

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA EN LA PRODUCCIÓN DE  
LECHE EN VACAS HOLSTEIN EN UN AMBIENTE CALIDO Y ÁRIDO

Tesis

Que presenta URIEL LÓPEZ YLLESCAS

como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

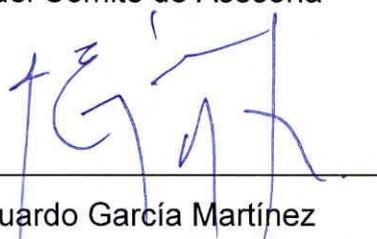
Torreón, Coahuila

Septiembre 2022

EFFECTO DE LA ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA EN LA PRODUCCIÓN DE  
LECHE EN VACAS HOLSTEIN EN UN AMBIENTE CALIDO Y ÁRIDO

Tesis

Elaborado por URIEL LÓPEZ YLLESCAS como requisito parcial para obtener el  
grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y  
aprobación del Comité de Asesoría



---

Dr. José Eduardo García Martínez  
Director



---

Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque  
Asesor



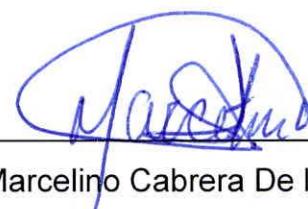
---

Dr. Juan Antonio Encina Domínguez  
Asesor



---

Dra. Leticia Romana Gaitán Alemán  
Jefe de Departamento de Postgrado



---

Dr. Marcelino Cabrera De la fuente  
Subdirector de Postgrado

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo financiero para la formación en mis estudios de maestría en ciencias.

Al posgrado de mi Alma Mater la UAAAN por permitirme formar parte de su programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi director de tesis el Dr. José Eduardo García Martínez por su instrucción, por guiarme y brindarme sus conocimientos y su dedicación, así como la confianza y paciencia que tuvo en mí para llevar a cabo esta investigación. Mi admiración y respeto.

Agradezco al Dr. Miguel Mellado Bosque por sus valiosos aportes y apoyo durante el desarrollo de esta investigación, también agradezco al Dr. Juan Antonio Encina Domínguez por las múltiples sugerencias y consideraciones a esta investigación.

A mi madre y mis hermanos por el apoyo incondicional, por creer en mí todos los días, por su amor y comprensión, gracias a ellos y su motivación hoy culmino una etapa más de vida.

A mi novia Estefanía por su ayuda, apoyo incondicional y sus aportes no solo para el desarrollo de esta investigación, sino también para mi vida

Al Ing. Hugo Lisandro Gutiérrez por sus aportes y disponibilidad para poder llevar acabo esta investigación.

A mis compañeros y amigos de Maestría y Doctorado, a los M.C. Francisco Alonso, Erika, Eber y Luis por apoyarme y darme consejos durante la maestría, por compartir momentos y brindarme su amistad.

## **Dedicatorias**

A Dios, a mi madre, hermanos y abuelos porque a través de sus consejos logre culminar esta etapa que además era un anhelo en mi vida, por el apoyo incondicional y desinteresado, por guiarme y alentarme para lograr mis sueños, porque siempre han estado para mí.

## Índice general

Agradecimientos .....	ii
Dedicatorias .....	iii
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Figuras .....	v
Resumen .....	vi
Abstract.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Importancia de la industria lechera.....	3
2.2 Factores que afectan la producción de leche .....	4
2.3 Estrés por calor.....	6
2.4 Manejo para minimizar el estrés por calor.....	9
2.5 Programas de iluminación.....	11
2.6 Programas de iluminación en ganado lechero.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1 Ubicación .....	19
3.2 Animales y su Manejo.....	19
3.3 Diseño de tratamientos.....	21
3.4 Análisis estadístico.....	21
RESULTADOS .....	22
DISCUSIÓN .....	24
CONCLUSIÓN.....	28
LITERATURA CITADA .....	29

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Ingredientes empleados para la alimentación de las vacas utilizadas en los dos tratamientos.....	20
--	----

## Índice de Figuras

Figura 1. Corrales con iluminación natural e iluminación suplementaria y su diferencia entre el consumo de materia seca medida en kilogramos.....	20
---	----

**Marcador no definido.**

## RESUMEN

### EFFECTO DE LA ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN VACAS HOLSTEIN EN UN AMBIENTE CALIDO Y ÁRIDO

URIEL LÓPEZ YLLESCAS

Maestro en Ciencias en Producción agropecuaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. José Eduardo García Martínez

Director de tesis

El objetivo fue determinar el efecto del fotoperiodo en vacas Holstein en ambiente cálido y árido (25°34'46.77"N, 103°18'59.62" O, 1114 msnm, temperatura entre 22-35°C y precipitación media anual de 220mm), mediante un programa de iluminación continua de 16h, natural (IN) y suplementaria (IS) con luminarias LED (10 h IN + 6h IS), versus solo IN, por 32 d. Los datos fueron analizados mediante anova simple considerando como factor: el tipo de iluminación (IN Vs. IS) y como variables dependientes: consumo de materia seca (CMS, Kg/d), producción de leche (PL, Kg/d) y eficiencia alimenticia (EF, KgL/KgA), empleando Statgraphics Centurion® y realizando pruebas de Tukey con  $\alpha$  al 0.05 para medias de tratamiento con significancia ( $P < 0.05$ ).

CMS y PL fueron mayores con IS ( $P < 0.05$ ) para todos los grupos DEL, con incrementos promedio en CMS de alrededor de 10.15%, y de 9.70% en cuanto a PL, representando un incremento diario de 2.834 KgL por vaca. En cuanto a la EF, no se muestran diferencias entre tratamientos ( $P > 0.05$ ) para ninguno de los grupos DEL. En términos generales EF fue de 1.3 KgL/KgA.

Se concluye que, en establos con altas temperaturas ambientales (ITH  $> 72$ ), la manipulación del fotoperiodo, mediante la iluminación suplementaria a las vacas lecheras (16 h de luz continua + 8 h de oscuridad), permite incrementos en CMS y en consecuencia mejora sustancialmente PL. Sin embargo, se debe tener cuidado de no exceder en el programa de iluminación,

ya que puede ocurrir el efecto contrario, además de afectar principalmente los parámetros reproductivos.

**Palabras clave:** *Manipulación del fotoperiodo, Iluminación suplementaria, Producción de leche, Consumo de alimento, Programa de iluminación.*

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF SUPPLEMENTARY LIGHTING ON MILK YIELD IN HOLSTEIN COWS IN A HOT, ARID ENVIRONMENT**

**URIEL LÓPEZ YLLESCAS**  
Master Science in Agricultural Production

**AUTONOMOUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO**

**Dr. José Eduardo García Martínez**

**Advisor**

The present study aimed to determine the effect of photoperiod manipulation in Holstein cows in a warm and arid environment (25° 34'46.77"N, 103° 18' 59.62" W, 1114 masl, temperature between 22 - 35°C, and 220mm average annual rainfall), through a lighting program that consisted of 16h of continuous, natural (NL) and supplementary (SL) lighting with 100-watt white LED luminaires (10h NL + 6h SL), versus only NL, for 32 days. Data were analyzed using a simple ANOVA considering as a factor: the type of lighting (NL Vs. SL) and dependent variables: dry matter intake (DMI, Kg/d), milk yield (MY, Kg/d), and feed efficiency (FE, KgM/KgF), using Statgraphics Centurion® program and performing Tukey's tests with  $\alpha$  at 0.05 for means of treatment with significance ( $P < 0.05$ ).

DMI and MY were higher with SL ( $P < 0.05$ ) for all DEL groups, with mean increases in DMI of around 10.15%, and 9.70% for MY, representing a daily increase of 2.834 KgM per cow. Regarding the FE, no differences between treatment means ( $P > 0.05$ ) are shown for any of the DEL groups. In general terms, the EF was 1.3 KgM/KgF.

It is concluded that, in stables with high environmental temperatures (ITH  $> 72$ ), the manipulation of the photoperiod, through supplementary lighting to dairy cows (16 h of continuous light + 8 h of darkness), allows an increase in feed consumption, and consequently substantially improves milk yield. However, care

must be taken not to exceed the lighting program, since the opposite effect can occur, in addition to mainly affecting the reproductive parameters.

**Keywords:** *Photoperiod manipulation, Supplemental lighting, Milk yield, Feed Intake, Lighting program.*

## INTRODUCCIÓN

La leche de bovino líquida es uno de los principales productos de origen animal que se consume, así como del que más se obtienen subproductos y por lo tanto es uno de los productos de origen animal con mayor comercialización ([FAO, 2021](#)). Los principales productores de leche a nivel mundial son la India, seguido de Estados Unidos de América y posteriormente China ([FAO, 2021](#)). México ocupa el decimosexto lugar en la producción de leche a nivel mundial ([CANILEC, 2021](#)). Somos uno de los países que presenta en déficit de leche. El consumo *per cápita* de leche bovina en México es de 117.2 kg de leche al año la cual es una cifra por debajo a lo que recomienda la FAO en cuanto al consumo de leche que es de 182.5 kg de leche por año ([Durán Meléndez, 2016](#)).

La producción de leche bovina a nivel mundial en el 2020 fue de 861 millones de toneladas teniendo un aumento del 1.4% ([OCDE-FAO, 2022](#)). La producción de leche bovina en el 2020 en México se estimó en una producción de 17, 890, 709.1 de toneladas ([SIAP, 2019](#)). Las principales cuencas lecheras de nuestro país se encuentran en los estados de Jalisco, Chihuahua, Guanajuato y la comarca lagunera que incluye a los estados de Durango y Coahuila siendo esta última la cuenca de mayor importancia la cual se tiene la mejor tecnología a nivel Latino América produciendo 2, 499, 578.47 toneladas en el año 2020 ([Loera y Banda, 2019](#)).

