

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

INFLUENCIA DEL TIPO DE SOMBRA SOBRE EL BIENESTAR, RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE BOVINOS EN FINALIZACIÓN INTENSIVA

**Que para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

Ilse Anahi Medina Armenta

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; enero de 2020

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **ILSE ANAHI MEDINA ARMENTA**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**(SELLO DE
POSGRADO)**

CONSEJO PARTICULAR

DRA. BEATRIZ ISABEL CASTRO PÉREZ
DIRECTORA

DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN
CO-DIRECTOR

DR. ALFREDO ESTRADA ÁNGULO
ASESOR

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA
ASESOR

DR. CARLOS RAÚL RIVERA MÉNDEZ
ASESOR



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 06 de julio del año 2020, la que suscribe Ilse Anahi Medina Armenta, alumna del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 11600780, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez y del Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón y cede los derechos del trabajo titulado “Influencia del tipo de sombra sobre el bienestar, respuesta productiva y características de la canal de bovinos en finalización intensiva”, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ilse Anahi Medina Armenta", is written over a light gray rectangular background.

Ilse Anahi Medina Armenta

CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Panorama cárnico internacional.....	3
2.1.1. Producción mundial de carne bovina.....	3
2.1.2. Consumo mundial de carne bovina.....	4
2.1.3. Exportación e importación.....	4
2.2. Panorama cárnico nacional.....	6
2.2.1. Producción de carne bovina.....	6
2.2.2. Exportación e importación.....	7
2.2.3. Consumo de carne bovina.....	7
2.3. Panorama cárnico regional.....	8
2.3.1. Producción de carne bovina.....	8
2.4. Sistemas de producción de carne de bovino.....	8
2.4.1. Implicaciones del sistema de producción de carne en el bienestar de los bovinos.....	9
2.5. Bienestar bovino.....	9
2.5.1. Bienestar bovino en sistemas intensivos.....	10
2.5.2. Normativa internacional de bienestar.....	10
2.5.2.1. Ley 32/2007, de 7 de noviembre (Unión Europea)	10
2.5.2.2. Real Decreto 348/2000, de 10 de marzo (España).....	10
2.5.3. Normativa de bienestar animal en México	11
2.5.3.1. Ley Federal de Sanidad Animal.....	11
2.6. Situaciones de estrés en bovinos dentro de sistemas intensivos.....	11

2.7. Respuesta fisiológica ante el estrés	12
2.8. Estrés calórico en bovinos	13
2.8.1. Índice de temperatura y humedad.....	13
2.8.2. Zona termoneutral del bovino.....	14
2.8.3. Balance térmico y temperatura corporal.....	15
2.8.4. Fisiología del estrés calórico	16
2.8.5. Efecto del estrés calórico en la respuesta productiva bovina....	16
2.9. Estrategias para la mitigación de estrés calórico	18
2.9.1. Uso de sombra.....	19
2.9.2. Cambio de la dieta.....	19
2.9.3. Implementación de abanicos y aspersores de agua.....	20
III. HIPÓTESIS	21
IV. OBJETIVO	22
4.1. Objetivos específicos	22
V. Material y Métodos	23
5.1. Localización del área de estudio	23
5.2. Características de la unidad para pruebas	23
5.3. Manejo del ganado al inicio del experimento	23
5.4. Distribución de bovinos en los corrales	24
5.5. Alimentación	24
5.6. Cálculo del índice de temperatura y humedad	25
5.7. Registro de la conducta relacionada con bienestar bovino	26
5.7.1. Conducta habitual.....	26
5.7.2. Conducta agonista.....	26
5.8. Respuesta productiva	26
5.9. Características de la canal	27
5.10. Análisis estadístico	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
VII. CONCLUSIONES	40
VIII. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TITULO	PÁGINA
1	Principales países exportadores de carne bovina.....	5
2	Principales países importadores de carne bovina.....	5
3	Puntuación de jadeo asignado a bovinos.....	18
4	Ingredientes y composición de la dieta basal en la alimentación de toros jóvenes.....	25
5	Temperatura ambiente (Ta), humedad relativa media (RH), e índice de temperatura y humedad media (THI) registrado durante el experimento.....	30
6	Efecto del tipo de sombra en los indicadores conductuales en bovinos productores de carne.....	33
7	Efecto de la hora y de la temperatura ambiental en los indicadores conductuales de bienestar en bovinos productores de carne.....	33
8	Interacción del tipo de sombra y horario en los indicadores de bienestar en bovinos productores de carne.....	35
9	Influencia del tipo de sombra en el crecimiento y la energía de la dieta de engorda de novillos.....	37
10	Influencia del tipo de sombra en las características de la canal de novillos de engorda.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO	PÁGINA
1	Producción mundial de proteína de origen animal desde el año 2015 y perspectiva en el 2019.....	3
2	Consumo mundial de proteína de origen animal desde el año 2015 y perspectiva en el 2019.....	4
3	Principales productores nacionales de carne bovina mostrado en porcentaje.....	6
4	Consumo per cápita nacional de las diferentes fuentes de proteína de origen animal desde el año 2010 hasta 2018.....	7
5	Principales productores de carne bovina en Sinaloa mostrado en porcentaje.....	8
6	Valores ajustados de ITH a diferente temperatura y humedad relativa clasificados de acuerdo con las categorías de estrés térmico establecido por WMO.....	14
7	Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas y homeotermia bovina para la sobrevivencia.....	17

RESUMEN

Influencia del tipo de sombra sobre el bienestar, respuesta productiva y características de la canal de bovinos en finalización intensiva

Ilse Anahi Medina Armenta

Se recibieron 1560 bovinos en una engorda comercial, considerando el peso inicial como criterio para bloqueo y aleatoriamente asignados a uno de los 24 corrales (65 toros / corrales y 6 réplicas por tratamiento) bajo diferentes prototipos de sombra: sombra convencional (SC), sombra doble (SD), domo sin abanico (DSA) y domo con abanico (DCA); con el fin de valorar la respuesta conductual, productiva y características de la canal de bovinos bajo altas temperaturas. La dieta fue a base de trigo y maíz; y el aditivo beta agonista clorhidrato de zilpaterol fue incluido en la dieta. El índice de temperatura y humedad (ITH) se registraron diariamente; durante el periodo mostro una media de 80.89 unidades, el ITH máximo superó 92 en todas las semanas del experimento, manteniendo en constante estrés por calor a los bovinos. Durante el periodo experimental (verano – otoño) en horario de 8:00, 11:30 y 14:30 horas, se evaluaron la respuesta conductual: social y agonista. Bajo los domos se observó el mayor porcentaje de bovinos bajo sombra (98 %, $P < 0.05$); en SD y SC se mostraron diferencias (87.7 vs 83.6 %, respectivamente; $P < 0.01$). Las montas solo se observaron en corrales provistos de domos (1.55 %; $P > 0.05$). El jadeo se presentó en menor porcentaje en los corrales DCA (0.16 %; $P < 0.01$). Entre más sombra asignada, la ganancia diaria de peso incremento (GDP, $P < 0.01$) y el consumo de materia seca (CMS, $P > 0.05$) mostró tendencia a aumentar, pero sin modificar la eficiencia y la energía de la dieta ($P > 0.05$). Al aumentar el porcentaje de sombra se disminuye linealmente el KPH ($P < 0.01$), pero las canales provenientes de bovinos alojados en SD se redujo el área del ojo de costilla y el grado de marmoleo (efecto cuadrático, $P < 0.01$). Los bovinos alojados en DCA mostró mayor rendimiento de la canal (1,3 %, $P < 0.01$) y KPH (8,6 %, $P < 0.05$), pero un porcentaje menor (13,6%, $P < 0.01$) de marmoleo que canales provenientes de bovinos bajo DSA. Se concluye que el tipo de sombra y la hora interactúan, por lo que esta combinación potencializa los indicadores conductuales de estrés calórico afectando el bienestar animal de bovinos productores de carne. Al aumentar el área de sombra por animal incrementa la GDP, sin embargo, el aumento o disminución de sombra proporcionada no afecta la eficiencia alimenticia o energía de la dieta. El uso de tecnología como los ventiladores mejoran la GDP, el rendimiento de la canal y aumenta el KPH; en el clima tropical son eficaces para sobrellevar la carga de calor que aumentar la superficie sombreada.

Palabras clave: bovino, sombra, bienestar animal, respuesta productiva, canal, feedlot, estrés calórico.

