

**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**

*Campus Loma Bonita*

---

**LICENCIATURA EN ZOOTECNIA**

**CONSUMO DE ALIMENTO Y DESARROLLO CORPORAL DE  
BECERRAS HOLSTEIN EXPUESTAS A UN FOTOPERÍODO LARGO**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

**PRESENTA:**

**MARIA DE JESUS BAUTISTA OCAMPO**

**DIRECTOR:**

**DR. NICOLÁS VALENZUELA JIMÉNEZ**

**Loma Bonita, Oaxaca, México, 2019**



**UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN**  
Campus Loma Bonita

LA PRESENTE TESIS TITULADA “CONSUMO DE ALIMENTO Y DESARROLLO CORPORAL DE BECERRAS HOLSTEIN EXPUESTAS A UN FOTOPERÍODO LARGO” PRESENTADA POR LA PASANTE **MARIA DE JESUS BAUTISTA OGAMPO**, BAJO LA DIRECCION DEL **DR. NICOLÁS VALENZUELA JIMÉNEZ**, HA SIDO ACEPTADA Y REVISADA POR EL JURADO EXAMINADOR INDICADO PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

**JURADO EXAMINADOR**

\_\_\_\_\_  
**DR. NICOLÁS VALENZUELA JIMÉNEZ**  
DIRECTOR

\_\_\_\_\_  
**DR. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTINEZ**  
REVISOR

\_\_\_\_\_  
**M.C. JULIÁN COTERA RIVERA**  
REVISOR

**LOMA BONITA, OAXACA, MEXICO 2019**



# Universidad del Papaloapan

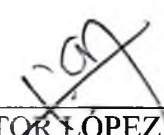
FECHA:	23 de Octubre del 2019
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/257/2019
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

**C. Maria de Jesús Bautista Ocampo**  
**PRESENTE:**

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Consumo de alimento y desarrollo corporal de becerras Holstein expuestas a un fotoperiodo largo”** así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.  
terra ubérrima, mens aperta  
Bou Lo-tama, chi jí jú

  
MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA  
Vice-Rector Académico.



C.c.p. Dra. Tania Zúñiga Marroquín Jefe de Carrera de la Lic. En Zootecnia  
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
C.c.p. Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez. Director de Tesis.  
C.c.p. Archivo.



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

Loma Bonita, Oaxaca a 16 de octubre de 2019.

**M.E. Yesenia Barrientos Arenal**  
Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
**PRESENTE**

Mediante la presente, le informo que la Jefatura de carrera de la Licenciatura en Zootecnia con el visto bueno de la Vice-rectoría Académica, ha designado a los siguientes profesores como sinodales del examen profesional de la exalumna, la **C. María de Jesús Bautista Ocampo**, quien defenderá su trabajo de tesis titulado **“Consumo de alimento y desarrollo corporal de becerras Holstein expuestas a un fotoperiodo largo”**.

**Titulares:**

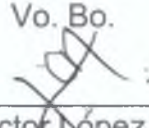
Presidente: M.C. Julián Cotera Rivera  
Secretario: Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Mar  
Vocal: Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez

**Suplentes:**

Dr. Sergio Ramírez Ordoñez  
Dr. Wilber Hernández Montiel

Sin más por el momento, le envió un cordial saludo.

**Atentamente**  
**UNPA**  
TERRA VERTICIMA, CVMVS APERTA  
RVM LO-REVM, CHI ET IO  
OAXACA  
LICENCIATURA  
EN ZOOTECNIA  
Dra. Tania Zuñiga Mamquín  
Jefa de Carrera de Lic. en Zootecnia

Vo. Bo.  
  
M.C. Héctor López Arjona  
Vice-rector Académico

C.c.p.: M.C. Hector López Arjona. Vicerector académico. Para su conocimiento  
C.C.p: Archivo

## I. DEDICATORIA

### **A mi familia:**

Ninguna familia es perfecta, sin embargo, la nuestra es a su manera, sé que al inicio de esto no estaban seguros de que lo lograría y hasta yo lo dude en su momento. Les doy gracias por formar parte de esta etapa profesional, por su confianza, cariño y sus palabras de aliento a continuar con este proyecto.

### **A mis padres y hermano:**

Maria del Carmen y Bonfilio Bautista: Por su apoyo económico y moral, por su guía en mi formación académica y por estar en cada etapa de mi vida.

Jonathan: Por tus palabras de motivación que me ayudaron en los momentos difíciles.

### **A mi esposo y a mi hija Victoria:**

Por ser parte de la motivación, cariño, amor, por todo gracias.

## II. AGRADECIMIENTOS

### **A la Universidad del Papaloapan Campus Loma Bonita:**

Por permitirme ser parte de esta institución, por los conocimientos adquiridos y por el enorme apoyo durante mi estancia.

### **A mi director de tesis:**

Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez por su apoyo y dirección durante mi formación académica y científica; por su confianza y sobre todo su paciencia.

### **A los miembros de mi comité:**

**Dr. Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez** y **MC. Julián Cotera Rivera**, por su tiempo y conocimiento dedicado a la asesoría durante el proceso de revisión de este escrito.

### **Al establo “Los eucaliptos”**

Por permitirme la entrada y utilización de sus animales para la realización de este experimento.

### III. INDICE

I. DEDICATORIA.....	III
II. AGRADECIMIENTOS.....	IV
III. INDICE.....	V
IV. INDICE DE CUADROS.....	VII
V. ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
VI. RESUMEN.....	IX
VII. ABSTRACT.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
3. HIPÓTESIS.....	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Importancia de la producción de vaquillas de reemplazo.....	5
4.2. Sistema de crianza de vaquillas.....	6
4.3. Alimentación.....	8
4.4. Crecimiento y desarrollo corporal.....	13
4.5. Efectos la nutrición y el fotoperiodo en el crecimiento y desarrollo corporal.....	15
4.6. Pubertad en vaquillas de reemplazo.....	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1. Ubicación y características del área de estudio.....	25
5.2. Animales y manejo.....	25
5.3. Tratamientos y diseño experimental.....	27
5.4. Desarrollo del experimento.....	29
5.5. Toma de datos y variables medidas.....	31
5.5.1. Peso corporal.....	32
5.5.2. Ganancia diaria de peso.....	32
5.5.3. Altura a la cruz.....	32
5.5.4. Condición corporal.....	32
5.5.5. Composición corporal.....	32
5.5.6. Consumo de alimento.....	33
5.5.7. Eficiencia alimenticia.....	33
5.5.8. Conversión alimenticia.....	33

<b>5.6. Análisis estadístico .....</b>	<b>33</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>7.1 Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>7.2 Recomendaciones.....</b>	<b>45</b>
<b>8. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>47</b>

#### IV. INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Esquema de vacunación utilizado para todas las becerras y para las becerras del experimento .....	26
2. Contenido nutricional del concentrado iniciador (Nuplen 2629®) proporcionado a las becerras incluidas en el estudio.....	26
3. Contenido nutricional de la leche entera de vaca ofrecida (cuatro litros/día) a las becerras incluidas en el estudio .....	27
4. Programación del encendido y apagado de las lámparas en el área donde se alojaron las becerras bajo un fotoperíodo largo (FL) durante la lactancia .....	30
5. Mediciones corporales de becerras al inicio del experimento con fotoperíodo largo (FL) o un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia .....	35
6. Mediciones corporales y ganancia diaria de peso (GDP) de becerras al final del experimento con fotoperíodo largo (FL) o un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia.....	36

## V. ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
<b>1.</b>	Fotoperíodo natural o fotoperíodo largo (16 horas luz) aplicado a becerras Holstein durante la etapa de lactancia .....	28
<b>2.</b>	División de la nave de crianza por medio de cortinas para evitar el paso de luz de un lugar a otro .....	29
<b>3.</b>	Luxómetro y termohigrómetro utilizados en el experimento .....	31
<b>4.</b>	Consumo total de alimento concentrado (kg) de becerras expuestas a un fotoperíodo extendido de 16 horas luz (FL) o a un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia .....	41
<b>5.</b>	Consumo de alimento concentrado en base húmeda (BH) por día de becerras expuestas a un fotoperíodo largo de 16 horas luz (FL) o a un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia .....	41
<b>6.</b>	Conversión alimenticia durante la lactancia (60 días) de becerras Holstein sometidas a fotoperíodo largo (FL) o fotoperíodo natural (FN).....	42

## VI. RESUMEN

El trabajo de investigación fue realizado en una granja de producción de leche en Gómez Palacio, Durango, con el fin de evaluar el desarrollo corporal y consumo de alimento de becerras Holstein expuestas a un fotoperíodo largo. Se utilizaron 300 becerras recién nacidas que se asignaron mediante un diseño completamente al azar a un fotoperíodo largo de 16 horas de luz (FL) (n=150) o a un fotoperíodo natural (FN) (n=150), durante 60 días. Al inicio y al final del experimento se midió peso corporal y altura a la cruz. Mediante ultrasonografía se midió la cantidad de grasa dorsal y la profundidad del musculo *Longissimus dorsi*. Además, se midió la ganancia diaria de peso, así como el consumo diario de alimento y la eficiencia alimenticia. En todos los análisis, se consideró una  $p < 0.05$ . No se encontraron diferencias entre tratamientos para peso, altura a la cruz y ganancia diaria de peso al final del tratamiento ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, la cantidad de grasa dorsal fue menor ( $p < 0.05$ ; FL=0.060±0.001 cm vs FN=0.076 ± 0.001 cm) y la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* fue mayor ( $p < 0.05$ ; FL=2.69 ± 0.02 cm vs FN=2.56 ± 0.02 cm) en las becerras del grupo FL. Las becerras del grupo FN tuvieron el mayor ( $p < 0.05$ ) consumo diario de alimento (FL=0.566±0.015 vs FN=0.638±0.015 kg/día) y consumo total de alimento (FL=33.9 ±0.02 kg vs FN=38.3 ±0.02 kg) durante los 60 días. Finalmente, la eficiencia alimenticia (99% vs 87%) y la conversión alimenticia (1.06 vs 1.15 fueron mejores ( $p < 0.05$ ) en las becerras FL que en las becerras FN, respectivamente. Se concluye que la exposición a un fotoperíodo de 16 horas de luz durante la lactancia, no mejora el peso, la altura, ni la ganancia diaria de peso, sin embargo, si afecta la composición corporal, influyendo en los tejidos adiposo y muscular, lo que resulta en becerras magras y eficientes en la utilización de nutrientes.

**Palabras claves:** Fotoperíodo, becerras Holstein, consumo de alimento.

## VII. ABSTRACT

This research was carried out in a dairy farm in Gómez Palacio, Durango, in order to evaluate the body development and feed intake of Holstein calves exposed to a long photoperiod. Three hundred newborn calves were assigned by a completely random design to a long photoperiod of 16 hours of light (FL) (n=150) or a natural photoperiod (FN) (n=150), during 60 days. At the beginning and at the end of the experiment, the body weight and withers height were measured. The thickness of subcutaneous back-fat and depth of the *Longissimus dorsi* muscle were measured by ultrasound. In addition, daily weight gain, daily feed intake, feed efficiency and feed conversion were measured. In all analyzes, a significance of  $p < 0.05$  was considered. No differences were found between treatments for weight, withers height and daily weight gain at the end of the treatment. However, the thickness of subcutaneous back-fat was lower ( $p < 0.05$ ; FL=0.060±0.001 cm vs FN=0.076±0.001 cm) and depth of the *Longissimus dorsi* muscle was higher ( $p < 0.05$ ; FL=2.69±0.02 cm vs FN=2.56±0.02 cm) in calves of the FL group. The calves of the FN group had the highest ( $p < 0.05$ ) daily feed intake (FL=0.566±0.015 vs FN=0.638±0.015 kg/day) and total feed intake (FL=33.9 ±0.02 kg vs FN=38.3 ±0.02 kg) during the 60 days. Finally, feed efficiency (99% vs 87) and feed conversion (1.06 vs 1.15) were better ( $p < 0.05$ ) in FL group than in FN group, respectively. It is concluded that exposure to a photoperiod of 16 hours of light during lactation, does not improve weight, withers height and daily weight gain, however, it affects body composition, influencing adipose and muscle tissues, resulting in lean calves and efficient use of nutrients.

