, Zhou R, Fisch TM, Herbach N, Dahlhoff M, Wanke R, Hoeflich A (2005) Functional consequences of IGFBP excess: Lessons from transgenic mice. *Pediatr Nephrol*. 20(3):269-27
- Yamazaki S, Alones V, and Menaker M (2002) Interaction of the retina with suprachiasmatic pacemakers in the control of circadian behavior. *J Biol Rhythms* 17:315-329.

Zanton GI, Heinrichs AJ (2005) Meta-analysis to assess the effect of prepuberal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *Journal of Dairy Science* 88:3860-3867.

Zinn SA, Purchas RW, Chapin LT, Petitclerc D, Merkel RA, Bergen WG, Tucker HA (1986) Effects of photoperiod on growth, carcass composition, prolactin, growth hormone and cortisol in prepubertal and postpubertal Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 63: 71-82.