ABSTRACT

Influence of the type of shadow on welfare, productive performance and carcass characteristics of cattle in intensive completion

Ilse Anahi Medina Armenta

1560 cattle were received in a commercial feedlot, considering the initial weight as a criteria for blocking and randomly assigned to one of the 24 pens (65 bulls / pens and 6 replicas per treatment) under different shadow prototypes: conventional shadow (SC), double shade (SD), dome without fan (DSA) and dome with fan (DCA); in order to assess the behavioral, productive response and characteristics of the bovine carcass under high temperatures. The diet was based on wheat and steam flaked corn; and the beta agonist additive zilpaterol hydrochloride was included in the diet during the last 35 days on feed. The temperature and humidity index (ITH) were recorded daily; During the period it showed an average of 80.89 units, the maximum ITH exceeded 92 in all the weeks of the experiment, keeping bovine heat in constant stress. During the experimental period (summer - autumn) between 8:00 AM, 11:30 AM and 2:30 PM, the behavioral response was evaluated: social and agonist. Under the domes the highest percentage of cattle under shade was observed (98%, $P < 0.05$); in SD and SC differences were shown (87.7 vs 83.6%, respectively; $P < 0.01$). The mounts were only observed in pens provided with domes (1.55%; $P > 0.05$). Panting occurred in a lower percentage in DCA pens (0.16%; $P < 0.01$). The more shade assigned, the daily weight gain increase (ADG, $P < 0.01$) and dry matter intake (DMI, $P > 0.05$) showed a trend to increase, but without modifying the efficiency and energy of the diet ($P > 0.05$). Increasing the percentage of shade decreases linearly the KPH ($P < 0.01$), but the carcassed under SD reduced the area of the rib eye and the degree of marbling (quadratic effect, $P < 0.01$). Cattle housed in DCA showed higher carcass yield (1.3%, $P < 0.01$) and KPH (8.6%, $P < 0.05$), but a lower percentage (13.6%, $P < 0.01$) of marbling which carcasses from cattle under DSA. It is concluded that the type of shadow and the time interact, so this combination potentiates the behavioral indicators of caloric stress affecting the animal welfare of beef-producing cattle. Increasing the area of shade per animal increases ADG, however, the increase or decrease in shade provided does not affect the feed conversion efficiency or energy of the diet. The use of technology such as fans improves ADG, carcass performance and increases KPH; In the tropical climate they are effective in coping with the heat load that increase the shaded surface.

Key words: bovine, shade, animal welfare, carcass, feedlot, heat stress.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos de origen animal se ha incrementado en todo el mundo debido al crecimiento poblacional y se prevé que esta tendencia continúe en ascenso (FAO, 2014). Bajo esta perspectiva, el acelerado crecimiento de la población mundial, se estima que para el año 2050 alcance los 9.100 millones de habitantes, es decir 34 % más que en el año 2009; por tal razón, con el fin de alimentar a una población humana en constante crecimiento, la producción de alimentos deberá aumentar en un 70 %; ante este incremento el sector ganadero y la producción anual de carne deberán aumentar en más de 200 millones de toneladas hasta alcanzar los 470 millones de toneladas para satisfacer las necesidades alimenticias de los habitantes (FAO, 2009).

Datos recientes indican que, en el año 2017, la producción mundial de carne bovina se incrementó en un 2 % con un total aproximado de 62 millones de toneladas, siendo Estados Unidos, Brasil y Argentina los principales productores, mientras que México se posicionó en el séptimo lugar con 1.9 millones de toneladas (USDA, 2017).

Debido al incremento poblacional en los últimos años, los sistemas de producción de carne bovina se ha intensificado con el fin de abastecer la demanda de alimentos (Rubio *et al.*, 2013), ante esta creciente actividad se compromete el bienestar de los bovinos en los corrales de finalización (Rossner *et al.*, 2010); al respecto, en los corrales de engorda intensiva, la combinación de los factores ambientales, alta temperatura ambiental y elevada humedad relativa, generan una situación de estrés en el ganado, modificando la fisiología y el comportamiento del bovino (Veissier y Boissy, 2007; Olivares *et al.*, 2013), de tal manera que el estrés calórico tiene un impacto negativo en el rendimiento y bienestar del ganado (Brown-Brandl *et al.*, 2005); cuando la temperatura ambiental se incrementa, los bovinos reducen el consumo de alimento con el fin de disminuir la producción de calor, que conlleva la fermentación a nivel ruminal y la digestión, así como la actividad muscular en la búsqueda de alimento (Cedeño, 2011). Mitlöhner *et al.* (2001), refieren que las condiciones ambientales adversas afectan negativamente la ganancia diaria de peso y en consecuencia se tiene menor peso vivo y mayor espesor de grasa en la canal.

En 1989 la Organización Mundial de Meteorología estableció cuatro categorías para identificar el riesgo de estrés calórico en bovinos mediante el Índice de

Temperatura y Humedad (ITH): confort (ITH ≤ 70), alerta (ITH $>70 \leq 79$), peligro (ITH $>79 \leq 84$) y emergencia (ITH >84). La implementación de sombra en regiones con ITH elevados es una estrategia de mitigación sobre los efectos del calor, protege al bovino de la radiación solar, reduciendo la sensación térmica, al disminuir la temperatura del ambiente entre 1 a 3 °C bajo la sombra (Silanikove, 2000; Schütz *et al.*, 2009).

En un experimento realizado en Texas por Mitlöhner *et al.* (2002) observaron que el uso de sombra (2.12 m²/ animal) en el corral de engorda en temporada de verano aumentó el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso, así mismo, disminuyó la frecuencia respiratoria en comparación a los bovinos desprovistos de sombra. Por lo anterior el objetivo del presente ensayo es revisar la influencia del tipo de sombra en el corral de engorda sobre el bienestar, respuesta productiva y características de la canal de bovinos en finalización intensiva.

II. ANTECEDENTES

2.1. Panorama cárnico internacional

2.1.1. Producción mundial de carne bovina. La producción mundial de proteína de origen animal (Figura 1) ha mantenido una tendencia de aumento los últimos años, según datos obtenidos de la USDA (2018) al finalizar el año 2018, se estimó que la producción de carne bovina osciló en 62.8 millones de toneladas, siendo Estados Unidos de América (EUA) el principal productor con 12.2 millones de toneladas, seguido de Brasil y la Unión Europea con 9.9 y 7.9 millones de toneladas, respectivamente, posicionando a México en el octavo lugar con una producción de 1.9 millones de toneladas.

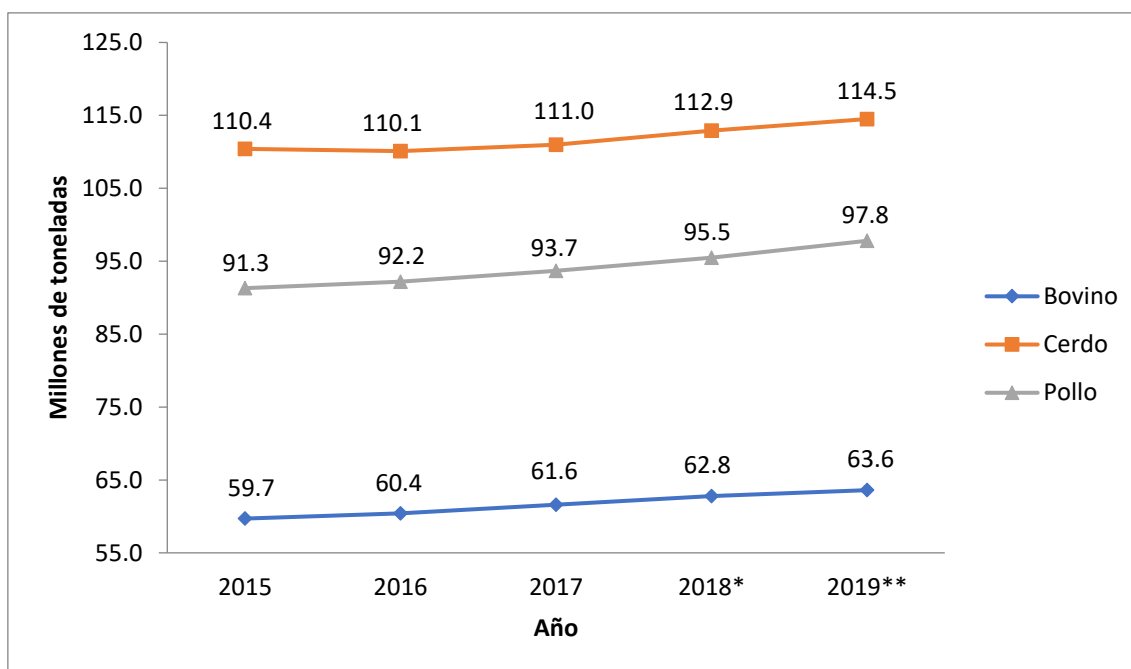


Figura 1. Producción mundial de proteína de origen animal desde el año 2015 y perspectiva en el 2019 (Fuente: Elaboración propia, con datos USDA, 2018). * Estimación final para el año 2018. ** Cifra que se prevé para el año 2019.