**Keywords:** Photoperiod, Holstein calves, food consumption.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en México no es suficiente para cubrir las demandas de la población (SIAP-SADER, 2018), por lo que es necesario utilizar estrategias para mejorar los sistemas de producción del país. La crianza de becerras es una actividad importante dentro de la ganadería lechera, ya que de esta depende la cantidad y calidad de los reemplazos que en unos años se convertirán en vacas productoras. Una mala crianza afectará de manera negativa el desarrollo corporal de las becerras y su desempeño productivo en el futuro (Sejrsen *et al.*, 2000; Macdonald *et al.*, 2005). En los hatos lecheros, normalmente existe un 25 a 35% de desecho anual de las vacas en producción (Hernández, 2012). Por lo tanto, se debe considerar tener el número de reemplazos necesarios para sustituir a los animales desechados, así como para permitir el crecimiento programado del hato (Heinrichs, 1993).

Durante la crianza de es importante fomentar el crecimiento y desarrollo corporal de los animales, ya que ambos se relacionan de manera directa con el desarrollo de la glándula mamaria y la posterior capacidad productiva de la hembra. Se tiene evidencia que durante las primeras diez semanas de vida existe un desarrollo importante de la glándula mamaria (Sejrsen *et al.*, 2000; Medina, 2011), por lo que se puede influir de manera positiva en el mismo ofreciendo más nutrientes a base de leche natural en lugar de sustitutos (Soberon *et al.*, 2012). Se ha demostrado que las dietas con alto contenido de energía y proteína estimulan el desarrollo de la glándula mamaria aumentando la proporción del tejido epitelial productor de leche en comparación con el tejido graso, por lo que estos animales

producirán más leche (Daniels *et al.*, 2009). En contraparte, un exceso de alimento puede ser perjudicial, debido a que hay una mayor deposición de tejido graso en la glándula mamaria y una menor producción de leche (Zanton y Heinrichs, 2005; Daniels *et al.*, 2009).

El fotoperíodo es otro factor que afecta el crecimiento, la reproducción, el desarrollo de la glándula mamaria y la producción de leche (Dalh *et al.*, 2000; Rao *et al.*, 2017). En estudios realizados modificando el fotoperíodo durante la crianza de becerras, se han obtenido resultados variables en el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia (Dalh *et al.*, 2000; Rao *et al.*, 2017). Por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones al respecto para determinar el efecto del fotoperíodo en los parámetros de crecimiento de las becerras. Asimismo, es importante mencionar que toda la información relacionada con el fotoperíodo y el crecimiento en bovinos se ha generado en latitudes superiores a 39°LN (Dalh *et al.*, 2000), donde existen diferencias muy marcadas a lo largo del año. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar en la latitud de nuestro país, el consumo de alimento y el desarrollo corporal en becerras Holstein expuestas a un fotoperíodo largo de 16 horas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto del fotoperíodo largo de 16 horas por 60 días, durante la etapa de lactancia sobre el consumo de alimento, crecimiento y desarrollo corporal de becerras Holstein en México.

### **2.2. Objetivos particulares**

**2.2.1.** Cuantificar el consumo de alimento en becerras Holstein sometidas a un fotoperíodo de 16 horas de luz, en comparación con animales bajo fotoperíodo natural menor a 12 horas de luz.

**2.2.2.** Determinar el crecimiento, el desarrollo y composición corporal (proporción grasa y músculo) de becerras Holstein sometidas a fotoperíodo largo o fotoperíodo natural.

### **3. HIPÓTESIS**

- 3.1.** Las becerras Holstein sometidas a 16 horas luz durante su etapa de lactancia tendrán mayor consumo de alimento que sus contemporáneas en fotoperiodo natural menor a 12 horas de luz.
  
- 3.2.** Las becerras Holstein sometidas a 16 horas de luz durante su lactancia tendrán mayor peso y altura al destete que los animales con fotoperíodo natural menor a 12 horas de luz.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Importancia de la producción de vaquillas de reemplazo

En el país existen diversas ramas dentro de la ganadería. El sector lechero es uno de los de mayor importancia, debido a que no solo aporta un alimento de alto valor nutricional, sino que juega un papel fundamental dentro de la economía del sector primario industrial (ASERCA, 2010). El inventario de vacas lecheras en México hasta el año 2017 corresponde a 2,506,130 cabezas y ha mostrado un crecimiento en los últimos años (SIAP-SADER, 2018). Sin embargo, sigue habiendo importaciones de ganado lechero, pues también en 2017 fueron importadas de Estados Unidos y Canadá unas 17,000 vacas lecheras según el INEGI (INEGI, 2018). Por otro lado, la producción de leche en México históricamente ha presentado el fenómeno de una demanda mayor que la oferta (FIRA, 2019) y a pesar de que la producción continúa creciendo, ésta no ha sido suficiente para cubrir los requerimientos del consumo nacional (15,288 millones de litros). En 2018, la producción diaria de leche se ubicó en un promedio de 32.9 millones de litros y el SIAP proyecta que la producción nacional de leche en 2019 se incremente 2.3 por ciento, para ubicarse en un nuevo máximo histórico de 12,279 millones de litros (FIRA, 2019).

De acuerdo con algunos estudios, México no es autosuficiente tanto en la producción de becerras de reemplazo lecheras como en la producción de leche (Gasque y Blanco, 2005; Osnaya, 2007). Si en los próximos años mejora la crianza de vaquillas en cantidad y calidad de animales, la producción de leche se incrementará.

Uno de los objetivos del sistema de crianza de reemplazos en el ganado lechero siempre ha sido producir vaquillas o novillonas que tengan un parto a los dos años de edad (24 o 25 meses) y con un peso de 550 a 580 kg. Además, la producción de estos animales debe ser suficiente en cantidad y tiempo para sustituir a las vacas que se desechan anualmente (25 a 35 %) (Hernández, 2012), Aunado a esto, es necesario buscar dentro del proceso de crianza la obtención de animales de mejor calidad genética con mayor capacidad para producir leche.

#### **4.2. Sistema de crianza de vaquillas**

La cría de becerras desde el nacimiento hasta la etapa de vaquillas al parto es un proceso muy importante, el cual repercute en la producción de leche futura dentro del hato y en la rentabilidad del mismo. Sin embargo, se trata de una actividad costosa y sin ingresos económicos instantáneos, ya que se necesitan dos años para criar una novilla o vaquilla hasta su primer parto. Además, durante este período pueden ocurrir diferentes enfermedades y trastornos que tienen un impacto económico mayor o menor (Heinrichs y Heinrichs, 2011). De esta forma, la crianza de becerras de reemplazo puede considerarse una inversión con ingresos económicos más bien indirectos a través de la producción de leche futura. Por lo anterior, el objetivo final de la cría de becerras es lograr vaquillas sanas con buena composición genética, con buen peso y conformación corporal, que sean capaces de alcanzar un alto nivel de producción de leche de manera duradera.

Se considera que uno de los principales factores que influye en el costo de la crianza de vaquillas de reemplazo es la edad al primer parto. Hoy en día, los

sistemas de crianza de hembras de reemplazo tienen como meta que la edad promedio al primer parto sea de 24 meses, ya que esto implica una disminución en los costos de producción (Heinrichs, 1993). Cuando el manejo es deficiente, el crecimiento es lento y los reemplazos no paren a los 24 meses, por lo que se reduce el número de vacas en producción. Lo anterior genera un incremento en los costos de producción por mantenerlas y alimentarlas durante más tiempo (Parker, 1996).

El crecimiento rápido garantiza que las hembras paren a una edad adecuada, reduciendo los costos de la crianza, al lograr en las vacas una producción temprana (Johnson, 1986; Soberón *et al.*, 2012). Es necesario entonces, lograr establecer una ganancia de peso aceptable mediante un sistema adecuado de manejo y alimentación, que permita a las vaquillas alcanzar temprano la pubertad y un desarrollo óptimo para inseminarlas a los 13 meses. El registro del peso y altura de los animales es la mejor forma de dar seguimiento y observar la velocidad de crecimiento. Con ello, se puede determinar la madurez fisiológica del animal y su posterior inseminación (Heinrichs *et al.*, 1993), la cual se recomienda cuando estos animales hayan alcanzado el 55 o 60 % de su peso adulto (Bath *et al.*, 1993; Şentürklü *et al.*, 2015).

De acuerdo a la edad de los animales, el proceso de crianza puede ser dividido en varias etapas que incluyen la lactancia, el destete, la pubertad, el primer servicio y el parto. Para fines de manejo, los animales también se pueden agrupar de acuerdo a la edad en becerras lactantes (1 día a dos meses), becerras de 2 a

6 meses de edad, becerras de 6 a 12 meses de edad, vaquillas de 12 a 24 meses de edad y vaquillas gestantes (Gardner *et al.*, 1988; Lin *et al.*, 1988).

Las primeras semanas de vida son las más críticas para la crianza de vaquillas; ya puede haber una gran tasa de mortalidad (Márquez *et al.*, 2001). En algunos establos del país, se llegan a perder entre 6.5% y 52% de las becerras (Valdespino, 1993), o bien, los animales que llegan a la edad para ser reemplazos, no expresan su máximo potencial productivo.

La velocidad de crecimiento en becerras se ha logrado controlar mediante un manejo nutricional adecuado. Asimismo, mediante otras estrategias se ha intentado obtener un mayor desarrollo de su capacidad de producción de leche futura (Brown *et al.*, 2005).

### **4.3. Alimentación**

Los programas de alimentación de las vacas, afectan a las becerras de manera significativa durante los dos meses previos al parto, ya que durante este período ocurre la mayor parte del crecimiento fetal. Además, el programa de manejo de la madre afecta la calidad y la cantidad de anticuerpos encontrados en el calostro que produce, lo que influye directamente en la salud de la cría después del nacimiento. Las vacas secas deben alimentarse con una ración equilibrada para satisfacer sus necesidades de nutrientes, apoyar el crecimiento del feto y generar calostro de buena calidad y cantidad.

Inmediatamente después del nacimiento la alimentación del becerro comienza con el suministro de calostro, el cual se debe seguir ofreciendo durante los

primeros 3 días; cada becerro debe consumir el 10 % de calostro de acuerdo a su peso corporal, dentro de las primeras dos horas de vida, de modo que una becerro de 40 kilos debe recibir por lo menos cuatro litros de calostro (Ontsouka *et al.*, 2016). El calostro es la primera secreción de la glándula mamaria inmediatamente después del parto, es de color amarillento y contiene proteínas, carbohidratos solubles, grasa, minerales y altos niveles de inmunoglobulinas (anticuerpos), que juegan un papel importante en el establecimiento de la inmunidad pasiva en los becerros. Los anticuerpos son moléculas proteicas grandes y sólo son absorbidos intactos por la pared intestinal del becerro, durante las primeras dos horas de vida, ya que estas células se encuentran separadas permitiendo el paso de moléculas grandes, después de ese momento las células se unen y no se vuelven a separar, en este punto el intestino no puede absorber más moléculas grandes. Este mecanismo de transferencia pasiva de la inmunidad comienza a disminuir en las primeras horas después del nacimiento y cesa en promedio a las 24 h (Ontsouka *et al.*, 2016). Si el becerro no consume el calostro antes de las primeras dos horas de vida, los anticuerpos no serán absorbidos o la cantidad absorbida será mínima. Las becerras que presenten fallas en la transferencia de inmunidad, no tendrán los anticuerpos necesarios para combatir ciertas enfermedades y estarán expuestas a microorganismos patógenos. Wells *et al.* (1996) mencionan que los becerros que no reciben calostro tienen 74 veces más probabilidades de morir en las primeras tres semanas de vida.

Para llevar a cabo un buen manejo del becerro al parto, se recomienda seguir las indicaciones emitidas por The Dairy Calf and Heifer Association (DCHA, 2016). Para la primera toma se deben ofrecer cuatro L de calostro a becerras Holstein de tamaño promedio inmediatamente del nacimiento. Se puede proporcionar una segunda toma de dos litros (o más si la becerro acepta) seis horas más tarde. Más tomas de calostro mezclado con la leche se pueden ofrecer durante los primeros días de vida para proporcionar nutrición adicional y protección local contra enfermedades (Medina, 2011; Espinosa *et al.*, 2014).