Debido a que nos encontramos dentro de la laguna la cual es la cuenca lechera con mayor producción a nivel nacional y con la más alta tecnología a nivel latinoamericano. Dicha zona tiene dificultades debido a los incrementos de temperatura ambiental y por consecuencia un alto índice de temperatura humedad (ITH) esto debe a que esta zona se encuentra enclavada dentro del desierto Chihuahuense las medias de temperatura oscilan 44.8°C en el verano y entre 8 y 0°C en temporada de invierno, por este motivo los animales se ven afectados por estrés por calor con el fin de tratar de minimizar dicho estrés se

han buscado alternativas que ayuden a minimizarlo por lo que es importante realizar estudios sobre el impacto que tienen la iluminación suplementaria (IS) en los cambios en los niveles de producción de leche así como el comportamiento en la reproducción.

Debido a que en la comarca lagunera se tiene un alto ITH, lo cual provoca estrés por calor en las vacas altas productoras de leche, es por esto por lo que se tiene que buscar estrategias para tratar de minimizar dicho estrés. Una de estas estrategias consiste en tratar de modificar las horas de consumo para que sea por las noches ya que se presentan temperaturas más bajas. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es determinar si existe algún efecto de la IS sobre la producción y reproducción de vacas lecheras en la comarca lagunera.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia de la industria lechera

La tecnología que es aplicada en la ganadería lechera se basa básicamente el manejo, reproducción y el control de la alimentación para permitir una mayor producción que se basa a la producción intensiva cabe destacar la implementación de la biotecnología que permite innovaciones que coadyuban a los procesos productivos en la producción lechera ([Hernández y del Valle, 2021](#)).

Se estima que a nivel mundial unos ciento cincuenta millones de hogares son dedicados a la producción de leche donde se presenta una mayor participación de los pequeños productores en países en desarrollo lo cual participa la seguridad alimentaria y la economía de los hogares debido a que las ganancias son observadas relativamente pronto siendo una fuente considerable de ingresos en efectivo ([FAO, 2021](#)). En México el precio rural de leche de bovino en el año 2019 era de 6.62 pesos en promedio a nivel nacional ([SIAP, 2019](#)).

El consumo *per cápita* que se tiene en países con un consumo alto el cual es mayor a 150 kilogramos por año se encuentran países como Estados Unidos de América, Australia, Europa, Costa rica por mencionar algunos. México es un país en el cual el consumo per cápita es de los 30 a los 150 kilogramos por año estando dentro de un consumo medio, así como también países como Japón, Nueva Zelanda, la India, así como la mayor parte de América Latina y el Caribe ([FAO, 2021](#)).

El estado de Coahuila es representado a nivel nacional por la producción láctea y algunos otros subproductos los cuales han generado identidad y sin mencionar que esto hace que contribuya ampliamente a la economía del país la cual genera casi la cuarta parte de la producción a nivel nacional ([Martínez, 2019](#)). En la región lagunera la cual es compartida con el estado de Durango y

Coahuila siendo la última donde nos encontramos enclavados cuenta con la mejor vocación para la producción de leche bovina ya que ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de leche seguido de los estados de Tamaulipas, Chihuahua y Jalisco ocupando segundo, tercero y cuarto lugar respectivamente ([Juárez, 2021](#)). Se debe de destacar que es una de las industrias con una excelente consolidación, también mencionando que esta cuenta con la mejor tecnología a nivel Latino América por lo que si por cualquier motivo esta cuenca deja de producir leche de forma eventual o proporcional se presentaría un desabasto de leche a nivel nacional ([Martínez, 2019](#)). En la laguna se cuentan con más de 380 establos en producción diaria contando con un sistema intensivo altamente tecnificado ([Ganadería, 2019](#)).

## 2.2 Factores que afectan la producción de leche

Existe una gran variedad de factores que afectan a los sistemas de producción de leche como lo son la incidencia de ciertas enfermedades, calidad y variedad y precio del alimento, profesional calificado, tecnología de punta disponible y, por último, pero no menos importante, los incrementos de temperatura ambiental ([Renaudeau et al., 2012](#)).

Debido a el ambiente que se tiene en climas tropicales los sistemas de producción de leche que se tiene se ve frenado la expresión del potencial genético de los animales debido a las condiciones climáticas a las que se encuentran sometidos esto se puede ver expresado en la producción de leche ya que esta disminuye hasta una cuarta parte en comparación a su producción en climas templados ([Carvajal-Hernández et al., 2002](#)).

La edad con la que llegan las vacas al primer parto se es encuentra ampliamente correlacionada con la producción debido al crecimiento que están teniendo los animales en ese momento lo cual se ve reflejado la producción de leche durante su primera lactancia ([Castillo-Badilla et al., 2016](#)). Pero también se

ha demostrado que en vacas menores a los 23 meses de edad se presentan mayores índices reproductivos disminuyendo el número de servicios por concepción lo cual nos dice que estos animales tendrán un mayor periodo de vida reproductivo dentro del establo ([Cooke et al., 2013](#)).

Las vacas altas productoras son más propensas a presentar enfermedades metabólicas y a la vez se ve afectada su reproducción presentando mayores tasas de servicios por concepción debido a que los requerimientos de producción de producción son muy demandantes por lo que deja de a ver prioridad para presentar su siguiente ciclo reproductivo ([Roche et al., 2013](#)).

Durante la época de verano la cuenca lechera de la laguna, las temperaturas aumentan por lo que el estrés por calor en las vacas lecheras representa un problema para los establos que aquí se encuentran ya que se ven afectados varios factores como lo son la nutrición la producción y por consecuente la reproducción esto se ve mayormente marcado en áreas con climas húmedos y calurosos ya que la temperatura tiene un papel importante dentro de la producción lechera. La temperatura corporal en la cual las vacas están en equilibrio es de 38°C teniendo un rango desde los 36°C hasta los 40°C, pero cabe mencionar que pueden soportar hasta los 41°C gracias a su actividad ruminal normal pero si la temperatura pasa los 42°C y se tienen un porcentaje bajo de humedad entonces las vacas tienen problemas para termo regularse por lo que el uso de su energía para producir y reproducirse disminuyen por lo que cada 1°C por encima de los 38°C se presenta una pérdida en la producción láctea de 0,26 kilogramos así como también afecta a el consumo con una disminución de 0,23 kilos de alimento y con un aumento en su temperatura corporal de 0,12°C por día. El descenso tanto de la producción láctea si como la de la calidad de esta misma se debe a que el animal disminuye el consumo de alimento desencadenado una serie de mecanismos que disminuyen se capacidad tanto productiva como reproductiva. El estrés por calor en las vacas disminuye la

eficiencia económica de los establos en la región la lagunera teniendo una mayor presencia en el verano ([Sánchez, 2016](#)).

Dentro de la producción de leche bovina en México son utilizadas de manera general dos razas con potencial lechero las cuales se centran en la raza Holstein Fresian y Jersey Americana ([SADER, 2015](#)). Estas razas se ven sumamente afectadas por los incrementos de temperatura en el medio ambiente que reduciendo entre un 10 a 75% su índice reproductivo y un de un 50 a 75% en la disminución de la producción láctea y la calidad de esta , esto se puede observar cuando se tienen temperaturas superiores a los 26.5°C en vacas de la raza Holstein y en el caso de vacas Jersey presenta una mayor resistencia al estrés por calor el cual empieza a tener efectos a temperaturas superiores a los 29.5°C ( [Salvador, 2021](#)).

### 2.3 Estrés por calor

El estrés por calor se manifiesta cuando se presenta un alza en la temperatura ambiental ocasionando que los animales tengan problemas entre el calor metabólico y su termorregulación debido al incremento de la temperatura ambiental, radiación solar, y la humedad relativa, al tener estos factores se van a presentar problemas reproductivos y productivos en los animales ([González-Rivas, 2016](#)).

En el caso de ganado bovino de leche presenta algunos problemas de consideración económica entre las cuales se encuentra la capacidad de termorregulación la cual se encuentra ampliamente relacionada con la capacidad de producción láctea ya que al aumentarse esta se aumenta el consumo de alimento y a su vez incrementa el calor metabólico ocasionando que los que las vacas sean muy susceptibles a los incrementos de la temperatura ([Bernabucci et al., 2014](#)).

Cuando los animales presentan estrés por calor se ve ampliamente comprometido el sistema inmunológico de los animales lo cual se ve reflejado en un incremento en el % de enfermedades tales como mastitis y metritis durante la época del año en la que se presenta un incremento notorio de la temperatura esto se debe principalmente a que se presenta el ambiente idóneo para el crecimiento de las bacterias que causan estas enfermedades y a una disminución del sistema inmunológico de las enfermedades ([González-Rivas, 2016](#)).

Conforme mayor pasa el tiempo la demanda de leche va aumentando, así como también se presenta un aumento de la temperatura ambiental lo cual ha ocasionado que los bovinos de leche sean más susceptibles a estrés por calor ([Bernabucci et al., 2014](#)).

El estrés por calor se encuentra presente a nivel mundial el cual causa la disminución del consumo de alimento para disminuir el calor causado por el metabolismo lo cual se ve reflejado en la cantidad y calidad de la leche que producen las vacas, así como una disminución de los parámetros reproductivos de los animales y por lo tanto también se presenta un impacto económico negativo ([Temple et al., 2015](#)).

Los incrementos de la temperatura ambiental las precipitaciones anuales, así como el fotoperiodo afectan considerablemente la fisiología en diferentes etapas productivas y reproductivas de los animales ([Vélez, 2010](#)).

La disminución de producción de leche es una de las características más notorias causadas por el estrés por calor el cual se observa claramente cuando el índice de temperatura y humedad (ITH). Sobre pasa las 68 unidades lo cual tiene relación con el calor metabólico de las vacas y la producción de leche el cual va de la mano con el consumo de alimento lo cual se puede ver con mayor claridad en épocas con mayor temperatura observando en esta época una disminución de la producción de hasta un 50% ([Tao et al., 2020](#)).

En situaciones de estrés las vacas realizan la activación del eje-hipotalámico-adrenal el cual afecta considerablemente la funcionalidad reproductiva impidiendo al transporte y la producción de hormonas que participan en la reproducción tales como la gonadotropina, la hormona luteinizante y la secreción de estradiol ([Odeón y Romera, 2017](#)).