Se prevé que para el año 2019 aumente la producción a 63.6 millones de toneladas (1 % sobre el valor del año 2018) aportando la mayor cantidad Brasil, EUA y Argentina (USDA, 2018).

2.1.2. Consumo mundial de carne bovina. En el mundo se consume proteína de origen porcino en mayor cantidad, como segunda opción carne de pollo y en tercero la carne bovina (Figura 2; USDA, 2018). A pesar de que la carne bovina no es la opción principal entre los consumidores alrededor del mundo, el consumo de esta ha ido en aumento en los últimos años con perspectivas de crecimiento, actualmente el consumo de proteína de origen bovino oscila en los 60.7 millones de toneladas (USDA, 2018) siendo Argentina el país con mayor consumo per cápita (56 kg/persona) seguido de Brasil (37.4 kg/persona) y EUA (37.3 kg/persona); México se encuentra en el sexto lugar con un consumo per cápita de 15.4 kg (Consejo Mexicano de la Carne, 2017).

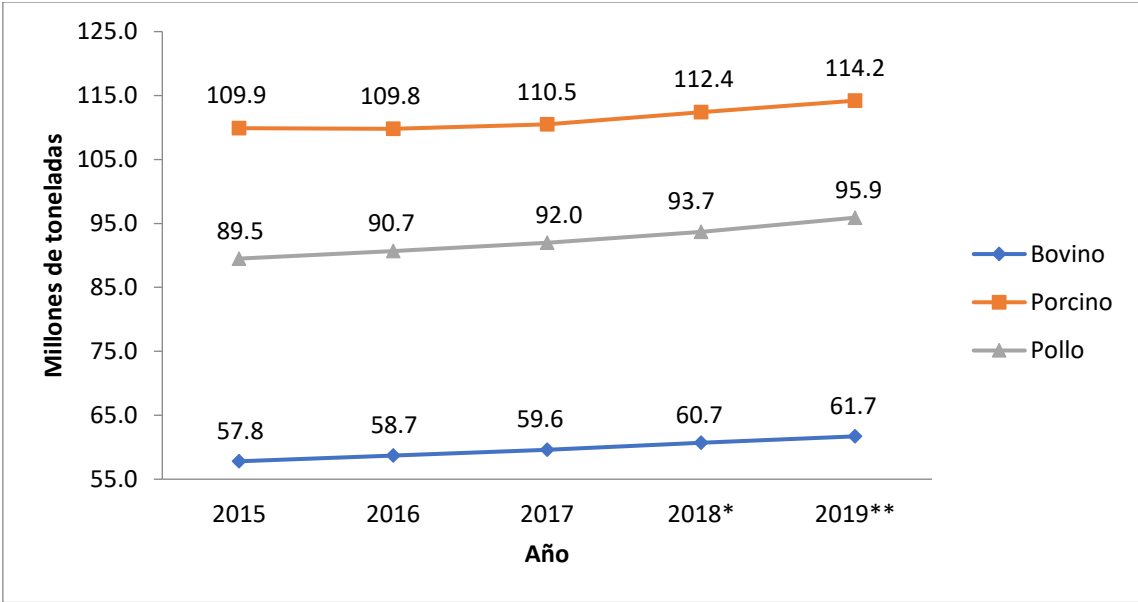


Figura 2. Consumo mundial de proteína de origen animal desde el año 2015 y perspectiva en el 2019 (Fuente: Elaboración propia, con datos USDA, 2018). * Estimación final para el año 2018. ** Cifra que se prevé para el año 2019.

2.1.3. Exportación e importación. El compendio estadístico del Consejo Mexicano de la Carne (2017) menciona que el principal país exportador de carne bovina en el mundo es la India con 1.8 millones de toneladas, en segundo lugar Brasil (1.7 millones de toneladas) y tercer lugar Australia (1.4 millones de toneladas); México se disputa con Argentina el décimo puesto con 280 mil toneladas (Cuadro 1; Consejo Mexicano de la Carne, 2017).

Cuadro 1. Principales países exportadores de carne bovina.

Ranking	País	Mil ton
1°	India	1 825
2°	Brasil	1 760
3°	Australia	1 450
4°	EUA	1 285
5°	Nueva Zelanda	570
6°	Canadá	475
7°	Uruguay	432
8°	UE	400
9°	Paraguay	380
10°	Argentina	280
10°	México	280

Fuente: Consejo Mexicano de la Carne (2017)

Cuadro 2. Principales países importadores de carne bovina.

Ranking	País	Mil ton
1°	EUA	1 341
2°	China	925
3°	Japón	780
4°	Corea del Sur	550
5°	Rusia	520
6°	Hong Kong	425
7°	Chile	290
8°	Egipto	250
9°	Canadá	225
10°	México	205

Fuente: Consejo Mexicano de la Carne (2017)

Estados Unidos es el principal país importador de carne bovina, introduciendo un total de 1.3 millones de toneladas, seguido de China y Japón (925 mil de toneladas y 780 mil de toneladas, respectivamente); México ocupa el décimo lugar entre los principales países importadores con 205 mil de toneladas (Cuadro 2; Consejo Mexicano de la Carne, 2017).

2.2. Panorama cárnico nacional

2.2.1. Producción de carne bovina. La ganadería bovina es una de las principales actividades económicas del sector agropecuario en México (Rubio *et al.*, 2013). Entre los principales productores nacionales se encuentra en primer lugar Veracruz (13 %, 258,000 toneladas; clima cálido húmedo y subhúmedo), seguido de Jalisco (12 %, 237 mil toneladas; clima cálido subhúmedo y templado subhúmedo), San Luis Potosí (6.1 %, 121 mil toneladas; clima seco y semiseco), en cuarto lugar Sinaloa (5.4%, 106 mil toneladas; clima cálido subhúmedo, seco y semiseco) y quinta posición Chiapas (5.3%, 105 mil toneladas; clima cálido húmedo y subhúmedo) (Figura 3; INEGI, 2015; SIAP, 2018).

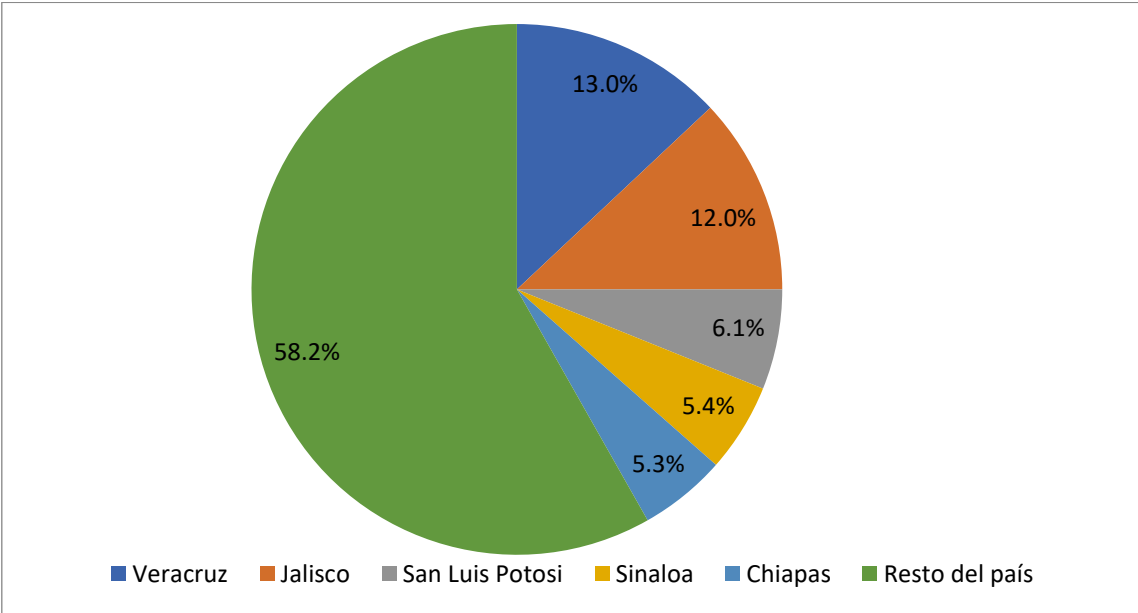


Figura 3. Principales productores nacionales de carne bovina mostrado en porcentaje (Fuente: Elaboración propia, con datos SIAP, 2018).