Después de la alimentación inicial de calostro, durante los próximos tres días las becerras deben recibir leche de transición, es decir calostro mezclado con leche o pasar directamente a la leche entera o sustituto de leche durante toda la crianza o lactancia. En los sistemas de crianza intensivos la etapa de lactancia dura de 30 a 60 días, mientras el aparato digestivo de las becerras adquiere la capacidad de digerir carbohidratos estructurales como la celulosa y hemicelulosa.

El programa de nutrición debe ser dirigido a alcanzar las tasas de crecimiento y desarrollo adecuadas para estos animales, buscando destetar a las becerras a una edad temprana y pasar exclusivamente a alimentos concentrados y forrajes más económicos, por lo que en la lactancia la becerro será sometida a este proceso de adaptación para el consumo de alimentos sólidos (Quigley *et al.*, 1995).

Las becerras requieren más de 3.8 litros de leche natural o de 500 g de sólidos de sustituto de leche por día para cumplir con los requerimientos de mantenimiento (DCHA, 2016), por lo que se pueden ofrecer dos litros de leche

en la mañana y dos litros en la tarde con ocho h de diferencia. Además, en la primera semana también se debe ofrecer agua limpia y un alimento concentrado iniciador alto en proteína, con el fin de promover el desarrollo de las papilas del rumen (Heinrichs, 2005). Cuando el alimento iniciador llega al rumen, promueve una fermentación con producción de ácidos grasos volátiles (AGV) como el butirato y el propionato, y estos a su vez promueven el desarrollo del retículo y rumen (Khan *et al.*, 2016; Govil *et al.*, 2017). El rumen iniciará una serie de cambios complejos que implican que se desarrolle en tamaño y en habilidades de absorción y metabólicas (Quigley *et al.*, 1995; Heinrichs, 2005). Por lo anterior, se debe resaltar que el alimento iniciador ofrecido debe ser de excelente calidad y muy palatable para favorecer su consumo. Las becerras destetadas a las ocho semanas deben tener buen apetito, esperando que consuman de 1.8 a 2.3 kg de alimento concentrado por animal por día durante tres días consecutivos antes del destete completo.

Tradicionalmente, en México el destete de las becerras lecheras se realiza a los 60 o 70 días de edad (Espinosa *et al.*, 2014). Aunque en sistemas intensivos de Estados Unidos, Hopkins *et al.* (1997) demostraron que, las becerras destetadas a los 28 días y alimentadas con 3.8 L de leche entera una vez al día no tuvieron efectos adversos en su salud y tuvieron un crecimiento y ganancia diaria de peso aceptable, por lo que su recomendación es destetar a las seis semanas en lugar de las ocho semanas (60 días) de edad. Al destetar temprano, se ahorrarán dos semanas de alimentación de leche y las becerras consumirán más alimento iniciador. Espinosa *et al.* (2014) recomiendan hacer un destete paulatino,

reduciendo la cantidad del alimento líquido a la mitad de lo ofrecido dos días antes del destete, para lograr una transición gradual al alimento sólido. Desde el punto de vista nutricional, el momento más adecuado para destetar a la becerrea es cuando consume suficiente concentrado, ya que la ingesta de concentrado es un buen indicador del desarrollo del rumen. Por lo tanto, el criterio para decidir el destete no debe basarse sólo en el peso y edad (ocho semanas), sino que debe hacerse con base en la ingesta de concentrado. Por regla, se considera el momento adecuado para realizar el destete, cuando las becerras coman como mínimo 750 g a un kg de alimento iniciador al día durante al menos 3-4 días consecutivos (Espinosa *et al.*, 2014; DCHA, 2016).

La alimentación posterior al destete debe asegurar que las becerras mantengan un buen crecimiento. Básicamente, el objetivo durante este periodo que abarca desde el destete hasta el primer servicio a los 14 o 15 meses de edad, será que las becerras ganen alrededor de 750 g de peso al día, para obtener una vaquilla a dicha edad con un peso cercano a los 350 kg y una altura de 1.25 m (Espinosa *et al.*, 2014; DCHA, 2016). De igual manera, se debe cuidar que la becerrea no tenga una ganancia de peso mayor a la mencionada, debido a que el exceso de alimento hará que engorde demasiado y se afecte el desarrollo y función de la glándula mamaria produciendo menos leche (Sejrsen *et al.*, 2000). Para asegurar dicho crecimiento, los animales deben consumir forrajes de buena calidad como la alfalfa y ser suplementados con 1.5 a 2.0 kg/día de concentrado con 16% de proteína cruda, además de contar con acceso a sales minerales y agua permanente (Espinosa *et al.*, 2014). Después de los seis meses, se puede

suplementar a los becerros con pequeñas cantidades de ensilado y forrajes fibrosos de menor calidad, ya que el becerro a esta edad, tiene un rumen funcionando a plena capacidad y es un verdadero rumiante.

#### **4.4. Crecimiento y desarrollo corporal**

El crecimiento y el desarrollo son procesos básicos del organismo influenciados por factores tales como la nutrición, el potencial genético y el ambiente (Owens *et al.*, 1993). De acuerdo al estudio clásico de Hammond (1940), el crecimiento es el aumento de peso y altura experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta, mientras 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 (Lonergan *et al.*, 2019). De esta forma, el crecimiento de una vaquilla consiste en un incremento de su tamaño y peso corporal, pero que se debe acompañar con un adecuado desarrollo de todos sus aparatos y sistemas con especial énfasis en su aparato reproductivo y su glándula mamaria, ya que la función principal de una vaca lechera es producir leche eficientemente (Lonergan *et al.*, 2019).

El desarrollo corporal puede ser dividido en tres etapas; el desarrollo prepuberal, que se caracteriza por un crecimiento relativamente armónico entre peso y tamaño; el desarrollo durante la pubertad dónde hay un incremento significativo en el tamaño y la etapa pospuber o adulta en dónde hay un incremento significativo en el peso (Lawrence y Fowler, 2012; Lonergan *et al.*, 2019). En los animales se tiene que dar seguimiento a estas tres etapas determinando la ganancia diaria de peso o también llamada tasa de crecimiento. Además, la tasa

de crecimiento y el peso corporal se correlacionan directamente con la producción de leche durante la primera lactación (Heinrichs y Heinrichs, 2011). Si bien hay muchos factores que intervienen en la cría de vaquillas, el objetivo principal es producir animales bien desarrollados que estén listas para parir entre los 22 y 24 meses de edad, ya que las vaquillas menos desarrolladas no solo son más pequeñas y menos productivas, sino que también son propensas a tener más problemas en el parto. Por otro lado, acelerar el crecimiento de las vaquillas con sobrealimentación de concentrados o forrajes de alta calidad, también reduce la producción de leche y la longevidad de por vida (Sejrsen *et al.*, 2000).

Monitorear el crecimiento midiendo la altura y el peso de las becerras, es una de las formas más importantes para medir el desempeño de las vaquillas. La estimación visual del peso corporal puede ser muy poco confiable, por lo que hay que medir y pesar a los animales frecuentemente con báscula o cintas métricas para detectar posibles problemas a tiempo.

En el período prepuberal de dos a diez meses de edad, una ganancia diaria de peso de 750 g por día resulta en una alta producción de leche en la primera lactación y el rendimiento de proteínas de la leche (Daniels *et al.*, 2009). Por lo tanto, un rango recomendado para la ganancia diaria promedio en el período prepuberal es de 720 g a 860 g/día. Los valores por debajo o por arriba de este rango, se relacionan con una menor producción de leche en la primera lactación y debe evitarse (Sejrsen *et al.*, 2000).

Las vaquillas Holstein deben alcanzar el 55% de su peso corporal maduro (320 a 350 kg) y el 90% de su altura final (122 cm a 127 cm) a los 14 o 15 meses.

Después del parto, las vaquillas deben pesar del 85 al 90% del peso corporal maduro (515 a 587 kg) y el 95% de su altura final (132 a 140 cm). La medición regular del crecimiento de vaquillas permitirá ajustar las raciones para cumplir con estos objetivos. El peso corporal durante el parto tiene una relación directa sobre la producción de leche de la primera lactación (Dawson y Carson, 2004). Durante las fases de desarrollo de las becerras, algunas partes del cuerpo crecen a la misma tasa de crecimiento que todos los tejidos corporales (crecimiento isométrico) y otras muestran un crecimiento desigual en relación al resto del cuerpo (crecimiento alométrico). Así, en la glándula mamaria el parénquima secretor de leche se desarrolla de tres a cuatro veces más rápido que las demás células del cuerpo en el período de los tres a los nueve meses de edad, mientras que el retorno al crecimiento mamario isométrico coincide con el inicio de la pubertad o poco después (Sejrsen *et al.*, 1982; Sejrsen, 1994). Por lo tanto, la variación en la edad y el peso vivo al inicio de la pubertad es un factor importante para el crecimiento mamario.

#### **4.5. Efectos la nutrición y el fotoperiodo en el crecimiento y desarrollo corporal**

**4.5.1. Nutrición.** Las tasas de crecimiento pueden alterarse con el objetivo obtener el peso corporal adecuado en cada etapa y principalmente al momento del parto. Un ejemplo claro es el manejo nutricional de las becerras y vaquillas, el cual ha sido muy estudiado y se ha modificado para obtener buenas ganancias de peso, pero procurando un desarrollo adecuado de la glándula mamaria. Sin

embargo, los resultados han sido variables. Soberón *et al.* (2012), reportaron que la alimentación intensiva con leche o sustituto de leche a las becerras en lactancia mejoró la producción de leche en su primera lactación. También concluyeron que, el aumento de la tasa de crecimiento antes del destete resulta en alguna forma de programación epigenética que aún no se comprende, pero que tiene efectos positivos en su producción en la primera lactación. Asimismo, los autores proponen al manejo nutricional de la becerro como el principal factor ambiental que influye en la expresión de la capacidad genética del animal para la producción de leche.

En un estudio llevado a cabo por Shamay *et al.* (2005), se concluye que amamantar con leche *ad libitum*, en comparación con el sustituto de leche, mejora el peso corporal pero no el tamaño del animal adulto. Además, disminuye la edad de inicio de la pubertad y aumenta la producción de leche en la primera lactación. Los autores observaron que, complementar la dieta con 2% de PC (con harina de pescado) durante el período prepuberal (180 a 270 días de edad) aumentó el peso corporal y la producción de leche durante la primera lactación. Sin embargo, otros estudios (Davis Rinker *et al.*, 2011; Kiezebrink *et al.*, 2015) no han podido detectar diferencias en la producción de leche, grasa y proteínas cuando las becerras recibieron mayores volúmenes de leche o sustitutos de leche con mayor densidad de nutrientes. Además, la alimentación intensiva de leche o sustituto de leche también puede disminuir el consumo del alimento iniciador aumentando el número de días con heces líquidas (Cowles *et al.*, 2006; Stamey *et al.*, 2012), lo que puede tener efectos negativos en el rendimiento en la primera lactancia.

Por otro lado, se ha demostrado que la tasa de crecimiento de las vaquillas después del destete hasta la pubertad está relacionada cuadráticamente con el rendimiento de la leche, con una producción máxima en vaquillas con ganancia de peso de 799 g/día (Zanton y Heinrichs, 2005). Para disminuir la edad al primer parto, las vaquillas deben ser alimentadas para obtener tasas de crecimiento aceleradas (>800 g/día) antes de la pubertad. Sin embargo, las dietas de alta energía que permiten una rápida ganancia de peso o una sobrealimentación de los 3 a los 10 meses de edad influyen negativamente en el desarrollo mamario (Sejrsen *et al.*, 2000). Cuando las vaquillas crecen a una tasa superior a los 800 g/día en el periodo del destete al primer parto, se logran animales más gordos, con una glándula mamaria de más volumen, pero con una mayor cantidad de tejido graso y una menor producción láctea en su primera lactación (Daniels *et al.*, 2009), a diferencia de los animales que crecen a un ritmo de 700 a 750 g/día (Zanton y Heinrichs, 2005; Daniels *et al.*, 2009). Sin embargo, Brown *et al.* (2005) reportaron que la rápida tasa de crecimiento en los primeros tres meses de vida influye más en el desarrollo mamario que la del periodo posterior al destete, concluyendo que, una alimentación con elevado contenido energético y proteico durante la etapa de lactancia, estimula el desarrollo de la glándula mamaria con una mayor proporción de tejido epitelial. Después de ese periodo, el crecimiento mamario se deberá a una mayor deposición de tejido graso.