Los incrementos de temperatura causan problemas reproductivos en vacas reduciendo se tasa de concepción llegando a ser hasta tres veces menor que el promedio de las vacas que no se encuentran con problemas de estrés por calor, así como una reducción en la producción láctea posparto ([Schuller et al., 2014](#)).

Los porcentajes de natalidad se ven afectados al presentarse incrementos de temperatura ya que se afecta la implantación uterina, disminución de la tasa de natalidad, ovulación y por consecuencia se incrementan los intervalos entre partos ([Mellado et al., 2014](#)).

El estrés por calor tiene como consecuencia un bajo crecimiento a nivel fetal debido a que se encuentra relacionado con el flujo sanguíneo el cual baja cuando se presentan altas temperaturas y también se ve afectado el sistema endocrino y alteraciones en la función placentaria dando como resultado crías de bajo peso teniendo al final una disminución en la producción láctea, así como alteraciones en el desarrollo mamario ([Mellado et al., 2014](#)).

Los incrementos de temperatura causan estrés en animales los cuales se ven reflejados en la reproducción afectando los niveles hormonales, problemas de desarrollo fetal, variación en la duración del estro y alteraciones en el desarrollo embrionario ([Lopez-Gatius, 2012](#)).

## 2.4 Manejo para minimizar el estrés por calor

La reducción del estrés por calor debe de tener algunas características tales como una implementación económica baja y de fácil manejo e implementación dentro de las cuales se incluyen algunas como lo son bridar un área con sombra a los animales dentro de los corrales, modificación de las raciones alimenticias ventilación y/o aspersion de agua y proporcionarles a los animales agua de buena calidad y que esta sea fresca ([Temple et al., 2015](#)).

Para disminuir la temperatura corporal de los animales se puede lograr con la cantidad de sombra adecuada por animal, durante las épocas del año más calurosas los animales consumen hasta el doble de agua por lo que se les debe de proporcionar agua de buena calidad, fresca y en suficiente cantidad, para evitar que los animales dejen de consumir alimento por las altas temperaturas ambientales, se les debe de proporcionar el alimento en las horas más frescas del día para no tener una disminución drástica del consumo de alimento, asegurando la disponibilidad, calidad, fácil digestión y el uso de aditivos favoreciendo el crecimiento de bacterias ruminales y estar atentos a la consistencia de las heces para tener la certeza del aprovechamiento de los nutrientes. Cuando incrementa la temperatura ambiental el uso de ventiladores ayudan a la disipación del calor en determinadas áreas de los establos, el mantener a las vacas mucho tiempo en los corrales de espera hace que el ambiente sea más caliente por lo que se deben de tener el menor tiempo posible en estos corrales y se les debe de proporcionar el espacio suficiente en el resto de los corrales para que estas puedan desplazarse sin ningún problema a las áreas más frescas dentro de los corrales ([Alltech, 2021](#)).

Aunado a un buen manejo de los animales, el uso de sombras, ventiladores, aspersores, el uso de agua de buena calidad y fresca. El manejo de la alimentación debe de ser enfocado a sustituir la alta demanda energética para disminuir el calor causado por el proceso de la digestión en los animales. Estudios

realizados en Australia han observado que en dietas a base de maíz se presentó una disminución de la temperatura rectal de las vacas por lo que se tuvo una mejoría en la producción láctea en la temporada verano la cual es la que presenta temperaturas más altas en todo el año, lo cual afirma que el calor metabólico interviene participa en el estrés causado por incrementos de temperatura ambiental, por lo que se debe de cambiar el horario de alimentación a las horas más frescas del día para evitar que coincida las altas temperaturas con el incremento de temperatura causado por procesos metabólicos ([Gonzales, 2019](#)).

Las estrategias utilizadas para proporcionarle los nutrientes necesarios a las vacas durante las épocas del año en las que se presenta un incremento de la temperatura ambiental se pueden realizar de algunas acciones las cuales consisten en proporcionarle a los animales alimentos concentrados que hacen que se tenga un menor incremento de calor por procesos metabólicos en comparación a los forrajes. Otra forma de evitar el incremento de temperatura por medio de procesos metabólicos es la utilización de aditivos para mejorar la calidad de la ración y puedan ser aprovechados todos los nutrientes siempre y cuando estos sean utilizados en las proporciones correctas para evitar alteraciones en la flora ruminal de los animales ([Hyam, 2016](#)).

Debido al incremento de temperatura ambiental se deben de implementar ciertas estrategias para minimizar los efectos causados por el estrés por calor, destacando manejo como el de la disminución de tiempo en corrales de espera para el ordeño, tratar de que las ordeñas se lleven a cabo la ordeña dentro de las horas más frescas del día, contar con el espacio suficiente para el descanso de cada una de las vacas, proporcionar agua sin restricciones en espacio y cantidad y que esta sea de calidad así como el control de insectos. Estas son algunas de las estrategias que se usan en las unidades de producción para mitigar el estrés causado por los incrementos de la temperatura, cabe mencionar que estas estrategias no requieren el aporte económico sino solo manejo de fácil aplicación dentro de las unidades de producción ([Callejo, 2015](#)).

Para mitigar el incremento de temperatura ambiental se realizan diversas acciones por medio del uso de sombreadores artificiales los cuales pueden ser fijos o móviles los cuales deben de tener ciertas características tales como un área de sombra por animal de aproximadamente  $4.5 \text{ m}^2 \pm 0.5 \text{ m}$  con una altura que va desde 3 m hasta los 4.5 m con un techo con una pendiente de aproximadamente 15% y una pendiente del piso de los corrales de entre 1.5 hasta 2.5% de pendiente. Para el caso de la implementación de ventiladores deben de ser colocados a 2.7m de altura con una inclinación que va desde los 10 hasta lo 30°. La estrategia de aspersión para disminuir los efectos del estrés causados por el incremento de la temperatura ambiental teniendo como objetivo brindar un ambiente más fresco a las vacas ya que ayuda a disminuir la temperatura del aire esta estrategia es mayormente recomendada ya que no moja a la vaca si no que le proporciona a la vaca un medio ambiente más fresco ([La Manna et al., 2014](#)).

## 2.5 Programas de iluminación

Dentro de los programas de iluminación en animales se debe de tomar en cuenta la cantidad y color de luz que los animales pueden percibir debido a que se piensa que algunos colores de IS tienen mayor eficacia dentro de los procesos metabólicos de los animales, tal es el caso de IS de color verde y azul ya que se piensa que beneficia el aprovechamiento de proteína. Mientras que los programas IS utilizando colores ya sea amarillo, naranja o rojo se piensa que tiene efectos contradictorios por lo que se cree que retrasa el aprovechamiento y disposición de proteína en los animales ([Penev et al., 2014](#)).

Se han logrado observar resultados sobre el efecto que se tiene cuando se presentan fotoperiodos prolongados los cuales han tenido como resultado las vaquillas expuestas este tipo de fotoperiodo llegan a la pubertad a una edad más joven y con un peso vivo mayor y para el caso de las vacas adultas se ha observado que las vacas que paren en fotoperiodos cortos presentan un retraso en el intervalo entre celos a comparación de las vacas que paren en fotoperiodos

prolongados. La presencia de un mayor tiempo de iluminación ya sea iluminación natural (IN) o iluminación suplementaria (IS) disminuye la presencia de la hormona que ayuda a conciliar el sueño y al disminuirse esta ayuda a la producción de otras hormonas como la prolactina (PRL) la cual afecta a la producción de leche, y por consecuencia se tiene un mayor consumo de alimento para poder producir una mayor cantidad de leche sin perder la calidad de está teniendo un incremento de la producción 2 a 3 kilogramos de leche/vaca/día ([Callejo, 2016](#)).

El uso de IS para el caso de caballos ha tenido como resultado la inhibición de melatonina la cual no solo ayuda a la parte reproductiva, sino que también facilita el transporte de animales a nivel mundial evitando problemas de cambios de horario gracias a la IS mediante el uso de máscaras que cuentan con IS ([Walsh et al.,2012](#)).

## **2.6 Programas de iluminación en ganado lechero**

El uso de programas de iluminación en vacas lecheras trae consigo varios beneficios dentro de los que se destacan el aumento del consumo de alimento y por lo tanto esto se ve reflejado con un aumento en la producción láctea se fortalece su sistema óseo ya que pasan mayor tiempo paradas y son más dóciles. Pero tampoco se debe de exceder en la cantidad de las horas con luz artificial debido a que se puede causar estrés en las vacas y principalmente si se excede el tiempo de iluminación artificial en el área de los comederos lo cual puede disminuir la cantidad de consumo de alimento, el exceso de luz artificial de hasta 23 horas se puede ser un factor para disminuir la producción y por consecuente tampoco para la economía de los establos. Los novillos expuestos a días más largos han alcanzado la madurez sexual más pronto en comparación a novillos con días cortos, pero no siempre se logran obtener ventajas del uso de luz artificial ya que en el caso de las vacas que se encuentran en un su periodo seco es preferible que tengan días cortos o con mayor presencia de obscuridad ya que

si es así estas van a presentar un mayor índice de producción cuando se inicie su producción láctea ([Penev et al., 2014](#)).

Según [Wright y Shelford](#) (2013) menciona que para el caso de humanos el uso de luz LED azul disminuye considerablemente la cantidad de melatonina en comparación con luz fluorescente blanca, lo cual indica que se este tipo de iluminación puede ayudar a tener mejores resultados en programas de IS en establos. Siendo la luz led la que presenta una mayor eficiencia energética y una mayor durabilidad.

Durante los cambios de estaciones, se presenta una disminución de la cantidad de IN lo que les indica a las vacas el cambio a temporada invernal por lo que las vacas almacenan nutrientes lo que nos lleva a una disminución en la producción de leche pero se presenta una mejora en su eficiencia reproductiva, pero al evitar que suceda la disminución de IN mediante la utilización de programas de IS en mínimo 18 horas de manera ininterrumpida entre la combinación de IN y IS se tienen incrementos de producción de entre un 5 a un 16% en comparación con las vacas que solo estuvieron expuestas a la IN en un lapso de 13 horas de manera continua ([Wright y Shelford, 2013](#)).