2.2.2. Exportación e importación. De acuerdo al Consejo Mexicano de la Carne (2017) en el año 2017 el 11 % de la producción nacional (212 mil t) fue destinada para la exportación, siendo EUA el principal comprador con 191 mil t, y en menor cantidad Japón, Hong Kong, Canadá, Corea del Sur, entre otros países.

En el año 2017 se importaron al país un total de 195 mil t de carne bovina; el origen de las importaciones fue principalmente de EUA con volumen de 162 mil t, seguido de Canadá con 17 mil t y Nicaragua con 11 mil t (Consejo Mexicano de la Carne, 2017).

2.2.3. Consumo de carne bovina. En los últimos 8 años en México, el consumo per cápita de carne bovina ha decaído un 8.2 %, siendo más evidente el aumento del consumo per cápita de otros alimentos proteicos de origen animal como se observa en la Figura 4 (Consejo Mexicano de la Carne, 2017).

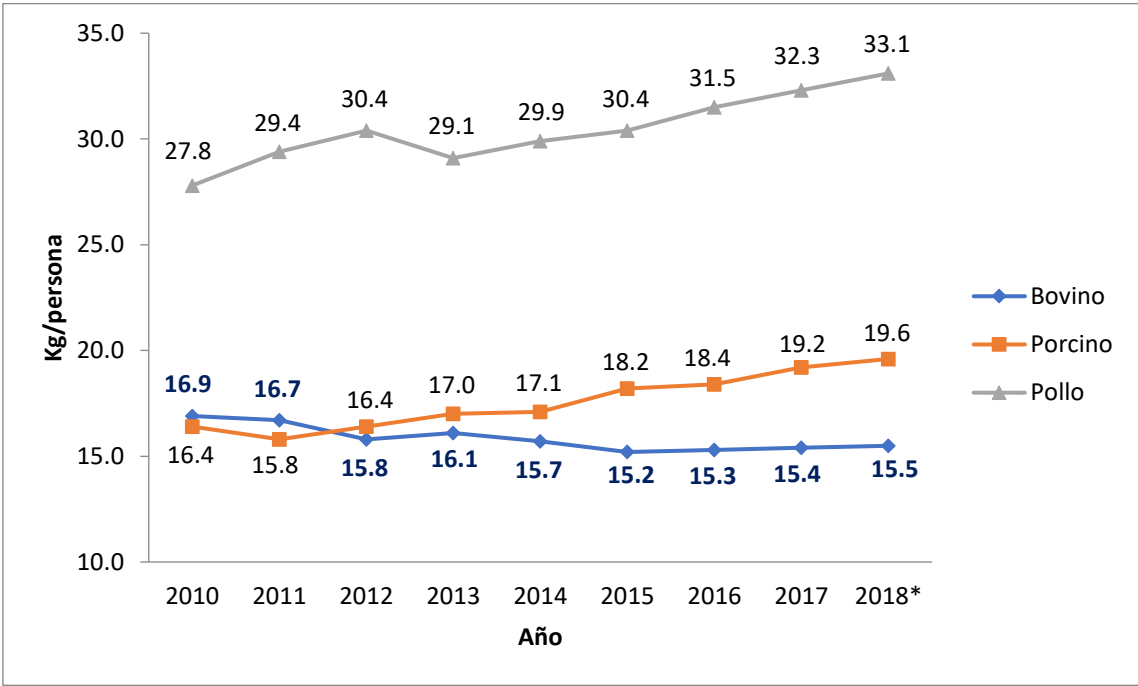


Figura 4. Consumo per cápita nacional de las diferentes fuentes de proteína de origen animal desde el año 2010 hasta 2018 (datos obtenidos del Consejo Mexicano de la Carne, 2017). *Estimación final para el año 2018.

2.3. Panorama cárnico regional

2.3.1. Producción de carne bovina. En Sinaloa, la ganadería es fundamental para el desarrollo y economía del estado. Mocorito produce más de la mitad de la producción total del estado (53.4 %, 54 mil t), en segundo lugar, Culiacán con 14.7 % (15 mil t), seguido de Navolato (12.7 %, 13 mil t; Figura 5; CODESIN, 2017).

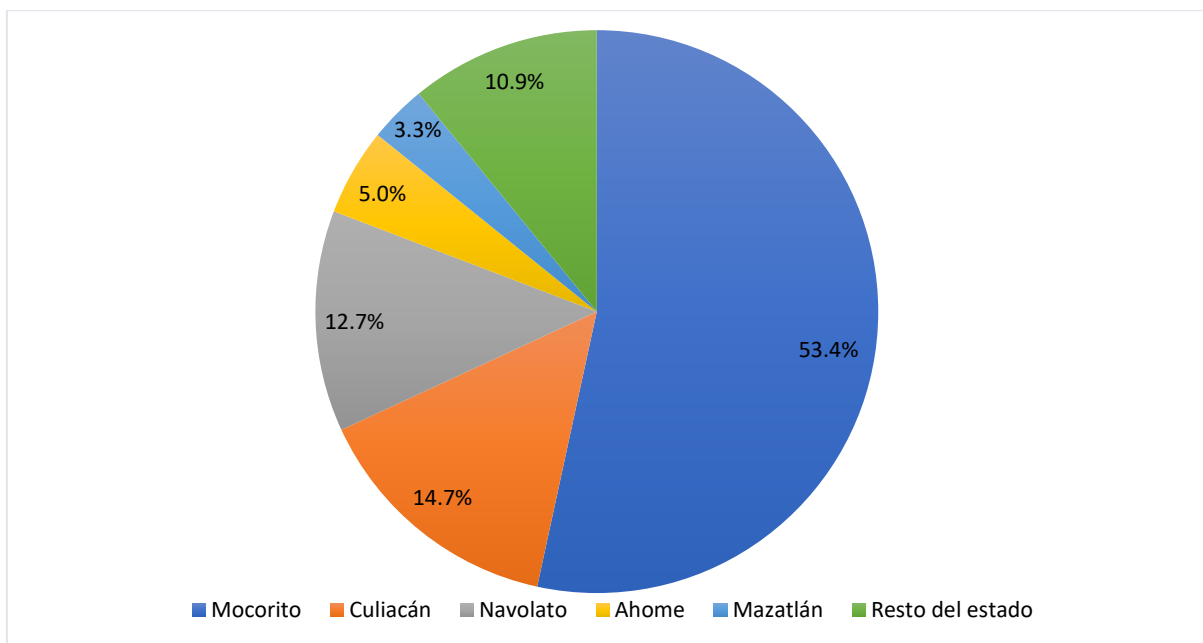


Figura 5. Principales productores de carne bovina en Sinaloa mostrado en porcentaje (Fuente: Elaboración propia, con datos CODESIN, 2017).

2.4. Sistemas de producción de carne de bovino

El objetivo de los sistemas de producción consiste básicamente en el modelo en que es criado el bovino para su fin zootécnico (OIE, 2013a). El alojamiento debe ser un sistema económico y que garantice la alta eficiencia productiva del ganado; un buen alojamiento debe suministrar alimento y agua suficiente para abastecer las necesidades del bovino, además de proporcionar un entorno cómodo y sobre todo proveer instalaciones seguras que minimicen las lesiones del ganado y transmisión de enfermedades, al igual de evitar accidentes a los operarios (Phillips, 2003).

El sistema extensivo consiste en engordar el ganado mediante el pastoreo, las ventajas de este sistema es que el ganado puede expresar su comportamiento innato por el espacio vital brindado; el sistema intensivo es utilizado de forma más rutinaria,

consiste en mantener el ganado en corrales, siendo dependiente del sustento humano para mantener sus necesidades y el semi-intensivo que es una combinación de estos dos sistemas (OIE, 2013a).