**4.5.2. Fotoperíodo.** El fotoperíodo o la cantidad de luz existente durante un día es la señal ambiental más utilizada por los animales para predecir cambios ambientales y alterar sus respuestas fisiológicas en función de ellos (Goldman,

2001). Cuando se habla de manejo del fotoperíodo, las respuestas se asocian con su influencia en el estado reproductivo estacional de especies como borregas y yeguas. Sin embargo, también hay otros procesos fisiológicos afectados por el fotoperíodo, como el crecimiento y composición corporal, cambios de pelaje e incluso la producción de leche en vacas lecheras (Peters *et al.*, 1981; Marcek y Swanson 1984; Miller *et al.*, 1999; Dahl *et al.*, 2000; Rao, *et al.*, 2017), ovejas (Bocquier *et al.*, 1998) y cabras (Flores *et al.*, 2011). Además, también hay evidencia de que el fotoperíodo también controla los cambios estacionales en la función inmune y, por lo tanto, en la salud animal (Dowell, 2001; Auchtung y Dahl, 2004). Con respecto a la lactación, en vacas Holstein recién paridas el cambio de un fotoperíodo corto (menos de 12 h de luz/día) a un fotoperíodo largo (16 a 18 h de luz/día) durante 60 días, aumenta la producción de leche en promedio de 2.5 kg/vaca por día (Dahl *et al.*; 2000; Rao *et al.*, 2017).

También, en algunos estudios se ha observado un incremento en la tasa de crecimiento a causa de un fotoperíodo largo en vaquillas (Peters *et al.*, 1980; Zinn *et al.*, 1986; Dahl *et al.*, 2000;). Rius *et al.* (2005) comprobaron que un régimen de 16 h de luz en vaquillas Holstein prepúberes, acelera la pubertad e incrementa la estatura y el peso y mejora el desarrollo de la glándula mamaria, en comparación con animales mantenidos en 16 h de oscuridad. Además, se ha determinado que las vaquillas presentan un crecimiento magro y tienen una mayor producción en su primera lactación cuando son mantenidas en un régimen de 16 horas de luz comparados con animales con 16 horas de oscuridad (Rius y Dahl, 2006). De igual manera, en otros estudios donde se han expuesto vaquillas

a un fotoperíodo de 16 horas de luz, se ha observado un incremento en la cantidad de músculo de estos animales en comparación con aquellos con solo ocho horas de luz (Petitclerc *et al.*, 1984).

Los cambios metabólicos y fisiológicos que produce el fotoperíodo largo aún no son explicados en su totalidad, se ha propuesto que las hormonas y otros factores implicados son los responsables de un posible aumento en el consumo de alimento. Es importante mencionar que más del 90 % de las investigaciones sobre fotoperíodo largo en ganado lechero, citadas en esta revisión de literatura, se han realizado en vacas adultas o vaquillas prepúberes.

**4.5.3. Efectos fisiológicos del fotoperíodo.** El fotoperíodo está regulado por la síntesis rítmica de la hormona melatonina, la cual se da por la combinación de los efectos directos de luz y oscuridad. La producción de melatonina alcanza sus valores más altos durante el periodo oscuro en aves y mamíferos (Reiter *et al.*, 2010), y está controlada por la producción de una enzima implicada en su síntesis, llamada “N-acetiltransferasa” (NAT), cuya actividad es mayor en la noche incrementando hasta 150 veces y disminuyendo muy rápidamente después de la exposición a la luz (Lincoln *et al.*, 2003).

La luz es captada por las células fotorreceptoras de la retina y controla la producción de melatonina en la glándula pineal. Básicamente, la luz inhibe la liberación de melatonina, a través de la inervación simpática del tracto retinohipotalámico que llega a la glándula pineal controlando la síntesis de la enzima limitante NAT (Klein *et al.*, 1997). 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). Por lo tanto, la melatonina será secretada sólo por la noche y su liberación variará cuantitativamente con la duración de la noche y del día (Lincoln *et al.*, 2003).

El estímulo de luz en la retina es conducido a través del tracto retinohipotalámico al núcleo supraquiasmático (NSQ), en donde se secretará melanopsina (Hattar *et al.*, 2002), un pigmento que juega un papel crítico en la fotoactivación de estas células ganglionares fotosensibles (Panda *et al.*, 2002). Los estímulos de luz periódica cada 24 h actúan activando al reloj circadiano del núcleo supraquiasmático, ponen a tiempo la actividad de sus neuronas y activa a unos genes llamados “genes reloj” (Sumová *et al.*, 1995). El NSQ, por medio de estos y otros genes, 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. Durante los días largos en roedores, la disminución de la secreción de melatonina activa la expresión de genes diferentes a los que se activan con la exposición a días cortos y es probable que esta sea una respuesta conservada en todos los mamíferos (Naito *et al.*, 2008). En el caso de la ausencia de luz la enzima NAT se sintetiza en la glándula pineal incrementando su actividad y se sintetiza melatonina, la cual se secreta hacia la sangre periférica y fluido espinal cerebral, donde se encuentran las concentraciones más altas (Malpoux *et al.*, 2001).

Para la síntesis de la melatonina, los pinealocitos incorporan en su interior al aminoácido triptófano desde la sangre y lo convierten en serotonina, que por medio de la enzima NAT es convertida a N-acetilserotonina, que es la acción considerada 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 (Reiter *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; su naturaleza lipofílica la hace capaz de entrar a todos los tejidos. En los animales 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). Los receptores de la melatonina 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 (Williams *et al.*, 1997; Reiter *et al.*, 2010). En animales domésticos reproductivamente estacionales, la melatonina es el principal control de la reproducción, inhibiendo la secreción hipotalámica de Hormona liberadora de Gonadotropinas (GnRH) (Chemineau *et al.*, 2007). Como consecuencia, las concentraciones de LH y FSH disminuyen con la melatonina (Mondain-Monval *et al.*, 1988). Además, también influye en las concentraciones sanguíneas de testosterona, estradiol, progesterona y prolactina (Rose *et al.*, 1996; Kokolis *et al.*, 2000).

Otro mecanismo regulado por el fotoperíodo implica la regulación temporal de la hormona estimulante de la tiroides o tirotrópina (TSH), secretada por adenohipófisis. Esta hormona conduce a la expresión de genes de la tiroides que codifican para la síntesis de enzimas desyodasas (DIO2 y DIO3) que determinan las concentraciones locales de la forma biológicamente activa de la triyodotironina (T3) (Dardente *et al.*, 2014). Por otro lado, un fotoperíodo largo, que induce disminución en las concentraciones séricas de melatonina, impulsa un aumento en las concentraciones séricas de prolactina por parte de la adenohipófisis, mientras que el fotoperíodo corto está asociado con la disminución de esta hormona en las aves, bovinos y ovinos (Peters *et al.*, 1981; Mikolayunas *et al.*, 2008). La secreción de prolactina contribuye a la regulación temporal del ciclo de muda de pelo y plumas, la ingesta de alimentos, el metabolismo energético, la gestación y la lactación en diversas especies (Tucker 1994). En vacas, la prolactina es esencial para la mamogénesis y lactogénesis (Freeman *et al.*, 2000) y de acuerdo a Dahl *et al.* (2000), es la principal hormona responsable de los efectos estimulantes del fotoperíodo en la producción de leche.

Otra hormona implicada con los efectos del fotoperíodo es el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF- 1). Algunos estudios (Suttie *et al.*, 1992; Collier *et al.*, 2006) muestran evidencia de que el fotoperíodo largo estimula la secreción del IGF-I en los rumiantes y han propuesto que este mecanismo pudiera mediar los efectos del fotoperíodo sobre el crecimiento. Spicer *et al.* (2007) realizaron un experimento para probar la hipótesis de que los días largos

aumentan el IGF-1. Ellos expusieron vaquillas a dos fotoperíodos de ocho o 16 horas de luz durante cuatro meses tomando muestras mensuales de sangre para medir IGF-1, y observaron consistentemente mayores concentraciones circulantes de IGF-1 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). Todas estas hormonas en conjunto, por su ausencia o actividad, se encuentran implicadas en los efectos del fotoperíodo en el crecimiento, la deposición de grasa, la producción de leche y pubertad. Sin embargo, no todo está explicado en su totalidad.

#### **4.6. Pubertad en vaquillas de reemplazo**

La pubertad se define como la etapa de desarrollo en la que una hembra presenta su primer estro fértil. Bajo condiciones óptimas de manejo, las vaquillas Holstein llegan a la pubertad entre los 11 y 12 meses de edad, cuando aún no alcanzan un peso recomendable para recibir su primer servicio (>350 kg). Se han reportado vacas lecheras que alcanzan la pubertad a edad tan temprana como cinco a seis meses, o tan tardía como a los 18-20 meses de edad (Sejrsen, 1994; Sejrsen y Purup, 1997), con una variación considerable en el peso (150 a 400 kg). Si una vaquilla quedara gestante en los primeros ciclos estrales, ésta llegaría con poco desarrollo físico, lo cual provocaría distocias y baja producción de leche (Hernández, 2012). En el caso del ganado de la raza Holstein la edad al primer servicio recomendada es de los 14 a 15 meses con un peso mínimo de 350 kg.

Fisiológicamente, la activación del sistema neuroendocrino para que la becerras alcance la pubertad está regulada por varios factores, pero principalmente por el estado nutricional o condición corporal. El cambio del anestro prepuberal a la pubertad coincide con un incremento de la condición corporal y de las concentraciones de algunas hormonas en sangre como insulina, IGF- I y leptina. Estas hormonas son las que actúan como señales metabólicas en el hipotálamo e hipófisis y modifican la frecuencia de secreción de las gonadotropinas, lo que resulta en la maduración folicular y la primera ovulación (Grajales et al., 2006; Hernández, 2012).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Ubicación y características del área de estudio**

El trabajo de investigación se realizó en un establo dedicado a la producción de leche en Gómez Palacio, Durango, en la Región de la Laguna. El establo se localiza en las coordenadas 25°41'42" Latitud Norte y 103° 27'43" Longitud Oeste, a una altura de 1,150 metros sobre el nivel del mar. El clima del lugar es seco desértico o estepario cálido con lluvias en verano e inviernos frescos, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (2004). La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C. El establo cuenta con 2,000 vientres en ordeña con una producción promedio de 32 litros/día, con una nave de crianza con capacidad para criar 600 becerras, y tiene una mortalidad en becerras del 2 %.

### **5.2. Animales y manejo**

Para este estudio se utilizaron 300 becerras Holstein recién nacidas con un peso promedio de 37 kg, durante la época de otoño (entre septiembre y octubre). Al momento del parto, las madres fueron llevadas al corral de vacas frescas y las becerras a la sala de crianza en las instalaciones de recría perteneciente al rancho.

Inmediatamente después del nacimiento, a cada becerro se le desinfectó el ombligo con una solución de yodo metálico al 2% y recibieron al menos 2 litros de calostro pasteurizado de buena calidad (mayor a 50 g de inmunoglobulinas/L) dentro de las primeras dos horas de vida y se administró una segunda toma ocho horas después de la primera. A las 24 horas de nacidas, se tomó una muestra de

sangre de la vena yugular para realizar la prueba de refractometría y determinar la transferencia de inmunidad pasiva (Calloway *et al.*, 2002).

El descorne se realizó al mes de edad, empleando pasta de hidróxido de sodio.

Las particularidades del manejo sanitario al que fueron sometidas las becerras, pueden observarse en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Esquema de vacunación utilizado para todas las becerras y para las becerras del experimento.

Edad	Enfermedad
1-5 días	IBR, PI3
21 días	IBR, DVB Tipo I y II, PI3, VRSB
30 días	<i>Leptospira hardjo Bovis</i>
45 días	IBR, DVB Tipo I y II, PI3, VRSB
45 días	<i>Mannhemia haemolytica</i>
60 días	<i>Leptospira hardjo</i>

IBR= rinotraqueítis infecciosa bovina; PI3= parainfluenza 3; DVB= diarrea viral bovina; VRSB= virus sincitial respiratorio bovino.