El uso (IS) en las aves se utiliza para la estimulación de las ponedoras con un lapso corto de tiempo genera un aumento en la producción de hormonas que participan en la reproducción, teniendo como máximo la exposición a la luz de 16 horas. Mientras que para el caso de pollitas se usa lo contrario es decir se cierran las cortinas para disminuir la cantidad de IN dentro del periodo del crecimiento de estas ([Botting, 2016](#)).

El uso de la IS es de suma importancia ya que con esta se puede controlar el ciclo de la postura de las gallinas ya sea que se retrase el ciclo de la producción o se puede lograr que se disminuya la cantidad de producción de huevo. Así

como también se puede mejorar el aprovechamiento del alimento y por lo tanto incrementar la calidad del huevo ([González, 2017](#)).

Dentro de los programas de IS se tienen algunas preferencias en el uso de colores de iluminación en el caso de los pollos los colores verde y azul incrementan la eficiencia inmunológica, así como el aprovechamiento de la proteína para ser presentar un mayor incremento muscular. La disminución de la intensidad de la luz en pollos de engorda con forme estos van creciendo se piensa que se tiene una reducción significativa en cuanto a la presencia de trastornos metabólicos teniendo como resultado mayores rendimientos en la producción ([Oviedo-Rondón, 2011](#)).

El uso apropiado de los programas de IS se verá reflejado en los parámetros productivos y reproductivos de las aves sin comprometer el sistema inmunológico de los animales para poder lograr esto se deben de tener en cuenta algunas variables tales como lo son la distribución de la IS, tipo de aves ya sea para engorda o reproductoras, tiempo que se les brindara a los animales de IS así como la intensidad y color de la IS ya que algunos colores de la IS benefician a la producción y otros colores a la reproducción ([Díez, 2019](#)).

El uso de luz led dentro de los sistemas de producción de aves han demostrado que ayuda a disminuir el consumo de alimento aumentando el consumo de agua lo cual puede cambiar de una manera eficiente las conversiones de alimento ([Ponzoni et al., 2019](#)).

El uso de IS es utilizado para tener control del consumo de alimento sin dejar de lado que al menos se les proporcione a las aves un periodo de obscuridad de al menos cuatro horas y las luces deben de ser apagadas y encendidas de manera gradual para evitar causar estrés. No se tiene algún estudio sobre si se causa un estrés, pero se sugiere realizar esta acción para evitarlo ([Fairchild, 2014](#)).

El uso de IS no solo mejora la eficiencia del consumo de alimento, sino que también refuerza el sistema inmunológico de las aves, pero el uso de IS de larga duración sin el uso de intermitente de esta se pueden presentar alteraciones en el esqueleto, aunque no se vea afectada la eficiencia alimenticia ([Álvarez y Borges, 2011](#)).

[Gonzales-Barragán et al. \(2014\)](#). Mencionan que el uso de IS en vacas que presentan lactancias menores a los 76 días no presenta diferencia significativa en comparación a las vacas que solo tienen iluminación natural. Mientras que las vacas con IS que pasaron el pico de lactancia el cual empieza a descender se presenta un incremento en la producción de leche.

El uso de iluminación artificial a una edad temprana causa un incremento del consumo de materia seca y su eficiencia de conversión de alimento a leche. El consumo de materia seca en vacas secas es mayor cuando se presentan periodos de iluminación cortos (8 h de luz 16 de oscuridad). Para el caso de vacas postparto el aumento de iluminación artificial (16 h luz y 8 de oscuridad) incrementan el consumo de materia seca y la producción láctea ([Nolan et al., 2021](#)).

[Wormuth \(2021\)](#), menciona que el uso de 16 a 18 horas combinando IN e IS se tienen incrementos de la producción de leche de un 7 a un 10% incrementando en consumo de materia seca de 6%. Estos cambios se observan entre 2 y 4 semanas posteriores a su puesta en marcha. Para el caso de novillas se incrementa la eficiencia alimenticia y desarrollo de la ubre. Con el uso de IS en novillas se tienen ganancias diarias de peso de 100gr. superiores en comparación a las villas con IN.

El uso de IS juega un papel favorable ya se ve incrementada la producción asegurando un estado fisiológico normal de los animales, teniendo a la vez las

condiciones idóneas para la operación de las unidades de producción por la noche ([Prikupets, 2017](#)).

Los mamíferos requieren tanto de periodos diurnos como de nocturnos ya que regulan el funcionamiento de los organismos cada especie para cada una de las especies se encuentra una cantidad diferente de periodos diurnos y nocturnos. El uso de IS en bovinos tiene un incremento de un 8% en la producción de leche tiendo periodos de 16-18 h, de iluminación continua con 200 lux de iluminación ([Roelofsen, 2020](#)).

De acuerdo con [Dong-Hyun, et al. \(2021\)](#). Las vacas que estuvieron expuestas a IS de 100 lux no solo tienen una mayor producción en comparación a las vacas con IN, sino que también se incrementan los % de la composición de la leche. Se incrementaron los niveles de melatonina en la leche conforma se incrementa la intensidad de IS mientras que las vacas expuestas a solo IN los niveles de cortisol en la leche son los más bajos en comparación a las de las vacas con IS.

El uso de IS con un mínimo de 255 lux en un solo ojo de las vacas es la cantidad mínima requerida para tener un incremento en la producción de leche en vacas multíparas, esto se llevó a cabo mediante mascarar para vacas con iluminación en comparación a vacas expuestas a IN ([Murphy et al., 2021](#)).

El uso de máscaras con IS de color azul en un solo ojo en vacas con una intensidad mínima requerida de 255 lux para incrementar la producción de leche en comparación con las vacas con IN. Además de que las vacas con IS se presentó una disminución de la concentración de melatonina plasmática ([Murphy et al., 2021](#)).

Trabajos realizados por [House \(2006\)](#). Indica que las vacas en periodo seco deben de estar expuestas a no más de 12 h de IS o IN ya que se puede ver reducida la producción de leche en la siguiente lactancia, teniendo una aparente relación con la ubre y el sistema inmunológico en general, así como también las vacas que paren a finales de invierno tienen una mayor producción de leche a comparación de las que paren el verano ya que se considera como probable que se deba a que disminuye la producción de prolactina. El uso de IS e IN de 16-18 h incrementa la producción de manera gradual y constante de leche de un 8-10% teniendo resultados en un periodo de 2-4 semanas, por lo que se ve incrementado el nivel de consumo de alimento, esto no afecta el contenido de sólidos totales ni de proteína, aunque si se disminuye el contenido de grasa. El uso de 24 h de iluminación continua no refleja aumento en el consumo o en la producción, teniendo que considerar un periodo de obscuridad continua de 6 a 8. El uso de IS en el área de comederos disminuye la efectividad del uso de IS.

El uso la iluminación interrumpida de 16 a 18 acelera la pubertad de las vaquillas, las vacas que presentaron partos en temporada invernal se redujo la tasa de retorno del ciclo estral en comparación a las vacas que tuvieron su parto en temporada de verano. Por lo que el uso de IS acelera la presencia del estro en invierno y otoño. El uso De iluminación interrumpida de 18 h tuvo como resultado un incremento en la producción de leche de 2.9 k en comparación a las vacas con IN ([Geoffrey et al., 2001](#)).

Trabajos realizados por [Dahl et al \(1997\)](#) y [Dahl et al \(2000\)](#). Mencionan que el uso de IN e IS con una duración de 18 h de iluminación continua incrementa la producción de leche en comparación a las vacas que con IN de invierno y que al aumento del factor de crecimiento insulínico tipo-1 está relacionado con la producción de leche en al uso de iluminación de 18 h.

[Miller et al \(1999\)](#). El uso de IN e IS con un periodo de 16 h continuas durante el periodo seco de las vacas permite una mayor producción de leche en

la lactancia posterior por lo que el uso de IS debe de ser considerado en la estación y el periodo seco.

El uso de fotoperiodos cortos (16 h de oscuridad continua) en vacas en la etapa de periodo seco presento incremento en la producción de leche en la lactancia posterior en comparación a las vacas expuestas a fotoperiodos largos (16 h de iluminación continua). El incremento de la producción de leche puede estar relacionada con la prolactina ya que entre una mayor secreción de prolactina durante el periodo seco se presenta un incremento en la producción de leche en la siguiente lactancia ([Auchtung et al., 2005](#)).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Ubicación**

La fase experimental de este trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del establo “El Rosario”, el cual se encuentra ubicado en la Región Laguna, dentro del ejido la Partida perteneciente al municipio de Matamoros, Coahuila, con las siguientes coordenadas geográficas 25° 34'46.77"N, 103° 18' 59.62" O con una altitud de 1114 msnm, con una temperatura mínima promedio de 22°C y con una temperatura máxima promedio de 35°C, la precipitación media anual es de 220mm.

### **3.2 Animales y su Manejo**

Se tomaron datos de 640 vacas de primera lactancia, divididos en ocho corrales, de los cuales, cuatro recibieron iluminación natural (IN) con 80 vacas por corral, y cuatro con iluminación suplementaria (IS) con 80 vacas por corral. Dentro de cada grupo de tratamiento (IN e IS) se contó con un corral para vacas de 1-100 DEL; dos corrales para vacas con 101-200 DEL; y un corral para vacas de 201-305 DEL.

Las vacas fueron alojadas en corrales con un área total promedio de 3950 m<sup>2</sup> y con un área sombreada promedio de 1350 m<sup>2</sup>; contaban con camas de arena y un comedero lineal de 68 metros en promedio, con bebederos con válvula “percar”, contando con baños inter-ordeñas.

Se realizaron tres ordeñas por día empezando con la primera ordeña a las 6:00 am, la segunda ordeña a las 2:00 pm y la tercera ordeña a las 10 pm.