2.4.1. Implicaciones del sistema de producción de carne en el bienestar de los bovinos. El ser humano no brinda bienestar, sino que contribuye al bovino a adaptarse a su entorno, satisfaciendo sus necesidades (Rossner *et al.*, 2010). El bienestar puede comprometerse tanto en sistemas de producción intensivo como extensivo, cada uno de distintas maneras, existe la idea equivocada de que los sistemas extensivos brindan pleno bienestar al bovino por expresar comportamiento propio de la especie; sin embargo, diversos factores puede alterar su homeostasis, la desnutrición debido a la carga animal y el forraje disponible, así como, la deficiencia de ciertos minerales esenciales provocando pérdidas de peso y condición corporal deficientes; en este sistema de producción, la vigilancia por parte del hombre es insuficiente y los bovinos tienen mayor riesgo a sufrir enfermedades sin ser tratadas; por otro lado, en sistemas intensivos la interacción hombre-animal es más frecuente y debido a esto el manejo es más fácil (Campo, 2006).

2.5. Bienestar animal

El bienestar animal es la manera en que un animal afronta las condiciones de su entorno; un animal en óptimas condiciones está sano, bien alimentado, expresa su comportamiento innato y no padece sensaciones desagradables de dolor, miedo o desasosiego (OIE, 2013b). En 1965 se dieron a conocer los estándares mínimos de bienestar animal, conocidos como las “cinco libertades”: 1) libre de hambre y sed, mediante el acceso al agua y a una dieta para que aporte los requerimientos nutricionales; 2) libre de incomodidad, suministrando un entorno apropiado; 3) libre de dolor y enfermedades, mediante la prevención, diagnóstico y tratamiento; 4) libre de expresar su comportamiento innato, proporcionando suficiente espacio e instalaciones adecuadas; 5) libre de miedo y angustia, garantizando un manejo que no perturbe al animal (OIE, 2019).

Es importante que el bienestar animal esté presente en las unidades de producción, ya que su ausencia repercute en el desempeño productivo y la ganancia de peso, además, actualmente los consumidores buscan productos de origen animal que hayan sido obtenidos en condiciones de trato humanitario (Córdova *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2011).

2.5.1. Bienestar bovino en sistemas intensivos. Los animales se enfrentan a diversos cambios en su entorno, pasando por diferentes fases en el sistema de producción, tales como alojamiento, alimentación, la mezcla de animales y la interacción con el hombre; ante estas situaciones, el bienestar animal se puede comprometer de igual manera que el rendimiento productivo (Wechsler y Lea, 2007). El conocer el comportamiento innato de los bovinos ayuda al buen manejo, disminuyendo el sufrimiento innecesario de los animales (Romero *et al.*, 2011).

2.5.2. Normativa internacional de bienestar animal

2.5.2.1. Ley 32/2007, de 7 de noviembre (Unión Europea). Para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio, la Unión Europea establece de forma taxativa la obligación de regular el correspondiente régimen sancionador en caso de incumplimiento de la normativa de bienestar animal.

El Artículo 4º de esta ley menciona sobre las explotaciones de animales lo siguiente: las Administraciones Públicas adoptarán las medidas necesarias para asegurar que, en las explotaciones, los animales no padezcan dolores, sufrimientos o daños inútiles. Para ello, se tendrán en cuenta su especie y grado de desarrollo, adaptación y domesticación, así como sus necesidades fisiológicas y etológicas de acuerdo con la experiencia adquirida, los conocimientos científicos y la normativa comunitaria y nacional de aplicación en cada caso.

2.5.2.2. Real Decreto 348/2000, de 10 de marzo (España). Este Decreto es relativo a la protección de los animales en las explotaciones ganaderas.

Dentro del Real Decreto el Artículo 3º señala las obligaciones que debe tener los propietarios hacia los animales en las explotaciones ganadera: asegurar el bienestar de los animales garantizando que estos no padezcan dolor, sufrimiento ni daños

inútiles además de tomar en cuenta las condiciones en que se crían teniendo en cuenta su especie, necesidades fisiológicas y etológicas.

2.5.3. Normativa de Bienestar Animal en México

2.5.3.1. Ley Federal de Sanidad Animal. En el Título Tercero artículo 19 de esta ley indica que es la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), quien establecerá mediante disposiciones de sanidad animal, las características y especificaciones que deberán observarse para procurar el bienestar que todo propietario o poseedor de animales debe proporcionarles, a fin de que los inmunice contra las enfermedades y plagas transmisibles que los afecten y les proporcione la alimentación, higiene, transporte y albergue y en su caso entrenamiento apropiados conforme a las características de cada especie animal, con el objeto de evitar su estrés y asegurar su vida y su salud.

2.6. Situaciones de estrés en bovinos dentro de sistemas intensivos

Diversos factores alteran la homeostasis de los bovinos en confinamiento tales como la disponibilidad de espacio, manejo nutricional inadecuado, cambios ambientales, enfermedades y el manejo que reciben por parte del personal; al combinarse distintos estresores generan una respuesta mayor ante el estrés que si el bovino solo fuera expuesto a una solo (Odeón y Romera, 2017).

En sistemas intensivos debido a la densidad de bovinos en el corral de engorda, el espacio vital por animal disminuye, evitando que los bovinos con menor rango jerárquico escapen de aquellos de mayor dominancia y en consecuencia aumenta la agresividad (Lindberg, 2001). El estrés causado por el confinamiento genera inmunosupresión siendo el bovino más susceptible a enfermedades (Odeón y Romera, 2017). DeVries y vonKeyserlingk (2006) mencionan que, el acceso a la alimentación depende del espacio de comedero, a menor espacio los bovinos de menor rango jerárquico son desplazados por otros. Las situaciones ambientales extremas de calor o frío afectan al ganado, alterando los mecanismos fisiológicos y de comportamiento para equilibrar su temperatura corporal dentro del rango normal, reduciendo la respuesta productiva (Arias *et al.*, 2008). Otro estresor que generan los sistemas

intensivos es el manejo, la primera experiencia del bovino en el corral, sea con una persona o un equipo nuevo debe ser lo más grato posible, ya que un procedimiento doloroso o desagradable hará que el bovino evite estas situaciones más adelante debido a su capacidad de aprendizaje por asociación; el manejo hacia los bovinos por parte del personal puede ocasionar miedo al ganado puesto que los operarios les gritan e inclusive golpean (Rossner *et al.*, 2010).

2.7. Respuesta fisiológica ante el estrés

La respuesta al estrés es una adaptación, que permite al animal actuar rápidamente ante una situación adversa, modificando la fisiología para enfrentar diversas condiciones; la frecuencia cardiaca y respiratoria aumentan, disminuye el consumo de alimento y se inhibe la reproducción, las funciones cognitivas se agudizan en consecuente el estado de alerta con el fin de asegurar la supervivencia (Hill *et al.*, 2006). El estrés se clasifica en crónico o agudo, que depende del periodo de tiempo que el bovino está sometido a una situación estresante; el estrés agudo se relaciona con la respuesta de lucha o huida, emerge cuando el animal percibe un factor estresante de duración corta, prepara al sistema inmune para la adaptación por un determinado tiempo; el estrés crónico se caracteriza por la exposición de un factor estresor durante largos periodos, el organismo suprime el sistema inmune (Hughes *et al.*, 2013).

La respuesta al estrés es impulsada por una situación estresante y afecta al organismo a través de la activación del sistema eje hipotalámico-hipofisiario, el sistema nervioso simpático (SNS) y las glándulas adrenales (Butcher y Lord, 2004; Álvarez y Pérez, 2009). Las principales hormonas que intervienen en la respuesta ante el estrés son las catecolaminas y los glucocorticoides (Álvarez y Pérez, 2009). Una concentración de hormonas relacionadas con el estrés durante periodos cortos puede ser beneficioso; sin embargo, la elevación de estas hormonas repetidamente o durante un largo tiempo puede ser dañino para la salud y el bienestar de los animales (Hughes *et al.*, 2013).