Las características nutricionales del alimento iniciador proporcionado a las becerras durante el experimento pueden observarse en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Contenido nutricional del concentrado iniciador (Nuplen 2629®) proporcionado a las becerras incluidas en el estudio.

Característica	Cantidad
Materia seca	93.63 %
Proteína cruda	27.67 %
Fibra neutro detergente	13.34 %
Total de nutrientes digestibles	76.26%
Energía metabolizable	1.37 Mcal/kg

El manejo alimenticio se realizó de acuerdo a lo establecido en el rancho y puede observarse en el Cuadro 3. Las becerras se alimentaron diariamente con cuatro litros de leche pasteurizada, divididos en dos tomas (dos L en la mañana y dos L

en la tarde). A partir de la séptima a la octava semana de edad se disminuyó gradualmente la cantidad de leche proporcionada hasta ser destetadas a los 60 días de edad. A partir del cuarto día de edad, se les ofreció agua y alimento iniciador comercial con alto contenido de proteína (27 %).

**Cuadro 3.** Contenido nutricional de la leche entera de vaca ofrecida (cuatro litros/día) a las becerras incluidas en el estudio.

<b>Leche entera</b>	<b>Contenido*</b>
Materia seca (%)	12.50
Cenizas (%)	6.30
Proteína cruda (%)	25.60
Grasa cruda (%)	27.20
Fibra cruda (%)	0.40
Lactosa (%)	40.50
Energía metabolizable (Mcal/kg de MS)	5.17
Cantidad ofrecida (litros/día)	4.00
Cantidad ofrecida en MS (kg)	0.50
Aporte de energía metabolizable, Mcal/día	2.58

\*Las estimaciones se realizaron tomando como base los cuatro litros de leche proporcionados diariamente a las becerras. Datos calculados de acuerdo a Quigley (2001).

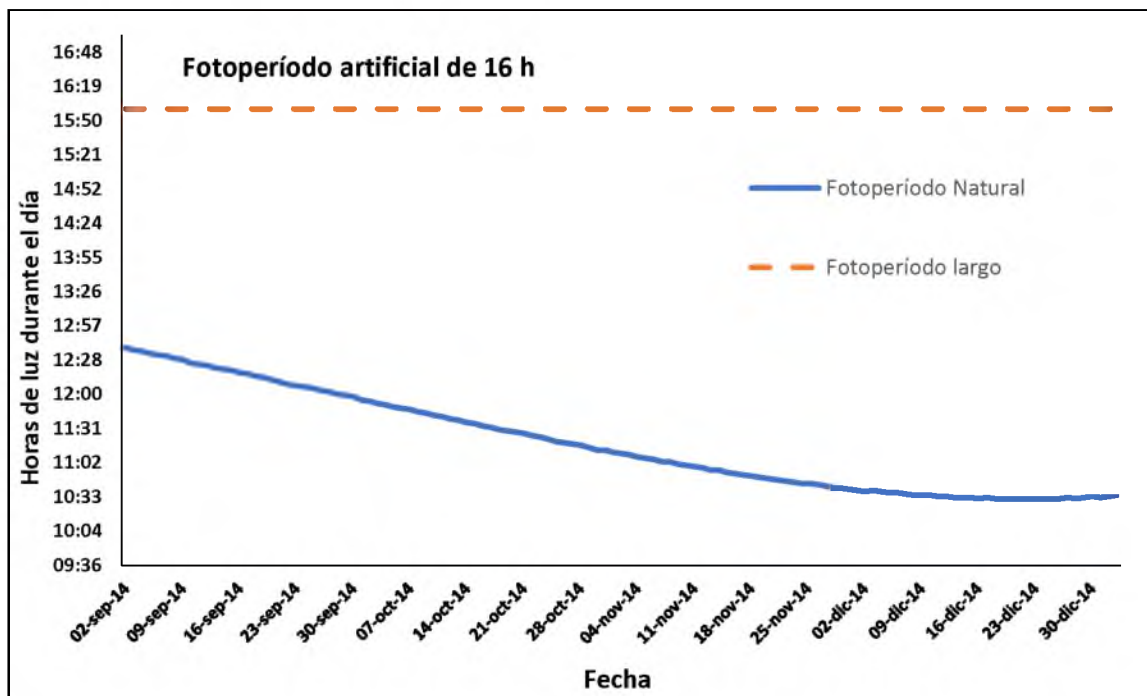
### **5.3. Tratamientos y diseño experimental**

Conforme iban naciendo, las becerras fueron distribuidas bajo un diseño completamente al azar con dos repeticiones, en uno de dos grupos. Los grupos incluidos en el estudio fueron:

**Grupo 1:** fotoperíodo largo (FL) de 16 h de luz (n= 150).

**Grupo 2:** fotoperíodo natural (FN) de menos de 12 horas de luz, con 150 becerras que permanecieron bajo el fotoperíodo natural de la región (n= 150).

En la Figura 1 puede observarse la duración del fotoperíodo en ambos grupos. Mientras que el grupo experimental fue sometido a un fotoperíodo largo artificial de 16 h, el grupo testigo estuvo bajo fotoperíodo natural, cuya duración varió desde 12 horas con 39 minutos de luz en septiembre hasta 10 h con 33 minutos en diciembre (Calculado con el software de “Sunrisesunset.com”, 2014).



**Figura 1.** Fotoperíodo natural (línea continua) o fotoperíodo largo (16 horas luz; línea segmentada) aplicado a becerras Holstein durante la etapa de lactancia.

#### 5.4. Desarrollo del experimento

Dentro de la nave de crianza del rancho, se utilizaron cuatro líneas con 50 jaulas cada una, para este experimento. Esta área fue dividida en dos secciones de dos líneas cada una, por medio de cortinas gruesas que impidieron el paso de la luz de una sección a otra (Figura 2).



**Figura 2.** División de la nave de crianza por medio de cortinas para evitar el paso de luz de un lugar a otro.

**5.4.1. Manejo de la iluminación.** En una de las dos secciones se alojaron las becerras en su jaula con un fotoperíodo largo. Este sitio se iluminó artificialmente con dos líneas de once lámparas de 200 watts (luz blanca y fría) colocadas a una distancia de cuatro m entre ellas y a una altura de tres m sobre el piso de la jaula, procurando iluminar con una intensidad de 450 luxes hasta el piso (Rius *et al.*, 2005).

Para el encendido y apagado de las lámparas se utilizó un switch digital que se programaba semanalmente para realizarlo de manera automática, prendiendo una hora antes de que obscureciera (puesta de sol, la cual fue calculada

mediante un programa disponible en internet en “Sunrisesunset.com”, 2014). Las lámparas permanecían encendidas durante el tiempo necesario para alargar el fotoperíodo natural hasta completar 16 horas de luz por día (3 horas 21 minutos en septiembre hasta 5 horas con 27 minutos en diciembre; Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Programación del encendido y apagado de las lámparas en el área donde se alojaron las becerras bajo un fotoperíodo largo (FL) durante la lactancia.

Fecha de programación	Amanecer*	Puesta de sol*	Horas necesarias de luz	Hora programada de encendido	Hora programada de apagado
02-sep-14	07:34	20:13	03:21	19:13	23:34
09-sep-14	07:37	20:06	03:31	19:06	23:37
16-sep-14	07:40	19:58	03:42	18:58	23:40
23-sep-14	07:43	19:50	03:53	18:50	23:43
30-sep-14	07:45	19:43	04:02	18:43	23:45
07-oct-14	07:48	19:35	04:13	18:35	23:48
14-oct-14	07:52	19:28	04:24	18:28	23:52
21-oct-14	07:55	19:22	04:33	18:22	23:55
28-oct-14	06:59	18:16	04:43	17:16	22:59
04-nov-14	07:04	18:11	04:53	17:11	23:04
11-nov-14	07:08	18:07	05:01	17:07	23:08
18-nov-14	07:13	18:04	05:09	17:04	23:13
25-nov-14	07:18	18:03	05:15	17:03	23:18
03-dic-14	07:24	18:03	05:21	17:03	23:24
10-dic-14	07:29	18:04	05:25	17:04	23:29
17-dic-14	07:33	18:06	05:27	17:06	23:33
24-dic-14	07:37	18:09	05:28	17:09	23:37
31-dic-14	07:40	18:13	05:27	17:13	23:40

\*Calculado con el software en línea “Sunrisesunset.com”, 2014

La sección con jaulas, en donde se alojó a las becerras bajo fotoperíodo natural tenía las mismas características que el área mencionada anteriormente, excepto

que aquí los animales permanecieron únicamente con la luz natural de la región, es decir, sin el uso de ningún tipo de lámparas, bajo una intensidad de menos de cinco luxes.

Durante todo el experimento se efectuó un monitoreo para comprobar que la intensidad lumínica se ajustara a 450 luxes en el área de FL y menos de cinco luxes en el área de FN, mediante el uso de un luxómetro (LX-1108, Lutron Electronic Enterprise). La temperatura y humedad de la nave se registraron por medio de un termohigrómetro digital (Lutron -HT-3009 Hygrometer) (Figura 3).



**Figura 3.** Luxómetro y termohigrómetro utilizados en el experimento.

### **5.5. Toma de datos y variables medidas**

Diariamente se registró el consumo individual de alimento. Los datos de peso corporal de las becerras, altura a la cruz, condición y composición corporal se registraron al inicio y al final del experimento. La ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia se determinaron mediante el análisis de los datos colectados durante todo el experimento

Las variables medidas en este estudio fueron:

**5.5.1. Peso corporal.** Se registró al nacimiento (inicio del experimento) y al destete (final del experimento), utilizando una báscula digital (Torey®) de 500 kg, adaptada especialmente para becerras.

**5.5.2. Ganancia diaria de peso.** Esta variable se calculó tomando en cuenta el peso final menos el peso inicial y se dividió entre los 60 días que duro el experimento y está expresada en gramos por día.

**5.5.3. Altura a la cruz.** Para registrar esta variable se utilizó una regla diseñada para becerras. Las becerras fueron mantenidas en la jaula de la báscula de pie y sin forzarlas. Se tomó la medida colocando la regla parada en el piso de la jaula y ajustándola hasta la altura de la cruz. Esta variable fue tomada al inicio y final del experimento.

**5.5.4. Condición corporal.** Se tomó visualmente por el médico veterinario encargado de acuerdo al procedimiento y la escala propuesta por Wildman *et al.* (1982) y Edmonson *et al.* (1989), para bovinos lecheros (1 a 5), donde 1 es muy flaca y 5 obesa

**5.5.5. Composición corporal.** Fue medida por el veterinario encargado de las becerras mediante el uso de ultrasonido, con un traductor sectorial de 5-10 Mhz en el doceavo espacio intercostal. A cada becerro se le rasuró el área entre la doceava y treceava costilla junto a la columna vertebral, donde se colocó el transductor con gel especial para ultrasonografía. Se tomaron las medidas del grosor de la grasa dorsal y la profundidad del músculo *Longissimus dorsi* al inicio y al final del tratamiento. Todo el

procedimiento y las mediciones se realizaron de acuerdo a lo establecido por Schröder y Staufenbiel (2006).

**5.5.6. Consumo de alimento.** El alimento se ofreció en las mañanas en cada comedero y fue pesado mediante una báscula digital (Torey®). Todos los días, antes de ofrecer alimento nuevo se pesó la cantidad de alimento rechazado y posteriormente se volvió a llenar el comedero con una cantidad determinada de alimento. La cantidad ofrecida menos la cantidad rechazada se consideró el consumo diario.

**5.5.7. Eficiencia alimenticia.** Se calculó utilizando los datos del consumo total de alimento concentrado y de la ganancia de peso total durante la lactancia, mediante la siguiente fórmula:  $\text{Ganancia de peso total} / \text{Consumo total de alimento} \times 100$ . El resultado se expresó en porcentaje.

**5.5.8. Conversión alimenticia.** Es una medida de la productividad de un animal y se define como la relación entre el alimento que consume con el peso que gana. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:  $\text{Consumo total de alimento concentrado} / \text{Ganancia de peso total}$ .