Las vacas fueron alimentadas tres veces al día con un horario de 4:00 am, 7:00 am y 2:00 pm, con dos raciones diferentes, las cuales fueron elaboradas con una premezcla base y adicionada a alfalfa y grano de maíz (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Ingredientes empleados para la alimentación de las vacas utilizadas en los dos tratamientos.**

	<b>RACIÓN 1</b>	<b>RACIÓN 2</b>
<i>PREMEZCLA</i>		
Ingrediente	% en MS	
Alfalfa de segunda	4.15	3.95
Semilla de algodón	13.27	12.59
Grano de destilería	5.53	5.77
Hi-protein	8.02	11.54
Lactomil	2.49	2.36
Lactomil HP	3.46	3.28
Oxido de magnesio	0.27	0.26
Bicarbonato de sodio	2.21	2.10
Carbonato de potasio	0.20	0.39
Dif sal	26.67	0.18
Pellets de cascara de soya	6.91	31.61
Merma de frijol	10.92	0.00
Pasta de soya	10.92	13.12
Minerl 3572	4.98	4.98
Melaza	8.29	7.87
<i>MEZCLA TOTAL</i>		
Alfalfa de primera	3.45	3.44
Silo de maíz de primera	30.23	30.14
Premezcla	28.99	30.48
Maíz rolado	21.05	22.75
Maíz primera	16.28	13.19

### **3.3 Diseño de tratamientos**

El estudio consistió en dos tratamientos: el tratamiento uno con IN y el tratamiento dos con IS los cuales consistieron en 4 repeticiones con IN con cuatro repeticiones para cada tratamiento que corresponden a 4 corrales con 80 animales por corral y 4 corrales con IS con 80 animales por corral, la IS, consistió en un programa de iluminación en el cual se proporcionaron 16 horas de iluminación continua, natural (IN) y suplementaria (IS), mediante el uso de un programa por fotocelda, con luminarias LED color blanco de 100 watts (10 h IN + 6h IS), versus solo IN, por un periodo de 32 d.

### **3.4 Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante el ANOVA SIMPLE considerando como factor: el tipo de iluminación (IN Vs. IS) y como variables dependientes: CMS (Kg/d), PRODUCCIÓN (KgL/d) y EFICIENCIA (KgL/KgA), empleando para ello el programa Statgraphics Centurion® y realizando pruebas de Tukey con  $\alpha$  al 0.05 para medias de tratamiento con significancia ( $P < 0.05$ ).

## RESULTADOS

En el cuadro 3, se presentan las medias de tratamiento (Consumo de materia seca: CMS; producción de leche: PL; y eficiencia: EF) de las vacas Holstein sometidas a iluminación natural (IN) o suplementaria (IS), en diferentes estadios de producción (DEL).

**Cuadro 2. Comportamiento productivo por efecto de la iluminación natural Vs. suplementaria en vacas Holstein en un ambiente cálido de la Comarca Lagunera (Media  $\pm$  EEM).**

DEL	ILUMINACIÓN	CMS (Kg/d)	PRODUCCIÓN (KgL/d)	EFICIENCIA (KgL/KgA)
1-100	Natural	23.210 $\pm$ 0.319 <sup>b</sup>	30.900 $\pm$ 0.641 <sup>b</sup>	1.334 $\pm$ 0.026
	Suplementaria	25.304 $\pm$ 0.512 <sup>a</sup>	34.059 $\pm$ 0.950 <sup>a</sup>	1.368 $\pm$ 0.028
101-200	Natural	22.397 $\pm$ 0.545 <sup>b</sup>	28.821 $\pm$ 0.655 <sup>b</sup>	1.299 $\pm$ 0.031
	Suplementaria	24.911 $\pm$ 0.495 <sup>a</sup>	31.542 $\pm$ 0.688 <sup>a</sup>	1.269 $\pm$ 0.023
201-305	Natural	22.303 $\pm$ 0.322 <sup>b</sup>	28.526 $\pm$ 0.371 <sup>b</sup>	1.296 $\pm$ 0.025
	Suplementaria	24.549 $\pm$ 0.216 <sup>a</sup>	31.027 $\pm$ 0.233 <sup>a</sup>	1.275 $\pm$ 0.018
1-305	Natural	22.556 $\pm$ 0.226 <sup>b</sup>	29.199 $\pm$ 0.305 <sup>b</sup>	1.306 $\pm$ 0.016
	Suplementaria	24.845 $\pm$ 0.224 <sup>a</sup>	32.032 $\pm$ 0.215 <sup>a</sup>	1.301 $\pm$ 0.014

EEM = Error estándar de la media, DEL = Días en leche, CMS = Consumo de materia seca, Kg/d = Kilogramos por día, KgL/d = Kilogramos de leche por día, KgL/KgA = Kilogramos de leche por kilogramos de alimento. Medias con distinta literal dentro de la misma columna, son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

El CMS fue mayor con IS ( $P < 0.05$ ) para todos los grupos de DEL. En el grupo de 1-100 DEL se presentó un incremento de 2.094 Kg, es decir, un 9.02% más CMS que con IN. Para el grupo de 101-200 DEL, el consumo también fue superior (11.22%), siendo mayor por 2.513 Kg en las vacas sometidas a IS. Por su parte, en el grupo de 201-305 DEL, se presentaron resultados semejantes, ya que se observó un mayor consumo (10.07%) con IS que superó con 2.245 Kg a las vacas en IN.

Así mismo, al analizar los resultados de CMS de manera global, es decir, de 1-305 DEL, también se observa un incremento en el consumo (10.15%) por lo

que al someter a las vacas a IS se obtiene un incremento de 2.290 Kg más que cuando se mantienen en IN).

En cuanto a la producción de leche, se observó algo semejante en todos los grupos de DEL, con diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ), siendo las vacas sometidas a IS más productivas, en relación a las que estuvieron en condiciones de IN. Para vacas con IS, de 1-100 DEL, la PL supero con 11.94% a las alimentadas en condiciones de IN, lo cual representa un extra de 3.159 Kg de leche por vaca por día. En cuanto al grupo de 101-200 DEL, con IS se obtienen 2.721 Kg más que con IN, es decir se mejora la PL en 9.44%. Lo mismo se presenta para el grupo de 201-305 DEL, en el cual la IS supera en un 8.76% a la IN.

Por otro lado, al analizar en forma conjunta (1-305 DEL), se observó una mejor respuesta en cuanto a PL para las vacas sometidas a IS, superando a las vacas en IN (9.70%), lo que representa un incremento diario de 2.834 KgL por vaca.

Finalmente, en cuanto a la eficiencia alimenticia (EF), no se muestran diferencias entre medias de tratamiento ( $P > 0.05$ ) para ninguno de los grupos de DEL. En términos generales la EF fue de 1.3 KgL/KgA.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a lo señalado por [Thornton \(2010\)](#), muy probablemente la producción animal también se vea afectada negativamente como consecuencia del cambio climático. [Church \(1988\)](#), considera que el impacto térmico del medio ambiente sobre los animales es una consecuencia directa de la interacción de éstos, con las variables climáticas. Además, se considera que la combinación de elevada humedad ambiental y altas temperaturas son también consecuencia del cambio climático ([Carvajal-Hernández et al., 2002](#); [Estenssoro, 2010](#); [Lemaire et al., 2019](#)).

Por lo anterior, y aun cuando la Comarca Lagunera es la cuenca lechera más importante del país, presenta severos retos para la producción. Esto debido a que está ubicada al noreste de México, en un ambiente caluroso y árido. Esto ha afectado seriamente a los productores lecheros ya que el estrés por calor causa una reducción en el consumo de alimento, por parte de los animales y por ende, afecta la cantidad y calidad de la leche, sin dejar a un lado las cuestiones reproductivas, y las económicas ([Collier et al., 2019](#); [Tao et al., 2018](#)).

Por otro lado, dentro de los múltiples factores que afectan directamente a los sistemas de producción de leche, [Renaudeau et al., \(2012\)](#), consideran el incremento de temperatura ambiental como un factor determinante al cual debemos poner atención. Al respecto, se han propuesto algunas medidas con el fin de disminuir el impacto de la temperatura ambiental sobre la producción animal ([Mader, 2003](#); [Bernabucci et al., 2014](#); [Herbut et al., 2019](#)), éstas incluyen cambios en la dieta, sombreaderos, ventiladores, rociadores y aspersores. Además, en los años recientes se ha dado la tendencia al uso de programas de iluminación suplementaria, buscando con ello reducir el estrés por calor ([Álvarez y Borges, 2011](#); [Fairchild, 2014](#); [Prikupets, 2017](#); [Wormuth, 2021](#); [Nolan et al., 2021](#)).

Los resultados del presente estudio confirman lo reportado por [Roelofsen \(2020\)](#); [Peters et al. \(1981\)](#); [Phillips y Schofield \(1989\)](#); [Phillips et al. \(1998\)](#); [Miller et al. \(1999\)](#) y [Dhal et al. \(2000\)](#), en cuanto a que el consumo de alimento (CMS) se ve incrementado por efecto de someter a las vacas a iluminación suplementaria (IS). En términos generales el CMS se incrementó en un 10.15% en relación a las vacas con solo iluminación natural (IN). Esto puede deberse a que los animales en IN consumen menos, ya que como señala Mosley (2018), a las vacas no les agrada estar en lugares de poca o nula iluminación. Por el contrario, son afines a las áreas más iluminadas ([Phillips et al., 1998](#)).

[Phillips y Schofield \(1989\)](#) observaron una marcada tendencia a incrementar el CMS mediante el uso de IS, así mismo, [Dhal et al. \(2000\)](#) mencionan eventuales incrementos en el CMS derivados de someter a las vacas a IS. [Miller et al. \(1999\)](#) estudiaron el efecto de la IS encontrando incrementos en el CMS, además de mejoras sustanciales en la grasa de la leche. Por su parte, [Roelofsen \(2020\)](#) señala que no solamente se incrementa el CMS, sino además se aumenta el consumo de agua, al proporcionar IS. [Phillips et al. \(1998\)](#) consideran que las vacas buscan las áreas con mayor iluminación, trayendo como consecuencia un mayor CMS cuando se someten a IS en comparación con solo IN. Por otro lado, [Peters et al. \(1981\)](#) y [Nolan et al. \(2021\)](#) reportan incrementos de alrededor del 6% en el CMS.