Ante situaciones de estrés el hipotálamo-hipófisis libera la hormona corticotropina (CRH) y vasopresina (VP) que transmiten una señal a la glándula

pituitaria para la liberación de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) que se dirige a la corteza suprarrenal encargada de secretar glucocorticoides (Mormède *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2015) y dehidroepiandrosterona (DHEA); a través de la inervación del SNS, la glándula suprarrenal también libera catecolaminas y cortisol, teniendo efectos estimulantes sobre el metabolismo y la función cardiovascular, llevando al animal en un estado de lucha o huida (Butcher y Lord, 2004). La activación del eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HHA) afecta distintos tejidos en el organismo y puede provocar inmunosupresión, perjudicando al animal al ser más susceptible a enfermedades y a efectos desfavorables sobre la reproducción (Brown y Vosloo, 2017).

2.8. Estrés calórico en bovinos

Existen diversos factores ambientales que afectan la homotermia del bovino, entre ellos las altas temperaturas, intensa radiación y la humedad; cuando el animal está sometido a estrés calórico se incrementa la temperatura corporal reduciendo el consumo voluntario de alimento (Cedeño, 2011).

Los animales se paran con las patas delanteras separadas, estirando el cuello y jadean fuertemente acompañado de abundante salivación (Barajas, 2015) este mecanismo incrementa los requerimientos energéticos de mantenimiento (Luque, 2015).

2.8.1. Índice de temperatura y humedad. La temperatura ambiental es la variable más investigada y utilizada como indicador de estrés calórico (Arias *et al.*, 2008); sin embargo, los altos valores de humedad empeoran el efecto de las temperaturas elevadas ya que en ambientes saturados en humedad dificulta la eliminación de calor (Luque, 2015). Existen diferentes factores que contribuyen al estrés calórico como la velocidad del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa (Arias *et al.*, 2008) siendo las dos últimas las más influyentes (Olivares *et al.*, 2013). El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) es considerado como indicador de la carga térmica en el ganado (Gaughan *et al.*, 2008). En la Figura 6 se presentan los valores ajustados de ITH obtenidos al utilizar la siguiente fórmula: $ITH = 0.81 \times T + HR (T - 14.40) +$

46.40 (Hahn, 1999) para establecer las categorías de estrés térmico de acuerdo con la Organización Mundial Meteorológica (WMO por sus siglas en inglés; 1989).

2.8.2. Zona termoneutral del bovino. La WMO (1989) estableció cuatro categorías para clasificar el estrés térmico en animales de producción (confort, alerta, peligro y emergencia), donde valores inferiores a 70 unidades de ITH el animal no está bajo estrés calórico, se encuentra en confort termal y en condiciones adecuadas; en un rango de 71 a 79 unidades de ITH el bovino entra en la categoría de alerta aproximándose al límite crítico de producción iniciando cambios fisiológicos pero sin afectar la productividad; en una oscilación de 80 a 83 unidades de ITH el animal inicia un estado de alerta por encima del límite crítico de producción; valores superiores a 84 unidades de ITH son condiciones extremas, se provoca estrés calórico y no solo se compromete la productividad del bovino sino que también la supervivencia.

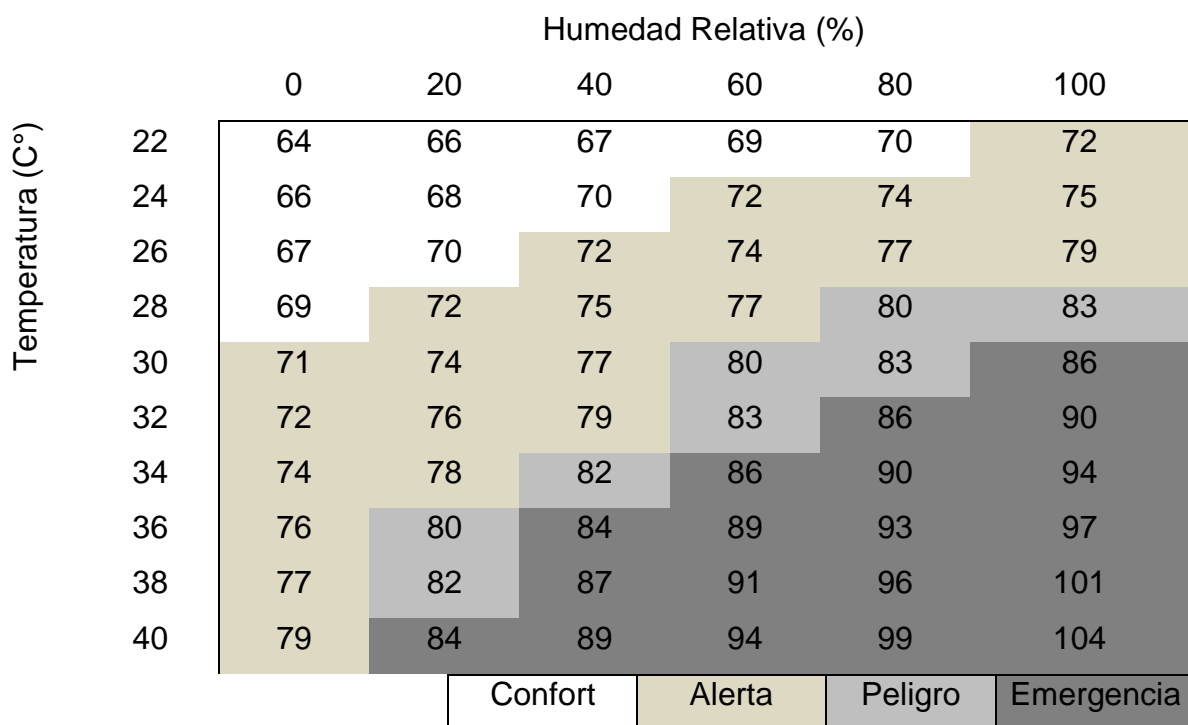


Figura 6. Valores ajustados de ITH a diferente temperatura y humedad relativa clasificados de acuerdo con las categorías de estrés térmico establecido por WMO. Fuente: Elaboración propia, ajustado con la fórmula de ITH de Hahn, 1999.

2.8.3. Balance térmico y temperatura corporal. Conservar una temperatura corporal neutral es de suma importancia dado que un desequilibrio altera los procesos bioquímicos; si la temperatura corporal disminuye demasiado los procesos metabólicos se frenan, a tal magnitud que se detiene la función corporal, por lo contrario, un aumento de la temperatura se puede desnaturalizar las proteínas y ser fatal para el organismo (Cunningham, 1997). Para mantener la homeotermia bajo condiciones de calor, los bovinos necesitan ganar o perder calor del medioambiente circundante con el proceso denominado balance térmico (Silanikove, 2000). Este balance se logra a través de la termorregulación que permite al bovino preservar la temperatura corporal frente al clima caluroso, disipando el calor mediante la radiación, conducción, convección y evaporación, modifica la fisiología e incrementa la tasa metabólica y respiratoria, así como aumento del consumo de agua y disminución del consumo de alimento (Sanmiguel y Díaz, 2011).

La piel tiene la capacidad de descargar calor a través de radiación, el calor se transfiere de objetos cálidos a fríos, regularmente hacia el medio ambiente; la pérdida de calor por radiación puede ocurrir aun cuando el animal se encuentra situado en un ambiente termoneutral o cálido (Cunningham, 1997; Hernández, 2002). El animal cede calor mediante la conducción, está se transfiere por contacto directo hacia algún material o superficie que generalmente es más frío (Hernández, 2002). El bovino al estar en contacto con el aire se produce una corriente que origina la pérdida de calor por medio de la convección, la cantidad de calor desprendido depende de la diferencia de temperatura entre el animal y el aire (Cunningham, 1997; Hernández, 2002). La evaporación es el medio más importante para la disipación de calor (Luque, 2015). En situaciones donde la temperatura ambiental se acerca a los valores de temperatura corporal, los bovinos dependen principalmente de la sudoración (84 %) que el jadeo (16 %) para disipar el calor; sin embargo, en condiciones de humedad relativa alta, la gradiente de vapor disminuye, en consecuente, la posibilidad de disipar el exceso de calor por evaporación es imposible y el calor es acumulado en el cuerpo del bovino incrementando la temperatura corporal (Arias *et al.*, 2008; Finch, 1986).

2.8.4. Fisiología del estrés calórico. Ante el incremento de la temperatura ambiental los bovinos sufren cambios fisiológicos aumentando la tasa de respiración, pulso, sudoración y vasodilatación (Arias *et al.*, 2008). Además, modifican su conducta habitual reduciendo el tiempo al consumo de alimento, así como la disminución del comportamiento agonista para evitar los efectos del calor (Brown-Brandl *et al.*, 2006; Arias *et al.*, 2008). Brown-Brandl *et al.* (2006) realizaron un estudio en Nebraska el cual demostró que el ganado de color oscuro se ven mas afectados a las temperaturas altas que en el ganado claro.