## **5.6. Análisis estadístico**

Las variables medidas se analizaron mediante un análisis de varianza empleando el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2009). El consumo diario de alimento se analizó mediante un análisis de varianza con un diseño en parcelas divididas, con mediciones repetidas, para ello, se aplicó el procedimiento MIXED del programa

estadístico SAS (SAS, 2009). El criterio para definir diferencia estadística fue una significancia de  $P < 0.05$ .

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos referentes al peso corporal, altura a la cruz, grasa dorsal y profundidad de músculo pueden observarse en el Cuadro 5. Al iniciar el experimento, los pesos de las becerras fueron similares ( $P>0.05$ ) en los dos grupos (FL=37.4±0.3 vs FN=37.1±0.3;). La altura a la cruz (FL=75.1±0.2 vs. FN=75.2±0.3) y la condición corporal (3.0 para ambos grupos) tampoco mostraron diferencias estadísticas significativas ( $P>0.05$ ), indicando que los animales se distribuyeron de manera aleatoria en ambos grupos. A excepción del peso corporal al inicio del experimento, los valores observados para las otras variables en el presente estudio, son similares a los reportados para becerras de la raza Holstein en granjas de Estados Unidos (Arrayet *et al.*, 2002).

**Cuadro 5.** Mediciones corporales de becerras al inicio del experimento con fotoperíodo largo (FL) o un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia.

	FL	FN
Peso corporal (kg)	37.4±0.3	37.1±0.3
Altura a la cruz (cm)	75.1±0.3	75.2±0.3
Grasa dorsal (cm)	0.79±0.02	0.078±0.08
Profundidad del músculo (cm)	1.81±0.2	1.82±0.2

Las mediciones corporales en las becerras de ambos grupos al final del experimento se muestran en el Cuadro 6. El peso y la altura fueron similares ( $p>0.05$ ) entre grupos. Asimismo, la ganancia diaria de peso (GDP) no mostró diferencia estadística ( $p>0.05$ ) entre ambos grupos (FL=561 g ± 0.01 vs FN=558 g ± 0.01;  $p>0.05$ ).

**Cuadro 6.** Mediciones corporales y ganancia diaria de peso (GDP) de becerras al final del experimento con fotoperíodo largo (FL) o un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia.

	FL	FN
Peso (kg)	71.1±0.5	70.6±0.7
Altura a la cruz (cm)	86.9±0.2	86.6±0.3
Grasa dorsal (cm)	0.060±0.001 <sup>a</sup>	0.076±0.001 <sup>b</sup>
Profundidad del músculo (cm)	2.68±0.02 <sup>a</sup>	2.56±0.02 <sup>b</sup>
GDP (kg)	0.561±0.01	0.558±0.01
Conversión alimenticia (kg)	1.006:1	1.150:1
Eficiencia alimenticia (%)	99	87

<sup>a,b</sup> Diferente superíndice en la misma fila indica diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo no coinciden con lo encontrado en otros estudios, en donde un régimen de 16 h de luz incrementó la estatura y la tasa de crecimiento en comparación con animales mantenidos en 16 h de oscuridad (Tucker *et al.* 1984; Rius *et al.* 2005; Rius y Dahl 2006). Sin embargo, en esos estudios la duración del tratamiento con luz fue de 270 días y comenzó después de la lactancia, en becerras de dos a los nueve meses.

En otro estudio realizado en Ontario, Canadá (43° LN) por Osborne *et al.*, (2007), becerras Holstein recién nacidas fueron sometidas a 18 h luz durante 56 días, observando que aquellas con fotoperíodo largo fueron más pesadas que las becerras bajo un fotoperíodo de 10 h luz. A pesar de que la edad de las becerras y la duración del tratamiento de fotoperíodo utilizados en la presente investigación fueron similares al estudio previamente mencionado, los resultados en cuanto al peso de los animales fueron diferentes, esta discordancia pudo

deberse a la intensidad de la luz utilizada, ya que los investigadores canadienses utilizaron 600 luxes y en el presente estudio se utilizaron sólo 450 luxes.

La altura a la cruz de los animales tampoco fue diferente entre grupos del presente experimento. Este mismo resultado fue observado por Osborne *et al* (2007), lo cual sugiere que, durante la lactancia, la exposición a un fotoperíodo largo no afecta la estatura de las becerras.

Dentro de las variables medidas al final del experimento, el resultado más remarcable se presentó en la composición corporal, donde se encontraron diferencias entre ambos grupos (Cuadro 6). Así, la grasa dorsal fue menor ( $p < 0.01$ ) en el grupo FL comparada contra el grupo FN ( $0.060 \text{ cm} \pm 0.001$  vs  $0.076 \text{ cm} \pm 0.001$ , respectivamente), y la profundidad del músculo *Longissimus dorsi*, que fue mayor ( $p < 0.01$ ) en el grupo FL, con respecto al grupo FN ( $2.69 \text{ cm} \pm 0.02$  vs  $2.56 \text{ cm} \pm 0.02$ , respectivamente).

Los resultados aquí obtenidos muestran similitudes con estudios previos. Por ejemplo, Petitclerc *et al.* (1984), reportaron que un fotoperíodo de 16 horas de luz en vaquillas Holstein alimentadas *ad libitum*, mejoró el porcentaje de proteína en músculo a la altura de la onceava costilla, mientras Zinn *et al.* (1986) observaron que las vaquillas expuestas a días cortos después de la pubertad, tuvieron un mayor porcentaje de acreción de grasa y un porcentaje reducido de proteína en músculo comparadas con vaquillas expuestas a días largos. Lo anterior indica que, el fotoperíodo largo mejora la composición corporal, quizá redirigiendo los nutrientes de la dieta principalmente a la formación de músculo y en menor grado

a la lipogénesis, de manera similar a la administración de fármacos  $\beta$ -agonistas (Buttery y Sweet, 1993).

En otro estudio, Phillips *et al.* (1997) encontraron que las vaquillas que experimentan fotoperíodo natural de nueve horas de luz en el otoño-invierno en Inglaterra (52° 10' N, 1°47' O) depositan más tejido graso que las vaquillas sometidas a 16 horas de luz, de manera similar a lo que sucedió en este estudio. En este sentido, los efectos del fotoperíodo largo en la composición corporal muestran resultados más constantes, asociándose a una disminución de la deposición de grasa en músculo, por lo que aumenta el contenido de carne magra en las vaquillas. Los resultados sobre composición corporal obtenidos en la presente investigación no pueden ser comparados con otros estudios, debido a que no existen reportes previos en los que se hayan analizado estas variables en becerras durante la lactancia.

El mecanismo a través del cual el fotoperíodo disminuye la cantidad de grasa subcutánea y favorece el incremento del músculo aún no se ha descifrado totalmente (Chilliard y Bocquier, 2000; Dahl *et al.*, 2000;). Sin embargo, dichos efectos han sido atribuidos a un incremento en sangre de algunas hormonas como la prolactina, leptina, el factor de crecimiento parecido a la insulina tipo 1 (IGF-1) y la hormona del crecimiento, ya que se ha comprobado que cuando los bovinos son expuestos a un fotoperíodo largo, se incrementan los niveles sanguíneos de estas hormonas (Petitclerc *et al.*, 1983; Tucker *et al.*, 1984; Dahl *et al.*, 2000).

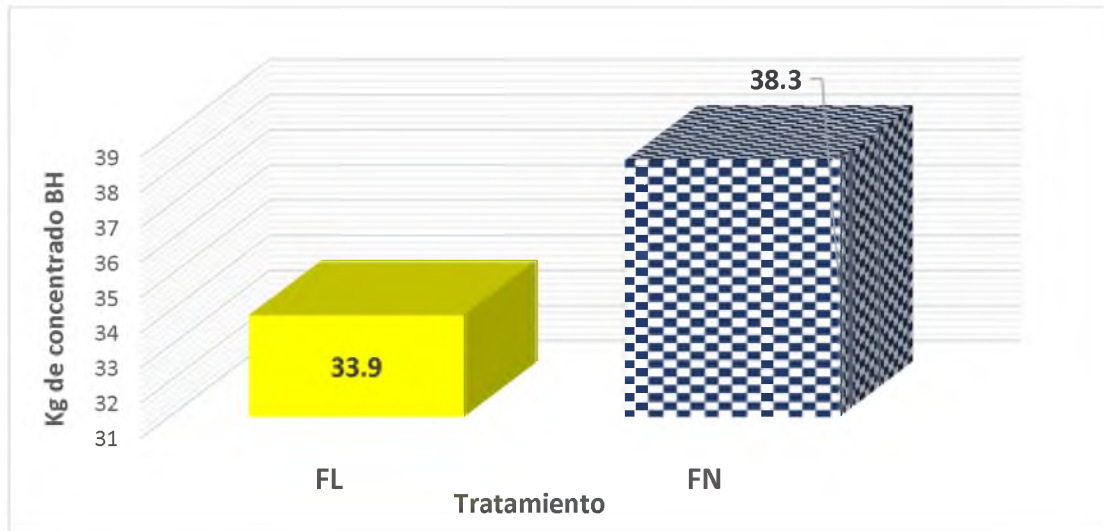
La principal hormona regulada por el fotoperiodo es la melatonina, cuyas concentraciones en sangre disminuyen durante la exposición a fotoperíodos largos y aumentan durante los fotoperíodos cortos (Chemineau *et al.*, 2007). Se ha comprobado que la melatonina por sí sola puede inhibir la lipogénesis en tejido adiposo en ratas (Blask *et al.*, 1999). En otro estudio llevado a cabo en ratas, se determinó que el tratamiento con melatonina disminuye el peso corporal, la grasa abdominal, la insulina y la leptina plasmática, mientras que aumenta la grasa subcutánea (Wolden-Hanson *et al.*, 2000). Estos eventos podrían haber sucedido, al menos parcialmente, en los animales que permanecieron en el fotoperíodo natural en el presente experimento.

La prolactina es una hormona que también se ha relacionado con el fotoperiodo. Se ha observado que, los días largos aumentan las concentraciones sanguíneas de la prolactina, mientras los días cortos o la administración de melatonina, la disminuyen (Peters *et al.*, 1981; Mikolayunas *et al.*, 2008). Potencialmente, la prolactina pudiera influir en las variables de crecimiento o en las de composición corporal. Los efectos de la prolactina pueden ser indirectos, actuando a través de la secreción del IGF-1 (Dahl *et al.*, 2000), ya que existe una correlación positiva entre estas dos hormonas, en donde el incremento de la prolactina en respuesta al fotoperíodo largo induce un incremento en las concentraciones plasmáticas de IGF-1 (Dahl *et al.*, 2000; Spicer *et al.*, 2007). Collier *et al.* (2006) mostraron evidencia que los días largos estimulan la secreción de IGF-1, y que éste pudiera ser el factor que sirva como intermediario de los efectos del fotoperíodo sobre el crecimiento (Petitclerc *et al.*, 1984). Asimismo, en comparación con días cortos,

los días largos aumentan la acumulación de tejido magro, es decir, más músculo que grasa, que se asocia con concentraciones elevadas de IGF-1 (Elsasser *et al.*, 1989; Tucker *et al.*, 1984), lo que pudo haber sucedido en los animales expuestos a fotoperíodo largo en el presente estudio, en los que lamentablemente no se pudo realizar la medición de hormonas en sangre.