En cuanto a la producción de leche (PL), en este estudio se observó una respuesta superior para las vacas sometidas a IS, superando en términos generales (9.70%) a las vacas en IN. Resultados semejantes fueron reportados por [Roelofsen \(2020\)](#), quien obtuvo un 8% de incremento en la PL, señalando que además se incrementó la tasa de concepción. [Dong-Hyun et al. \(2021\)](#), encontraron incrementos de 13.4% en PL, pero, además, con mejorías en la composición de la leche, principalmente en el contenido de grasa y sólidos totales. Algo semejante observaron [Jin-Ryong et al. \(2019\)](#) al usar IS, obteniendo mayor PL y con incrementos en el contenido de lactosa. [Peters et al. \(1981\)](#)

observaron incrementos de 6.7% en PL por efecto de la IS, sin afectar el contenido de grasa. [Bodurov \(1979\)](#) reporta un incremento de 13% en PL por IS, con aumento de 0.3% en grasa. Por su parte, [Modi et al. \(2017\)](#), [Chamberlain \(2018\)](#) y [Buyserie et al. \(2001\)](#), encontraron que la IS incrementa la PL en 8-10%.

Los porcentajes de aumento en PL mencionados anteriormente, como consecuencia de la IS, representan un significativo incremento. En el presente estudio, esto se traduce en 2.834 KgL/d, lo cual concuerda con lo reportado (1.67-3.08 KgL/d) por [Nolan et al. \(2021\)](#); [Miller et al. \(1999\)](#); [Dahl \(2005\)](#); y [Patbandha et al. \(2016\)](#). Dichos incrementos en la producción pudieran estar relacionados con un aumento en los niveles de prolactina ([Peters et al., 1981](#); [Miller et al., 1999](#); y [Jin-Ryong, 2019](#)), lo cual se traduce en un mejor desarrollo de la glándula mamaria ([Modi et al., 2017](#)) y, en consecuencia, en un incremento considerable de la PL ([Roelofsen \(2020\)](#); [Bodurov, 1979](#); [Peters et al., 1981](#); [Buyserie et al., 2001](#); [Modi et al., 2017](#); [Chamberlain, 2018](#); [Jin-Ryong et al., 2019](#); [Dong-Hyun et al., 2021](#)). Además, que en las vacas expuestas a IS, se encontraron incrementos en los niveles de melatonina y, por el contrario, en vacas sometidas solamente a IN se disminuyó la concentración de cortisol ([Dong-Hyun et al., 2021](#)).

Finalmente, en establos con altas temperaturas, se considera necesario manipular el fotoperiodo, ya que al aumentar el estrés por calor (THI >72) en consecuencia se aumentará la tasa respiratoria y la temperatura corporal de las vacas y es aquí cuando la vaca lechera empieza a bajar su PL ([Baumgard et al., 2006](#); [Hernández et al., 2007](#); [Ghiano et al., 2014](#); [Cardoso et al., 2015](#); [Jiseon et al., 2019](#); [Park et al., 2019](#); [Fabris et al., 2017](#); [Collier et al., 2019](#)), además de sufrir alteraciones en los marcadores de estrés oxidativo, así como cambios a nivel sanguíneo de glucosa, sodio, potasio y cloro ([Fabris et al., 2017](#); [Jeelani et al., 2019](#)). De hecho, actualmente se usa el ITH para evaluar el nivel de confort de los animales ([Olivares et al., 2013](#), [Carabaño et al., 2016](#); [Nguyen et al., 2016](#); [Cerqueira et al., 2016](#)). Es por ello que, al manipular el fotoperiodo, se logra incrementar la PL, ya que además se mejora la eficiencia reproductiva

([Patbandha et al., 2016](#)). Para ello se recomienda el uso de aproximadamente 16 h de iluminación continua (IN + IS), más 8 h de oscuridad, lo cual incrementa la producción, crecimiento y mejora la eficiencia reproductiva, y ayuda a un mayor desarrollo mamario de las vacas. Sin embargo, se debe tener el cuidado apropiado, ya que si se excede de las h de iluminación continua se observarán efectos negativos (principalmente en los parámetros reproductivos de las vacas [Nolan \(2021\)](#)). Además, se debe usar luz blanca ya que se ha observado que con la luz amarilla y azul se disminuye la PL y su calidad se afecta, aunque mayormente con la luz azul ([Son et al.,2020](#)). La luz azul también ocasiona una reducción plasmática de melatonina ([Murphy et al., 2021](#)).

## CONCLUSIÓN

En establos con altas temperaturas ambientales (ITH >72), la manipulación del fotoperiodo, mediante la iluminación suplementaria a las vacas lecheras (16 h de luz continua + 8 h de oscuridad), permite el incremento en el consumo de alimento y en consecuencia mejora sustancialmente la producción de leche. Sin embargo, se debe tener cuidado de no exceder en el programa de iluminación, ya que puede ocurrir el efecto contrario, además de afectar principalmente los parámetros reproductivos.

## LITERATURA CITADA

- [Alltech \(2021\)](#) .10 consejos para el manejo del estrés calórico en vacas lecheras. Consulta: 04 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.alltech.com/es-mx/blog/10-consejos-para-el-manejo-del-estres-calorico-en-vacas-lecheras>
- [Álvarez, R., Borges, G. \(2011\)](#). Programa alternativo de luz para pollos. Consulta el 11 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.elsitioavicola.com/articulos/2053/programa-alternativo-de-luz-para-pollos/>
- [AUCHTUNG, L T., et al.](#) Effects of Photoperiod During the Dry Period on Prolactin, Prolactin Receptor, and Milk Production of Dairy cows. Journal of Dairy Science [online]. Elsevier. January 2005, vol. 88(1). 121-127 [viewed 12 December 2021]. Available from: DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72669-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72669-2)
- [Baumgard, L., Wheelock, J., Shwartz, G., O'Brien, M., VanBaale, M., Collier, R., Rhoads, M., Rhoads, R. \(2006\)](#). Effects of Heat Stress on Nutritional Requirements of Lactating Dairy Cattle. Proceedings of the 5th Annual Arizona Dairy Production Conference, pp. 1–10.
- [BERNABUCCI, U., et al.](#) The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. Journal of Dairy Science [online]. Elsevier. January 2014, vol. 97(1). 471-486 [viewed 28 September 2021]. Available from: DOI: 10.3168 / jds.2013-6611
- [BODERUV, N.](#) Effects of supplementary artificial illumination with visible rays on biochemical indices in the blood serum, milk yields and fertilization during lactation. [online]. Veterinarlo-meditsinskinauki, 1979, vol. 16(6). 58-65 [viewed 03 March 2022]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/545848/>
- [Botting, D. 2016.](#) Entendiendo la iluminación: guía sobre los leds y otros puntos de luz. Consulta el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2018/03/entendiendo-la-iluminacion-sobre-los-leds-y-otros-puntos-de-luz>
- [BUYSERIE, A., et al.](#) Managing Light in Dairy Barns for Increased Milk Production. Oregon State University [online]. September 2001, [viewed 01 February 2022]. Available from: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/xg94hp91j>
- [Callejo, A., 2015.](#) El estrés calórico en vacas lecheras. Consulta el 05 de octubre de 2021. Disponible en: [https://oa.upm.es/37755/1/INVE\\_MEM\\_2015\\_201963.pdf](https://oa.upm.es/37755/1/INVE_MEM_2015_201963.pdf)
- [Callejo, A., 2016.](#) Iluminación de instalaciones de vacuno de leche. Frisona Española. Consulta el 04 de octubre de 2021. Disponible en: [https://oa.upm.es/44113/1/INVE\\_MEM\\_2016\\_238067.pdf](https://oa.upm.es/44113/1/INVE_MEM_2016_238067.pdf)
- [CANILEC](#) Cámara Nacional de la Industria de le leche. (2021). Consulta 21 Mayo 2021. Disponible en: <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>
- [CARABAÑO, J., et al.](#) Modeling heat stress under different environmental conditions. Journal of Dairy Science [online]. 2016, vol. 99, 3798–3814. [viewed 09 June 2022]. Available from: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10212>

- CARDOSO, C., et al. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. [online] Elsevier. 2015, vol. 1 83-92 235 [viewed 20 mayo 2022]. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>
- CARVAJAL-HERNÁNDEZ, M., et al. [Duración de la lactancia y producción](#) de leche de vacas Holstein en el Estado de Yucatán, México. [online]. Rev. Biomed. January-March 2002, vol. 13(1). 25-31 [viewed 11 September 2021]. Available from: <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v13i1.292>
- CASTILLO-BADILLA et al. Efecto de la edad al primer parto sobre parámetros reproductivos en la primera lactancia de vacas Holstein y Jersey de Costa Rica. Ciencias Veterinarias [online]. Enero-Junio 2015, vol. 33(1). 33-45 [consulta 12 de diciembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.15359/rcv.33-1.2>
- CERQUEIRA, J., et al. Predicción de estres térmico en vacas lecheras mediante indicadores ambientales y fisiológicos. Archivo Zootecnia. [en línea]. 2016, vol. 65(251), 357-364. Consulta el 20 de Junio 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/495/49549092012.pdf>
- Chamberlain, A. T. The use of [supplementary lighting](#) in [dairy cow housing](#) to increase milk production. [online]. Livestock. May/June 2018, vol. 23(3). 130–138. [viewed 01 June 2022]. Available from: doi:10.12968/live.2018.23.3.13010.12968/live.2018.23.3.130
- Church, D. (1988). The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Editorial Acribia, Zaragoza, España, p. 527.
- Collier, R., Baumgard, L., Zimelman, R., Xiao, Y. (2019). Heat Stress: Physiology of acclimation and adaptation, Anim. Front. 9,11-19.
- COOKE, Jessica S., et al. [Association](#) between growth rates, age at first calving and subsequent fertility, milk production and survival in Holstein Friesian heifers. Open Journal of Animal Sciences [online]. January 2013, vol. 3(1). 1-12 [viewed 10 December 2021]. Available from: DOI: 10.4236/ojas.2013.31001
- DAHL, G. Let There be Light: Photoperiod Management of Cows for Production and Health. Florida Dairy Production Conference [online]. May 2005, [viewed 03 February 2022]. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.554.1794>
- DAHL, G., et al. [Effects of a Long](#) Daily Photoperiod on Milk Yield and Circulating Concentrations of Insulin-Like Growth Factor-1. Journal of Dairy Science [online]. May 1997, vol. 80(11). 2784-2789 [viewed 12 December 2021]. Available from: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(97\)76241-6/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(97)76241-6/pdf)
- DAHL, G., et al. [Photoperiodic Effects](#) on [Dairy Cattle](#). Journal of Dairy Sciences [online]. April 2000, vol. 83(4). 885-893 [viewed 12 December 2021]. Available from: DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74952-6
- DÍEZ, A. D. 2019. El fotoperiodo en broilers y los programas de iluminación. Consulta el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/el-fotoperiodo-en-broilers-y-los-programas-de-iluminacion/>
- DONG-HYUN, L., et al. Effects [of photoperiod and](#) light [intensity on](#) milk [production and](#) milk composition of dairy cows in automatic milking system. Journal of Animal Science and Technology [online]. May 2021, vol. 63(3). 626-639 [viewed 11 December 2021]. Available from: DOI: <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e59>