La zona de sobrevivencia del bovino se ve afectada por las condiciones ambientales (Figura 7). Cuando el bovino es expuesto a una temperatura ambiental elevada sobre la zona de confort termal entra en funcionamiento mecanismos contra el calor, los vasos sanguíneos se dilatan y el bovino transpira mediante la sudoración, bajo estas condiciones la homeotermia se logra sin dificultad por lo que las condiciones físicas del bovino y su productividad no son afectadas; al elevarse el ITH dentro de la categoría de alerta el mecanismo de enfriamiento por evaporación se intensifica exponencialmente debido al aumento de las cargas de calor interna y externa; al adentrarse a la zona de emergencia (con incremento de estrés calórico progresivo permitiendo al bovino adaptarse a nuevas condiciones ambientales) se activan mecanismos termo regulatorios fisiológicos y conductuales, disminuyendo el consumo de alimento y la secreción hormonal termogénica para reducir la carga de calor interna para logra mantener una temperatura homogénea y constante; por último, al elevarse extremadamente el ITH (>84) la temperatura corporal del bovino aumenta repentinamente provocando fuertes jadeos y máxima sudoración para disipar el calor, debido a esto la producción de calor se eleva por consecuente a la aceleración de los procesos bioquímicos y la energía requerida por los jadeos haciendo un dialelo, entrando en una fase aguda de estrés calórico y conduciendo al bovino a la muerte por hipertermia (Silanikove, 2000; Arias *et al.*, 2008; Cedeño, 2011).

2.8.5. Efecto del estrés calórico en la respuesta productiva bovina. Al no mejorar las condiciones ambientales en las unidades de producción se genera un desequilibrio en el bienestar y desempeño productivo, aumentando los costos de producción (Luque, 2015). El estrés calórico afecta directamente la demanda energética de

mantenimiento, la fisiología y el comportamiento (Arias *et al.*, 2008). En climas con temperatura ambiental muy elevada puede causar la muerte del bovino y en consecuencia pérdidas económicas al productor (Brown-Brandl *et al.*, 2006). Los bovinos expuestos a periodos de calor disminuyen su consumo de materia seca, especialmente al utilizar dietas de alta concentración energética, esta pauta es un intento del bovino por distribuir sus demandas energéticas con su facultad de disipar calor (Arias *et al.*, 2008).

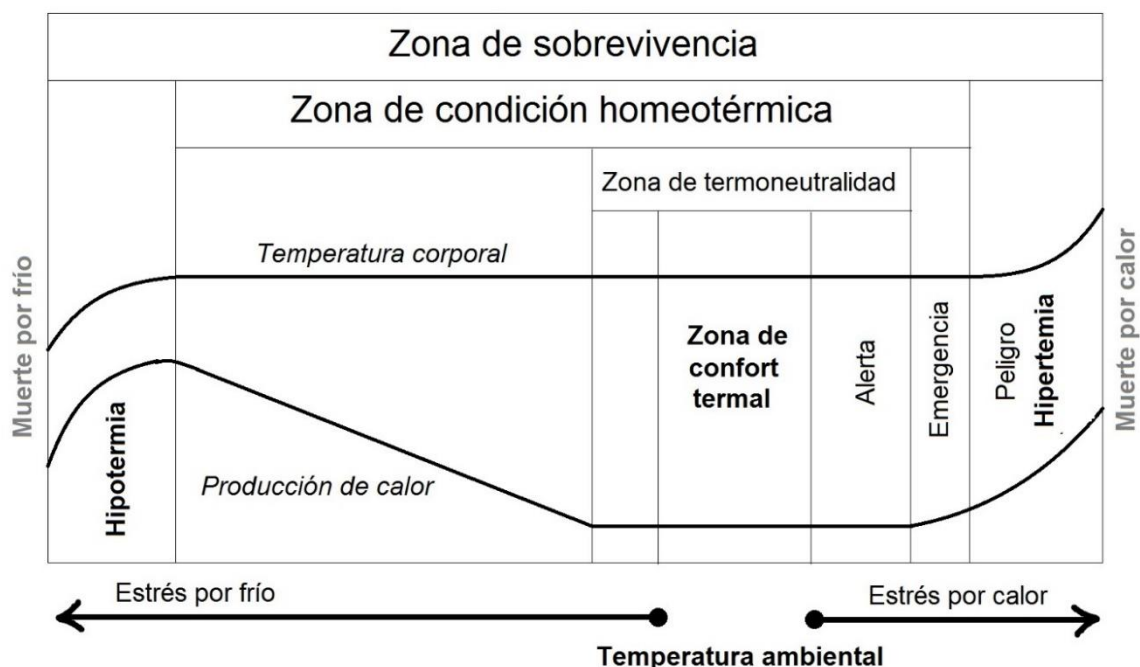


Figura 7. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas y homeotermia bovina para la supervivencia (Fuente: Elaboración propia, adaptado de WMO, 1989 y Silanikove, 2000).

Debido al bajo consumo de alimento ante situaciones de estrés calórico, se reduce la rumia, desciende la producción de saliva y la cantidad de agentes tampón que llegan al rumen disminuye; la frecuencia respiratoria y los jadeos se intensifican para disipar el calor, ésta respuesta fisiológica ocasiona la eliminación excesiva de dióxido de carbono, en consecuencia provoca alcalosis respiratoria y el organismo aumenta la secreción de bicarbonato, por lo tanto su concentración en sangre y saliva son menores; además, durante el jadeo los bovinos pierden saliva y esto a su vez disminuye aún más el agente tampón; la insuficiencia de agentes tampón provoca

acidosis ruminal debido a que su escasez no ayuda a neutralizar la acidez (Díaz-Royón y García, 2012).

La frecuencia respiratoria es una constante fisiológica importante para determinar el nivel de estrés por calor en bovinos debido a que es una de las principales respuestas que se observa en el animal cuando sobrepasa su zona termoneutral (Gaughan *et al.*, 2000). La tasa de respiración y la identificación de jadeo, así como el conteo, es la manera más fácil y factible de valorar el estrés por calor en el ganado (Mader *et al.*, 2006). Mader *et al.* (2006) idearon una escala de puntuación de respiración y jadeo (Cuadro 3). Al incrementar el ritmo cardiaco, el paso del alimento es más lento, en consecuencia, el bovino reduce el consumo de materia seca y aumenta el consumo de agua (Luque, 2015).

Cuadro 3. Puntuación de jadeo asignado a bovinos (Mader *et al.*, 2006).

Puntuación	Descripción
0	Respiración normal
1	Respiración elevada
2	Jadeo moderado y/o presencia de pequeña cantidad de saliva
3	Jadeo fuerte con boca abierta y usualmente saliva presente
4	Jadeo severo con boca abierta y lengua de fuera, salivación excesiva; por lo general cuello extendido hacia adelante

2.9. Estrategias para la mitigación de estrés calórico

En lugares donde el estrés por calor es usual, se recomienda contar con estrategias que ayuden al bovino mitigar el calor que enfrenta al exponerse a temperaturas ambientales mayores de 25 °C (Arias *et al.*, 2008). La incorporación de microclimas es una estrategia que ayuda a los bovinos sobrellevar condiciones climáticas adversas, esto no eliminará por completo el estrés ambiental sino más bien permite la adaptación, reduciendo el impacto negativo que el clima ejerce sobre el ganado; se debe considerar que el diseño de microclimas no causen efectos perjudiciales en otra estación del año con clima frío; además de los cambios en las

instalaciones se debe considerar el uso de aspersores (Mader, 2003) y mejorar la ventilación (Arias *et al.*, 2008).

2.9.1. Uso de sombra. Una superficie de un m² recibe 663 kcal/hora, 50 % proveniente directamente del sol, 43 % del suelo y 7 % del horizonte (calor que recibe el bovino del medio ambiente que lo rodea); la implementación de sombra disminuye la carga calórica proveniente de las radiaciones del sol y las reflejadas en el suelo (Luque, 2015), con ello mejora las condiciones de bienestar y aumenta la respuesta productiva del bovino (Barajas, 2015).