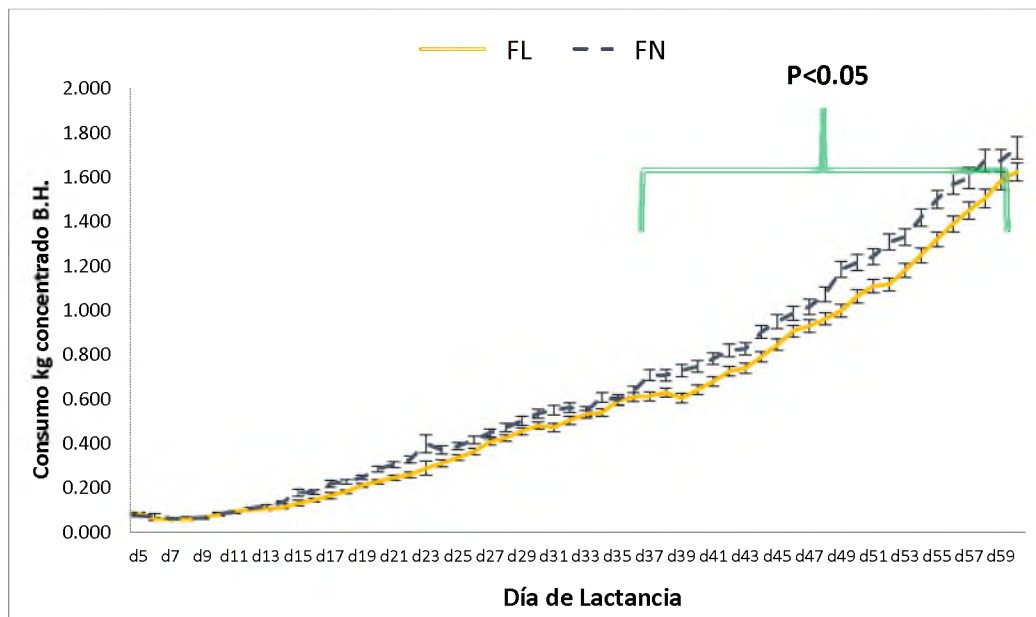
En contraparte, también existen estudios que no muestran efectos positivos de la luz en el crecimiento. Por ejemplo, Zinn *et al.* (1986) observaron que el fotoperíodo largo no tuvo efecto en la ganancia diaria de peso ni en la composición de la canal en vaquillas Holstein prepúberes. Los autores sugieren que para que el fotoperíodo incremente estos parámetros en los bovinos, se requieren gónadas maduras. Sin embargo, de acuerdo con Dahl *et al.* (2000), el crecimiento inducido por el fotoperíodo, parece no ser dependiente de las gónadas. En general, la mayor parte de las evidencias aquí discutidas, indica que el fotoperíodo largo mejora el crecimiento y la composición corporal de los animales, sin embargo, debe cumplirse un conjunto específico de condiciones ambientales para que esto suceda.

El consumo total de alimento concentrado durante los 60 días puede observarse en la Figura 4. Los resultados aquí obtenidos, indican que el consumo total fue mayor ( $p < 0.05$ ) en las becerras en FN que en las de FL ( $38.3 \pm 0.02$  vs  $33.9 \pm 0.02$  kg, respectivamente).



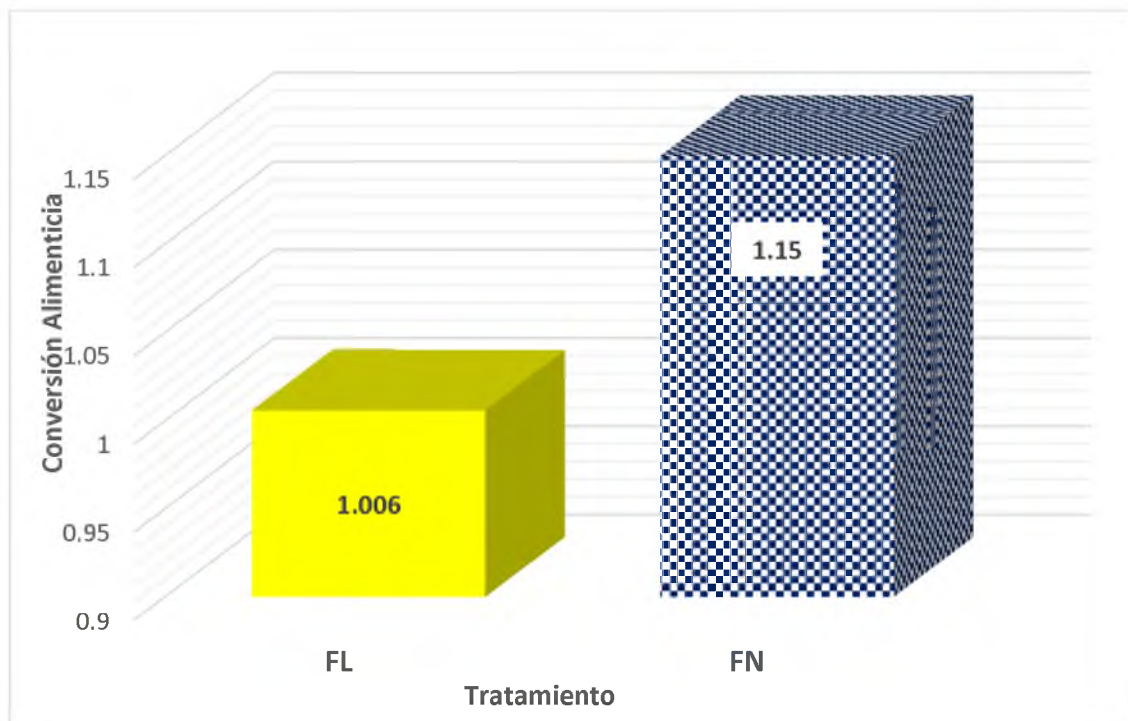
**Figura 4.** Consumo total de alimento concentrado (kg) de becerras expuestas a un fotoperíodo largo de 16 horas luz (FL) o a un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia.

El consumo promedio diario de alimento concentrado (Figura 5) también fue mayor ( $p < 0.05$ ) en las becerras del grupo FN que en las del grupo FL ( $0.638 \pm 0.015$  vs  $0.566 \pm 0.015$  kg/día).



**Figura 5.** Consumo de alimento concentrado en base húmeda (BH) por día de becerras expuestas a un fotoperíodo largo de 16 horas luz (FL) o a un fotoperíodo natural (FN) durante la lactancia.

Como un reflejo del consumo de alimento y la ganancia diaria de peso, las becerras bajo un fotoperíodo largo aprovecharon de una manera más eficiente el alimento consumido que aquellas bajo fotoperíodo natural. Lo anterior se concluyó al calcular la eficiencia alimenticia y observar que este parámetro fue mejor ( $p < 0.05$ ) en las becerras del grupo FL que en las del grupo FN (99% vs 87%, respectivamente). De igual manera, la conversión alimenticia fue menor para el grupo FL con 1.006 kg de alimento para 1 kg de ganancia de peso y mayor para el grupo FN con 1.150 kg de alimento para ganar un kg de peso (Figura 6).



**Figura 6.** Conversión alimenticia durante la lactancia (60 días) de becerras Holstein sometidas a fotoperíodo largo (FL) o fotoperíodo natural (FN).

Los resultados del presente estudio no concuerdan con otros, en los que el fotoperíodo largo incrementó el consumo de alimento desde un 3.5 hasta un 6 % (Peters *et al.*, 1981; Miller *et al.*, 1999). Sin embargo, hay que resaltar que la

diferencia de la presente investigación con los estudios mencionados, radica en que el consumo de alimento se determinó en animales adultos, principalmente en vacas en producción de leche (Dahl y Petitclerc, 2003). En ese tipo de animales, 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) y es mayor a medida que aumenta la producción, pues la demanda de energía aumenta para soportar ese incremento metabólico (Dahl *et al.*, 2000). También existen estudios en donde el consumo de alimento no se modifica por la exposición al fotoperíodo largo (Phillips y Schofield 1989; Dahl *et al.*, 1997).

Los resultados de este estudio indican que el fotoperíodo de 16 h luz aumenta la eficiencia en la utilización de nutrientes, ya que las becerras sometidas a 16 h luz registraron una mayor ganancia de peso vivo por unidad de alimento iniciador consumido (Figura 6). La mejora en la eficiencia alimenticia (Cuadro 6) provocada por el fotoperíodo largo en animales lactantes puede asociarse a un desarrollo más rápido del rumen. Lo anterior fue probado por Osborne *et al.* (2007), en becerras de la misma edad que las incluidas en este estudio. Los autores observaron mayores concentraciones de ácidos grasos volátiles y una mayor ganancia de peso en los animales sometidos a 16 h luz. La eficiencia de la transformación del alimento en tejido muscular, es el reflejo de que los animales con fotoperíodo largo tuvieron una ganancia de peso similar a los de fotoperíodo natural, pero con un menor consumo de alimento. Una posible explicación de este efecto podría asociarse a que el fotoperíodo largo modifica las variables de

crecimiento y composición corporal por mediación del IGF-I (Dahl *et al.*, 2000; Spicer *et al.*, 2007). El IGF-I tiene efectos paracrin, endocrino y autocrino en casi todos los órganos incluyendo músculo, grasa y el sistema inmune (LeRoith *et al.*, 1995; Hakuno y Takahashi, 2018). Se ha demostrado que esta hormona estimula el crecimiento, reduce la proteólisis y estimula la síntesis proteica cuando la oferta de aminoácidos es adecuada, incrementando con ello la masa muscular (Hakuno y Takahashi, 2018). En el metabolismo de carbohidratos, el IGF-I aumenta la utilización de la glucosa e inhibe la producción de glucógeno hepático (Hakuno y Takahashi, 2018). Además, tiene efectos tróficos en intestino donde incrementa la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas (MacDonald, 1999). Aunque los efectos del IGF-I antes mencionados están comprobados, en el presente estudio sólo se puede especular, debido a que no se pudieron medir las concentraciones sanguíneas de esta hormona.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- La exposición durante 60 días a un fotoperíodo de 16 horas de luz en becerras Holstein recién nacidas, no mejora la altura a la cruz, la ganancia diaria de peso, ni el peso vivo al final de la lactancia.
- El fotoperíodo de 16 horas luz durante 60 días en becerras recién nacidas disminuyó el consumo de alimento en estos animales, sin afectar su crecimiento.
- El fotoperíodo largo de 16 horas luz durante 60 días en becerras recién nacidas modificó la composición corporal, ya que disminuyó el tejido adiposo subcutáneo e incrementó el tejido muscular, lo que resultó en becerras magras.

### 7.2 Recomendaciones

- Se deben realizar más estudios que contemplen mediciones hormonales como la determinación del IGF-I en sangre, para tratar de explicar el efecto del fotoperíodo en la eficiencia alimenticia.
- Se recomienda evaluar la relación costo-beneficio a largo plazo en los animales sometidos a fotoperíodo largo de 16 horas, la cual debe contemplar los costos relacionados con el tratamiento y la producción de leche cuando lleguen a su etapa productiva.

- Se recomienda realizar este tipo de estudios en ganado bovino de doble propósito para determinar el efecto del tratamiento bajo las condiciones de producción local.

## 8. LITERATURA CITADA

- Arrayet JL, Oberbauer AM, Famula TR, Garnett I, Oltjen JW, Imhoof J, Kehrli ME Jr, Graham TW. 2002. Growth of Holstein calves from birth to 90 days: the influence of dietary zinc and BLAND status. *J Anim Sci.* 80:545-552.
- ASERCA 2010. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México. En: *Revista Claridades Agropecuarias*. ASERCA-SAGARPA. Número 207. Talleres Gráficos de México. p. 34-43.
- Auchtung TL, 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.
- Bath DL, Dickinson FN, Allen TH, Appleman RD. 1993. *Ganado Lechero: Principios, Prácticas, Problemas y Beneficios*. Interamericana, S.A. de C.V. México, D.F. pp 35.
- Blask DE, Dauchy RT, Sauer LA. 1999. Physiological melatonin inhibits lipogenesis and fasting-induced lipolysis in the inguinal fat pad perfused in situ in the rat. In *Proc. of the 81st Annual Meeting of the Endocrine Society*, San Diego, CA. p. 324.
- Bocquier F, Bonnet M, Faulconnier Y, Guerre-Millo M, Martin P, Chilliard Y. 1998. Effects of photoperiod and feeding level on perirenal adipose tissue metabolic activity and leptin synthesis in the sheep. *Reprod Nutr Dev.* 38: 489-498.

- 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. *J Anim Sci.* 88(2):595-603.
- Butery PJ, Sweet A. 1993. Manipulation of lean deposition in animals. *Anim Feed Sci. Technol.* 45:97-115.
- Calloway CD, Tyler JW, Tessman RK, Hostetler D, Holle J. 2002. Comparison of refractometers and test endpoints in the measurement of serum protein concentration to assess passive transfer status in calves. *J Am Vet Med Assoc.* 1;221(11):1605-1608.
- Chemineau P, Malpoux B, Brillard JP, Fostier A. 2007. Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals. *Animal* 1: 419-432.
- Chilliard Y, y Bocquier F. 2000. Direct effects of photoperiod on lipid metabolism, leptin synthesis and milk secretion in adult sheep. *En Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*, PB Cronjé, editor., pp. 205-223
- Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ. 2006. Major Advances Associated with Environmental Effects on Dairy Cattle. *J Anim Sci.* 89:1244-1253.
- Cowles KE, White RA, Whitehouse NL, Erickson PS. 2006. Growth characteristics of calves fed an intensified milk replacer regimen with additional lactoferrin. *J. Dairy Sci.* 89:4835-4845.