- Durán Meléndez. (2016). ESTUDIO DEL CONSUMO DE LECHE Y SUS DERIVADOS EN EL MUNICIPIO DE OAXACA DE JUAREZ, MÉXICO. *Revista Mexicana de Agronegocios* [en línea]. 441-450. Consulta 18 de Junio de 2022. ISSN: 1405-9282. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14149188007>
- ESTENSSORO, F. CRISIS AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA GLOBAL: UN TEMA CRECIENTEMENTE COMPLEJO PARA AMÉRICA LATINA. *Universum* (Talca) [online]. 2012, vol. 25(2), 57-77. [viewed 08 June 2022]. Available from: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-23762010000200005>
- Fabris, T., Laporta, J., Corra, F., Torres, Y., Kirk, D., McLean, D., Chapman, J., Dahl, G. (2017). Effect of nutritional immunomodulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. *J. Dairy Sci.* 100, 1–10.
- Fairchild, B. 2014. Tendencias actuales en la iluminación en la avicultura. Consulta el 11 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.elsitioavicola.com/articulos/2635/tendencias-actuales-en-la-iluminacion-en-avicultura/>
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2021. Producción lechera. Consulta el 11 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- Ganadería. 2019. Ganadería de la Comarca Lagunera produce 10 millones de litros de leche diarios. Consulta el 13 de septiembre de 2021. Disponible en <https://www.ganaderia.com/destacado/Ganaderia-de-la-Comarca-Lagunera-produce-10-millones-de-litros-de-leche-diarios>
- Geoffrey E. Animal Science. University of Illinois., Gregory W., Urbana. 2001. Photoperiod Control Improves Production and Profit of Dairy Cows. Proceedings of the 5<sup>th</sup> western dairy management conference. Consulta el 12 de diciembre de 2021. Disponible en: <http://wdmc.org/2001/WDMC2001p027-30.pdf>
- GHIANO, J., et al. 2014. Manejo del estrés calórico. Jornada Nacional de Forrajes Conservados. Consulta el 07 de Junio de 2022. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-5\\_jornada\\_nacional\\_de\\_forrajes\\_conservados\\_-\\_m\\_3.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-5_jornada_nacional_de_forrajes_conservados_-_m_3.pdf) Consulta (14/3/2016)
- González, K. 2017. Programas de iluminación en gallinas ponedoras. Consulta el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://zoovetespasion.com/avicultura/gallinas-ponedoras/programa-de-iluminacion-en-gallinas-ponedoras-en-el-periodo-de-crianza-de-la-pollona/>
- González, P. 2019. Estrés por calor en el ganado de leche y carne: monitorización, control y manejo nutricional. La principal herramienta en el índice de temperatura y humedad (ITH). Consulta el 04 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.portalveterinaria.com/articoli/articulos/14999/estres-por-calor-en-el-ganado-de-leche-y-carne-monitorizacion-control-y-manejo-nutricional.html>
- González-Barragán, I., Hernández, J., Cenit Solar, Proyectos e Instalaciones Energéticas S.L. (2014). Influence of artificial lighting in milk production of dairy cows. Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 06-10.07.2014. Consulta el 09 de diciembre de 2021. Disponible en: <http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06980001.pdf>

- [González-Rivas, P. \(2016\). Estrés por calor en ganado lechero.](#) Consulta el 27 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://docplayer.es/40658413-Estres-por-calor-en-el-ganado-lechero.html>
- [Herbut, P., Angrecka, S., Godyń, D., Hoffmann, G. \(2019\) The physiological and productivity effects of heat stress in cattle-A review. Ann. Anim. Sci. 19, 579–594.](#)
- [Hernández y del Valle. \(2000\).](#) La industria láctea de México en el contexto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Consulta el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-industria-l%C3%A1ctea-de-M%C3%A9xico-en-el-contexto-del-Tratado-de-Libre-Comercio-de-Am%C3%A9rica-del-Norte-\(TLCAN\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-industria-l%C3%A1ctea-de-M%C3%A9xico-en-el-contexto-del-Tratado-de-Libre-Comercio-de-Am%C3%A9rica-del-Norte-(TLCAN).pdf)
- [HERNÁNDEZ, A., et al.](#) “Respuesta al estrés por calor en la vaca criollo lechero tropical bajo un sistema de doble propósito en México”. Revista de Salud Animal [en línea]. 2007, vol. 29(2) 29, 85–90. Consulta el 20 de Junio 2022. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S0253-570X2007000200003&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0253-570X2007000200003&lng=es&tlng=es)
- [House, H. 2006. Lighting](#) for more milk. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Ontario. Consulta el 11 de diciembre de 2021. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/06-053.pdf>
- [Hyam, J. 2016. Estrategias](#) nutricionales para combatir el estrés por calor en vacas lecheras. Nutrinews. Consulta el 04 de octubre de 2021. Disponible en: <https://nutricionanimal.info/estrategias-nutricionales-para-combatir-el-estres-por-calor-en-vacas-lecheras/>
- [Jeelani, R., Konwara, D., Khana, A., Kumarb, D., Chakraborty, D., Brahmaa, B \(2019\).](#) Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. J. Therm. Biol. 82, 99–106.
- [JIN-KYONG., et al. Effects of LED](#) Lighting [Intensity on](#) Productivity, Blood Parameters and Immune Responses in Dairy Cows. Korean Journal of Organic Agriculture. [online]. May 2019, vol. 27(2). 161-171. [viewed 26 March 2022]. Available from: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201923258046514.view?orgId=anpor&hide=breadcrumb,journalinfo>
- [JISEON, S., et al.](#) Effects of white, yellow, and blue colored LEDs on milk production, milk composition, and physiological responses in dairy cattle. Animal Science Journal [online]. 2019, 1-9 [viewed 20 Mayo 2022]. Available from: <https://doi.org/10.1111/asj.13337>.
- [Juárez, C. 2021. Estadísticas](#) de la Industria: Cifras de la producción de leche en México, un negocio que siempre crece. Consulta el 11 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://thelogisticsworld.com/manufactura/cifras-de-la-produccion-de-leche-en-mexico-un-negocio-que-siempre-crece/>
- [La Manna, A., Román, L., Bravo, R., Aguilar, I. 2014.](#) Estrés térmico en vacas lecheras: con sombra y bienestar las vacas producen más. INIA. Consulta el 04 de octubre de 2021. Disponible en: <http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/revista-INIA-39-p.-34-39.pdf>
- [LEMAIRE, G., et al](#) 2019. Toward integrated crop-livestock systems in West Africa: a project for dairy production along Senegal river. In: Agroecosystem Diversity. [online]. 2019 1st Ed.

Academic Press, Elsevier, London, England. 275-285 ISBN: 978-0-12-811050-8, [viewed 10 June 2022]. Available from: DOI: 10.1016/B978-0-12-811050-8.00017-0

[Loera y Banda](#). (2019). Situation de la industria lacteal en Mexico: production y comercialization. Consulta 13 de Octubre 2021. Disponible en: <https://rumiantes.com/situacion-industria-lactea-mexico-produccion-comercializacion/>

[LÓPEZ-GATIUS, F.](#) [Factors](#) of a noninfectious nature affecting fertility after artificial insemination in lactating dairy cows. *Theriogenology* [online]. Elsevier. April 2012, vol77(6). 1029–1041 [viewed 04 October 2021]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.10.014>

[Mader, T. \(2003\)](#). Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81, Suppl. 2, 110–119.