- 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 Anim 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.
- 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. *J. Dairy Sci.* 92:499-505.
- Dardente H, Klosen P, Pevét P, Masson-Pevét M. 2003. MT1melatonin receptor mRNA expressing cells in the pars tuberalis of the European hamster: Effect of photoperiod. *J. Neuroendocrinol.* 15:778-786.
- Davis Rinker LE, 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.
- Dawson LER, Carson AF. 2004: Management of the dairy heifer. *Cattle Practice.* 12:181-192.
- Dairy Calf and Heifer Association (DCHA) 2016. Dairy Calf & Heifer Association Gold Standards III. Disponible en: [https://www.newpittsburgvetclinic.com/sites/default/files/DCHA\\_Gold\\_Standards\\_iii\\_WEB\\_.pdf](https://www.newpittsburgvetclinic.com/sites/default/files/DCHA_Gold_Standards_iii_WEB_.pdf), consultado en julio del 2019.
- Dowell SF. 2001. Seasonal variation in host susceptibility and cycles of certain infectious diseases. *Emerg Infec Disease.* 7:369-374.

- Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J Dairy Sci.* 72:68-78.
- 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.
- Espinosa MMA, Estrada CE, Barretero HR, Rodríguez HE, Escobar RMC. 2014. Crianza de becerras para sistemas familiares/semitecnificados de producción de leche. Folleto para productores No. 1. INIFAP-CENID Fisiología y Mejoramiento Animal. Ajuchitlán, Querétaro, México.
- FIRA. 2019. Panorama Agroalimentario Leche y lácteos. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF> Consultado en septiembre del 2019.
- 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.
- Freeman ME, Kanyicska BL, Lerant A, Nagy GR. 2000. Prolactin: Structure, Function, and Regulation of Secretion. *Physiol Rev.* 80:1523-1631.
- Gasque GR, Blanco OM. 2005. Sistemas de Producción Animal I. Volumen 1. FMVZ-UNAM, México, D. F. 149 p.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- Gardner RW, Smith LW, Park RL. 1988. Feeding and management of dairy heifers for optimal lifetime productivity. *J. Dairy Sci.* 71:996-999.

- Goldman BD, 2001. Mammalian photoperiodic system: formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. *J. Biol. Rhythms* 16:283-301.
- Govil K, Yadav DS, Patil AK, Nayak S, Baghel RPS, Yadav PK, Malapure CD, Thakur D. 2017. Feeding management for early rumen development in calves. *J. Entomol Zool Stud.* 5:1132-1139.
- Grajales H, Hernández A, Prieto E. 2006. Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livest Res Rural Dev.* 18(10). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/graj18139.htm>, Consultado en julio 2018.
- Hakuno F, Takahashi SI. 2018. IGF1 receptor signaling pathways. *J Mol Endocrinol.* 61, T69-T86.
- Hammond J. 1940. *Farm Animals: Their Breeding, Growth, and Inheritance.* Edward Arnold and Co. University of Cambridge, London 51. p 156.
- 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.
- Heinrichs AJ. 1993. Raising dairy replacements to meet the needs of the 21st century. *J. Dairy Sci* 76:3179-3187.
- Heinrichs J. 2005. Rumen development in the dairy calf. *Adv. dairy technol.* 17:179-187.
- 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.

- Hernández CJ. 2012. Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros. Editor Joel Hernández C-Pfizer. p 155.
- Hopkins BA. 1997. Effects of the method of calf starter delivery and effects of weaning age on starter intake and growth of Holstein calves fed milk once daily. *J Dairy Sci.* 80:2200-2203.
- INEGI. 2018. Publicado a través del Global Trade Atlas. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/ganaderia/default.html#Herramientas>. Consultado en enero 2019.
- Johnson D. 1986. Proper growth, Management important in raising of heifers. Morris, Minnesota. *Journal Feedstuffs.* p 14-17.
- Khan MA, Bach A, Weary DM, von Keyserlingk MAG. 2016. Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 99:885-902.
- Kiezebrink DJ, Edwards AM, Wright TC, Cant JP, Osborne VR. 2015. Effect of enhanced whole-milk feeding in calves on subsequent first-lactation performance. *J. Dairy Sci.* 98:349-356.
- 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.
- Kokolis N, Theodosiadou E, Tsantarliotou 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.

- Lawrence LJ, Fowler VR. 2012. Growth of Farm Animals. 3rd Edition. CABI Wallingford UK, Cambridge, Ma, USA, p 352.
- LeRoith D, Werner H., Beitner-Johnson D, Roberts ChT.1995. Molecular and Cellular Aspects of the Insulin-Like Growth Factor I Receptor Endocrine Reviews. 16(2):143-163.
- Lin CY, McAllister AJ, Batra TR, Roy GL, Vesley JA, Wauthy JM, Winter KA.1988. Effects of early and late breeding heifers on multiple lactation performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 71:2735.
- 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.
- Lonergan SM, Topel DG, Marple DN. 2019. Growth curves and growth patterns (Chapter 6) in: The Science of Animal Growth and Meat Technology (Second Edition), 71-109 p.
- MacDonald R. 1999. The Role of Insulin-Like Growth Factors in Small Intestinal Cell Growth and Development. Horm Metab Res. 31(02):103-113.
- Macdonald KA, Penno JW, Bryant AM, Roche JR. 2005. Effect of feeding level pre- and post-puberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. J Dairy Sci. 88:3363-3375.
- Malpaux 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.

- Márquez HO, Granados VLM, Arias SDA, Espinosa CR, Sánchez GFF. 2001. Longevidad y factores de riesgo de muerte en vacas lecheras. Memorias del XXV Congreso Nacional de Buiatría, Veracruz, México, pp 228-231.
- Medina CM. 2011. Clínica, cirugía y producción de becerras y vaquillas lecheras. Primera edición, México. Editorial. p. 504
- 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. *J. Dairy Sci* 82:1716-1722.
- Mondain-Monval M, Smith AJ, Simon P, Moller 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.
- Naito E, Watanabe T, Tei H, Yoshimura T, Ebihara S. 2008. Reorganization of the suprachiasmatic nucleus coding for day length. *J Biol Rhythms.* 23:140-149.
- Ontsouka EC, Albrecht C, Bruckmaier RM. 2016. Growth promoting effects of colostrum in calves based on interaction with intestinal cell surface receptors and receptor-like transporters. *J. Dairy Sci.* 6:4111-4123.
- Osborne VR, Odongo NE, Edwards AM, McBride BW. 2007. Effects of photoperiod and glucose-supplemented drinking water on the performance of dairy calves. *J Dairy Sci.* 90(11):5199-5207.

- Osnaya GF. 2007. Memorias del curso: Programas estratégicos en la crianza de vaquillas de reemplazo. UNAM-FES Cuautitlan, Disponible en: [http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/crianza/importancia\\_crianza.pdf](http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/crianza/importancia_crianza.pdf) , Consultado: julio del 2019.
- 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.
- Parker R. 1996. Vaquillas de reemplazo con excelente nutrición y manejo. México-Holstein. pp 22.
- Peters RR, Chapín LT, Emery RS, Tucker HA.1980. Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *J Anim Sci.* 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. *J. Dairy Sci.* 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. *J Dairy Sci.* 57:892-898.
- Petitclerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA. 1984. Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *J Anim Sci.* 57:892-898.
- 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. *J Biol Rhythms.* 10: 55-63.
- Quigley JD, Martin KR, Bemis DA, Potgieter LN, Reinemeyer CR, Rohrbach BW, Dowlen HH, Lamar KC. 1995. Effects of housing and colostrum feeding on serum immunoglobulins, growth, and fecal scores of Jersey calves. *J Dairy Sci.* 78:893-901.
- Quigley J. 2001. MEtoFeed (spreadsheet). Disponible en: <http://www.calfnotes.com/downloads/MEtoFeed.xls>, Consultado: julio 2019.
- Rao TKS, Kumar B, Singh A, Sriranga KR, Patel VA. 2017. Photoperiod management in dairy herd: a review. *Int J Sci Env Technol.* 6:669-683.
- Reiter RJ, Tan DX, Fuentes-Broto L. 2010. Melatonin: A multitasking molecule. *Prog Brain Res.* 181:127-151.
- Rius AG, Connor EE, Capuco AV, Kendall PE, Auchtung TL, Dahl GE. 2005. Long-day that enhances puberty does not limit body growth in Holstein heifers. *J Dairy Sci.* 88:4356-4365.
- Rius AG, Dahl GE. 2006. Exposure to long-day photoperiod prepubertally may increase milk yield in first-lactation cows. *J Dairy Sci.* 89:2080-2083.

- Rose J, Slayden O, Stormshak F. 1996. Melatonin- induced downregulation of uterine prolactin receptors in mink (*Mustela vison*). *Gen Comp Endocrinol* 103:101-106.
- Sejrsen KJ, Hubert T, Tucker HA, Akers RM. 1982. Influence of nutrition on mammary development in pre and postpubertal heifers. *J Dairy Sci.* 65:793-800.
- Sejrsen K. 1994. Relationships between nutrition, puberty and mammary development in cattle. *Proc Nut. Soc.* 53:103-111.
- Sejrsen K, Purup S. 1997. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: A review. *J Anim Sci.* 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. *Domest Anim Endocrinol.* 19:93-104.
- Şentürklü S, Landblom DG, Perry GA, Petry T. 2015. Effect of heifer frame score on growth, fertility, and economics. *Asian-Australas J Anim Sci.* 28(1):69-78.
- Shamay A, Werner D, Moallem U, Barash H, 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.
- Schröder UJ, Staufenbiel R. 2006. Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *J Dairy Sci.* 89:1-14.

- SIAP-SADER. 2018. Boletín de Leche enero-marzo 2018. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20enero-marzo%202018.pdf>. Consultado: enero 2019.
- Soberon F, Raffrenato E, Everett RW, Van Amburgh ME. 2012. Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:783-793.
- 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. *Am J Anim and Vet. Sci.* 2(2):42-45.
- Stamey JA, Janavick NA, Kertz AF, Drackley JK. 2012. Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *J. Dairy Sci.* 95:3327-3336.
- Statistical Analysis Systems. 2009. SAS Institute, Inc. V. 9.2.
- Sumová A, Trávníčková Z, Peters R, Schwartz WJ, Illnerová H. 1995. The rat suprachiasmatic nucleus is a clock for all seasons. *Proc. Nat. Acad. Sci. of the United States of Am.* 92:7754-7758.
- Sunrisesunset.com. 2014. Disponible en: <http://www.sunrisesunset.com/>  
Consultado: junio 2014. Edwards Apps, Inc.
- 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.
- Tucker HA, Petitclerc D, Zinn ZA. 1984. The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake, and hormone secretion. *J Anim. Sci.* 59:1610-1620.

- 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.
- Valdespino OJ. 1993. Pérdidas por desecho prematuro de vacas en un hato lechero en México. *Anim Zoot World Rev.* 5:64-67.
- Wells SJ, Dargatz DA, Ott SL. 1996. Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the United States. *Prev Vet.Med.* 29:9-19.
- Wildman EE, Jones GM, Wagner PE, Boman RL, Troutt HF, Lesch TN.1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J Dairy Sci.* 65:495-501.
- 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. *J Neuroendocrinol.* 9:639-643.
- Wolden-Hanson T, Mitton DR, McCants RL, Yellon SM, Wilkinson CW, Matsumoto AM, Rasmussen DD. 2000. Daily melatonin administration to middle-aged male rats suppresses body weight, intraabdominal adiposity, and plasma leptin and insulin independent of food intake and total body fat. *Endocrinol.* 141:487-497.
- Zanton GI, Heinrichs AJ. 2005. Meta-analysis to assess the effect of prepuberal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *J Dairy Sci.* 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. *J Anim Sci.* 63:71-82.