[Martínez, V. 2019. Exposición de Motivos. Consulta el 13 de septiembre](#) de 2021. Disponible en: [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10-1/assets/documentos/PA\\_PRI\\_Coahuila.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10-1/assets/documentos/PA_PRI_Coahuila.pdf)

[MELLADO, M. et al.](#) [Effects of month breeding on reproductive efficiency](#) of Holstein cows and heifers inseminated with sex-sorted or conventional semen in a hot environment. *Trop Anim Health Prod* [online]. January 2014, vol. 46. 265-269 [viewed 03 october 2021]. Available from: DOI: 10.1007/s11250-013-0470-8

[MILLER, A., et al.](#) [Effects of Long Daily Photoperiod and Bovine Somatotropin](#) (Trobest®) on Milk Yield in Cows. *Journal Dairy Science*. [online]. March 1999, vol. 82(8). 1716-1722 [viewed 18 January 2022]. Available from: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75401-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75401-9)

[MILLER, A., et al.](#) [Effects of Photoperiodic Manipulation During the Dry](#) Period of Dairy Cows. *J. Dairy Sci* [online]. January 2000, vol. 83(5). 962-967 [viewed 12 December 2021]. Available from: DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74960-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74960-5)

[MODI, J., et al.](#) Photoperiod [management in](#) dairy [herd](#). *Indian Journal of Animal Production and Management*. [online]. July 2017, vol. 33(3/4). 75-78 [viewed 03 February 2022]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/340593348\\_Photoperiod\\_management\\_in\\_dairy\\_herd](https://www.researchgate.net/publication/340593348_Photoperiod_management_in_dairy_herd)

[MURPHY, BA., et al 2021.](#) [Identification of the blue light](#) intensity [administered to one eye](#) required to suppress bovine plasma melatonin and investigation into effects on milk production in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* [online]. Elsevier. July 2021, vol. 104(11). 12127-12138 [viewed 11 december 2021]. Available from: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20526>

[NGUYEN, T., et al.](#) 2016. Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. [online]. American Dairy Science Association. 2016, vol. 99(4), 2849–2862. [viewed 12 June 2022]. Available from: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9685>

[Nolan, D., Amaral-Phillips, D., Bewley, J. 2021.](#) [The Effects of Lighting Manipulation on Dairy Cattle Management](#). Department of [Animal and Food Science](#). University of [Kentucky](#). Consulta el 07 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://afs.ca.uky.edu/dairy/effects-lighting-manipulation-dairy-cattle-management>

OCDE-FAO Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). Consulta 18 Junio 2022. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/02b800e9-es/index.html?itemId=/content/component/02b800e9-es#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20de%20leche%20aument%C3%B3%201.4%25%20en%202020,totaliz%C3%B3%20cerca%20de%20861%20Mt.>

Odeón, M.M., y Romera, S. A. (2017). Estrés en ganado: causas y consecuencias. Revista veterinaria, 28(1), 69-77. Consulta el: 03 de octubre de 2021. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1669-68402017000100014](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-68402017000100014)

OLIVARES, O., et al 2013. Estimation of thermal comfort index as an indicator of heat stress in livestock production guanipa plateau, Anzoategui, Venezuela. Zootecnia Trop. [online]. 2013, vol. 31(3), 221-235. [viewed 12 June 2022]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/281244813\\_Estimation\\_of\\_thermal\\_comfort\\_index\\_as\\_an\\_indicator\\_of\\_heat\\_stress\\_in\\_livestock\\_production\\_guanipa\\_plateau\\_Anzoategui\\_Venezuela](https://www.researchgate.net/publication/281244813_Estimation_of_thermal_comfort_index_as_an_indicator_of_heat_stress_in_livestock_production_guanipa_plateau_Anzoategui_Venezuela)

Oviedo-Rondón, E.O. (2013). El efecto de la luz en los pollos de engorde. Consulta el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.portalveterinaria.com/avicultura/articulos/10110/el-efecto-de-la-luz-en-los-pollos-de-engorde.html>.

PARK, J., et al. Effect of LED Lighting Intensity on Productivity, Blood Parameters and Immune Responses in Dairy Cows. Korean J. Org. Agric. [online]. 2019, vol. 27(2): 161-171 [20 Mayo 2022]. Available from: <http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2019.27.2.161>.

PATBANDHA, K., et al. Photoperiodic Manipulation for Augmentation Dairy Animal Performance. International Journal of Science, Environment and Technology. [online]. 2016, vol. 5(6). 4594-4601 [viewed 02 February 2022]. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Tapas-Patbandha/publication/311306793\\_PHOTOPERIODIC\\_MANIPULATION\\_FOR\\_AUGMENTATION\\_OF\\_DAIRY\\_ANIMAL\\_PERFORMANCE/links/584138da08ae61f75dd0aaa0/PHOTOPERIODIC-MANIPULATION-FOR-AUGMENTATION-OF-DAIRY-ANIMAL-PERFORMANCE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tapas-Patbandha/publication/311306793_PHOTOPERIODIC_MANIPULATION_FOR_AUGMENTATION_OF_DAIRY_ANIMAL_PERFORMANCE/links/584138da08ae61f75dd0aaa0/PHOTOPERIODIC-MANIPULATION-FOR-AUGMENTATION-OF-DAIRY-ANIMAL-PERFORMANCE.pdf)

Penev, T., Radev, V., Slavov, T., Kirov, V., Dimov, D., Atanassov A., Marinov, I., (2014). Effects of lighting on the growth, development, behaviour, production and reproduction traits in dairy cows.I. J. Curr. Microbiol. App. Sci. consulta el 05 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.ijcmas.com/vol-3-11/Toncho%20Penev2,%20et%20al.pdf>

PETERS et al. Milk Yield, Feed Intake, Prolactine, Growth, Hormone, and Glucocorticoid Reponse of Cows to Supplemented Light. Journal of Dairy Science. [online]. Elsevier. August 1981, vol. 64(8). 1671-1678 [viewed 01 February 2022]. Available from: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82745-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82745-2)

PHILLIPS, J AND SCHOFIELD S. The effects of supplementary light on the producción and behaviour of dairy cows. [online]. Animal production. April 1989, vol. 48(2). 293-303 [viewed 25 February 2022]. Available from: doi:10.1017/S0003356100040290

PHILLIPS, J., et al. Differential response of dairy cows to supplementary light during increasing or decreasing daylength. [online]. Animal Science. February 1998, vol. 66(1). 55-63 [viewed 27 February 2022]. Available from: doi:10.1017/S1357729800008833

- PONZONI, S.G., et al. Uso do led na eficiência energética e na sustentabilidade da produção de aves. [online]. Saúde & meio ambiente [online]. Interdisciplinar. February 2019, vol. 8. 42-57 [viewed 12 October 2021]. Available from: <https://doi.org/10.24302/sma.v8i0.1900>
- PRIKUPETS, L. (2017). [Technological lighting for](#) agro-industrial installations in Russia. Light y engineering. Consulta el 06 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://i-e-journal.com/upload/iblock/2fb/2fb8339aa5be9665db237891896bae98.pdf>
- RENAUDEAU, D. et al. [Adaptation to hot climate and strategies](#) to alleviate heat stress in livestock production. The Animal Consortium [online]. Elsevier. May 2012, vol. 6(5). [viewed 29 September 2012]. Available from: <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- ROCHE, J.R., et al. Assessing and Managing Body Condition Score for the Prevention of Metabolic Disease in Dairy Cows. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice [online]. Elsevier. July 2013, vol. 29(2). 323–336. [viewed 18 September 2021]. Available from: doi: 10.1016/j.cvfa.2013.03.003
- Roelofsen, C., (2020). [Have you considered a long day lighting program for your farm?](#) Consulta el 05 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://www.canarm.com/agriculture/cowcentral/long-day-lighting>
- SADER Secretaria de Desarrollo Rural. (2015). Ganadería bovina y sus derivados. Consulta el 28 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/ganaderia-bovina-y-sus-derivados>
- Salvador, A. (2021). Efectos del estrés calórico en vacas lecheras. Consulta el 03 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.agritotal.com/nota/efectos-del-estres-calorico-en-vacas-lecheras/>
- Sánchez, A. (2016). Época de calor. Consulta el 14 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/micrositio/AMVEB-Laguna/%C3%89poca-de-calor>
- SCHULLER, L., et al. [Impact](#) heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. Elsevier. January 2014, vol. 81(8). 1050-1057 [viewed 03 October 2021]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.01.029>
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Boletín de leche Enero – Marzo 2019. Consulta el 22 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20enero-marzo%202019.pdf>
- SON, J., et al. [Effects](#) of white, yellow, and blue colored LEDs on milk production, milk composition, and physiological responses in dairy cattle. Animal Science Journal. [online]. January 2020. Japanese Society of Animal Science. Vol. 1. 1-9 [viewed 03 February 2022]. Available from: <https://doi.org/10.1111/asj.13337>
- TAO, S., et al. [Impact](#) of the heat stress on lactational performance of dairy cows. [online]. Elsevier. May 2020, vol. 150. 437-444 [viewed 29 September 2021]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>

- [Tao, S., Orellana, R., Weng, X., Marins, T., Dahl, G., Bernard, J. \(2018\).](#) Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *J. Dairy Sci.* 101, 1–13.
- [Temple, D., Bargo, F., Mainau, E., Ipharraquera, Manteca, X. \(2015\).](#) Efecto del estrés por calor en la producción de vacas de leche: una visión práctica. Consulta el 28 de octubre de 2021. Disponible en: [http://www.fawec.org/media/com\\_lazypdf/pdf/fs12-es.pdf](http://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/fs12-es.pdf)
- [Thornton, K. \(2010\).](#) Livestock production: recent trends, future prospects. *Philos. Trans. Roy. Soc.* 365, 2853–2867.
- [Vélez, M. Uribe, L. \(2010\).](#) ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción? *Biosalud*, 9(2), 83–95. Consulta el 17 de octubre de 2021. Disponible en: <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/5505>
- [WALSH, C.M., et al.](#) Blue light from light-emitting diodes directed at a single eye elicits a dose-dependent suppression of melatonin in horses. *The Veterinary Journal* [online]. Elsevier. October 2012, vol. 196(2). 231-235 [viewed 10 December 2021]. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.09.003>
- [WORMUTH, G. \(2021\).](#) [Lack of sunlight affects cattle](#). Cornell Cooperative Extension of Jefferson County. Consulta el 10 de diciembre de 2021. Disponible en: [https://www.nny360.com/artsandlife/homeandgarden/lack-of-sunlight-affects-cattle/article\\_d8b3b8bb-17e4-5844-86e4-ea5c7a1b18c0.html](https://www.nny360.com/artsandlife/homeandgarden/lack-of-sunlight-affects-cattle/article_d8b3b8bb-17e4-5844-86e4-ea5c7a1b18c0.html)
- [Wright, J., Shelford. T. \(2013\).](#) [Ligth spectrum and its implications](#) on milk production. *Dairy business*, Pp. 27-28. Consulta el 27 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.dairylight.co.uk/Wright&Shelford2013Aug.pdf>