En un experimento realizado por Sullivan *et al.* (2011), con vaquillas Angus en sus resultados mostraron beneficios al implementar el uso de sombra en diferentes proporciones (0, 2.0, 3.3 y 4.7 m²/animal); durante las olas de calor el puntaje promedio de jadeos fue menor en los bovinos que estaban en corrales sombreados; el ganado desprovisto de sombra obtuvo menor ganancia diaria de peso respecto a los bovinos alojados en corrales con sombra; los autores concluyen que el acceso a la sombra mejora el bienestar y el rendimiento del ganado; los corrales sombreados con 3.3 y 4.7 m²/animal proporcionan mayor bienestar, sin embargo, la utilización de sombra mayor a 2 m²/animal no proporciona mejoras en la producción adicional del ganado. Gaughan *et al.* (2010), llevaron a cabo un estudio con bovinos Angus para determinar el efecto que ejerce la sombra en la temperatura corporal y en el rendimiento, se observó que los bovinos alojados bajo sombra mantienen la temperatura corporal menor (40.41 ± 0.10 °C) que el ganado sin sombra (41.14 ± 0.10 °C) durante la oleada de calor, así mismo, el puntaje medio de jadeos fue menor; la ganancia diaria de peso, peso canal caliente y el consumo de materia seca fueron mayores en bovinos con sombra.

2.9.2. Cambio de la dieta. Los bovinos de alta producción alimentados con dietas altas en energía generan mayor cantidad de calor metabólico a través de la fermentación, sí ésta carga calórica no se transfiere entonces se acumula dentro del cuerpo y en climas calurosos predispone al bovino de sufrir estrés térmico (Mader y Griffin, 2015), por lo que el gasto energético es mayor y para compensar se requiere de dietas con mayor contenido energético; los nutricionistas recomiendan incrementar la densidad

energética en las dietas aumentando el aporte de concentrados y disminuyendo el uso de forrajes (Díaz-Royón y García, 2012).

2.9.3. Implementación de abanicos y aspersores de agua. Garner *et al.* (1989) realizaron un estudio para determinar los efectos de enfriamiento del ganado por medio de ventiladores y aspersores de agua donde se demostró que este tipo de estrategias aumenta la ganancia de peso. Los sistemas de aspersión son efectivos para disminuir el estrés por calor, sin embargo, puede haber efectos no deseables especialmente cuando el ganado se adapta a los aspersores y este llega a fallar durante los días calurosos posteriores, además, la acumulación de lodo se asocia a este sistema (Mader y Griffin, 2015).

III. HIPÓTESIS

El incremento en la superficie de sombra en los corrales de engorda intensiva mejora el bienestar, la respuesta productiva y las características de la canal de bovinos en finalización en el trópico seco.

IV. OBJETIVO

Evaluar la influencia del tipo de sombra en el corral de engorda sobre el bienestar, la respuesta productiva y las características de la canal de bovinos en finalización intensiva en trópico seco.

Objetivos específicos

Valorar la conducta habitual y agonista en ganado bovino en finalización intensiva bajo sombra convencional, doble sombra, domo sin abanico y domo con abanico.

Determinar la ganancia de peso, consumo de materia seca y conversión alimenticia en ganado bovino en finalización intensiva bajo sombra convencional, doble sombra, domo sin abanico y domo con abanico.

Determinar el peso de la canal caliente, rendimiento en canal, área del ojo de la costilla, espesor de grasa dorsal, porcentaje de grasa pélvico renal y marmoleo de la canal de ganado bovino de finalización intensiva bajo sombra convencional, doble sombra, domo sin abanico y domo con abanico.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Localización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la Unidad para Pruebas de Comportamiento de Bovinos en Engorda de la Ganadería Integral Vizur S.R.L. de C.V., ubicada en Carretera Culiacán-Vitaruto Km 14.5, municipio de Culiacán, Sinaloa (24°50'01.4" N y 107°33'01.1" W: 60 msnm). El clima de la región se considera BS1(h') w(w) (e) el cual se define como semiseco, muy cálido y extremoso con lluvias de verano. La temperatura promedio anual de la región 26 °C con máximo y mínimo de 40.1 y 6.8 °C respectivamente; la humedad relativa máxima de 96 % y mínima de 12 %, con promedio anual en la región de 63 % (Escuela de Biología-UAS, 2019).

5.2. Características de la unidad para pruebas

Se conformó por 24 corrales con dimensiones iguales 15 m x 43 m (645 m²), cada corral con su propio bebedero automático tipo canoa teniendo disponibilidad de agua *ad libitum*, y comedero lineal de 15 m (dividido en 5 bloques de 2.5 m). Los corrales disponían de distintos prototipos de sombras distribuidos de la siguiente manera:

- 1) Sombra convencional (SC): 6 corrales con superficie sombreada del 8 % cada uno, a base de 11 láminas metálicas de 6 x 0.80 m (52.8 m²).
- 2) Sombra doble (SD): 6 corrales con superficie sombreada del 16 % cada uno, a base de 22 láminas metálicas de 6 x 0.80 m (105.6 m²).
- 3) Domo sin abanicos (DSA): 6 corrales con superficie sombreada del 100 % (15 x 43 m) sin presencia de abanicos.
- 4) Domo con abanicos (DCA): 6 corrales con superficie sombreada del 100 % (15 x 43 m), cada corral con 3 abanicos industriales con 6 m de diámetro marca Big Vento de baja velocidad (modelo BV06XA1508 Megaventilación, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México).

5.3. Manejo del ganado al inicio del experimento

Se recibieron 1560 toros jóvenes sin castrar (289 ± 22 kg PV) de composición racial variada provenientes de distintos centros de acopio de la República Mexicana.

Se manejaron de acuerdo con el protocolo establecido por la empresa; los bovinos tuvieron un periodo de adaptación al corral y al sistema de alimentación aproximadamente durante 3 semanas. Como parte del manejo sanitario se les aplicó el programa profiláctico que consiste en vacunación, desparasitación, vitaminado e implantado con el “component TE 200” (que contiene 200 mg de acetato de trenbolona y 20 mg de estradiol; Elanco Animal Health, Inc., EE.UU.); todo el ganado fue reimplantado a los 80 días posteriores al primer implante. El manejo incluyó el pesaje (báscula ganadera tipo individual NORAC, serie U, cap. 4,540 kg, con indicador digital: Rice lake weighing Systems, Modelo: IQ+335-2A) e identificación con arete de plástico numerado para control interno; el peso inicial fue considerado como criterio para bloqueo.

5.4. Distribución de bovinos en los corrales

De acuerdo con el número de bloques y según el peso, los grupos de bovinos se asignaron a cada uno de los tratamientos de manera aleatoria (SC, SD, DSA, DCA); cada tratamiento formado por 6 corrales que fueron consideradas como réplicas. En cada corral se alojaron 65 bovinos.

5.5. Alimentación

La composición de la dieta (Cuadro 4) fue a base de trigo y maíz; clorhidrato de Zilpaterol (ZIL; Zilmax, MSD, Salud Animal, México) fue incluido en la dieta de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta a una tasa de inclusión de 6.4 mg / kg de materia seca (MS) para 30 días y retiro del compuesto 3 días antes de la matanza. El alimento fue servido dos veces por día (0600 y 1300 h) en una proporción aproximada de 50:50 respectivamente con acceso *ad libitum*. Las muestras de alimento y rechazo se recogieron diariamente para el análisis de MS; las muestras fueron ingresadas al horno de secado a 105 °C hasta que la pérdida de peso se detuvo (método 930.15, AOAC 2000).

Cuadro 4. Ingredientes y composición de la dieta basal en la alimentación de toros jóvenes¹

Ingrediente	Composición de la dieta (% base seca)
Trigo hojueleado al vapor	51.77
Maíz hojueleado al vapor	18.20
Paja de maíz	14.30
Melaza	9.36
Pasta de soya	1.77
Grasa amarilla	1.90
Piedra caliza	1.25
Urea	1.00
Minerales traza ²	0.45
Composición química, % base seca ³	
Proteína cruda	13.92
Fibra Detergente Neutro (FDN)	18.64
Calcio (Ca)	0.74
Fosforo (P)	0.32
Energía neta, Mcal/kg de base seca	
ENm	2.02
ENg	1.50

¹ Clorhidrato de zilpaterol (ZIL; Zilmax, MSD, Salud Animal, México) se incluyó en la dieta según las instrucciones de la etiqueta a una tasa de inclusión de 6,4 mg / kg de MS durante 30 días, seguido de un período de retiro de 3 días antes de la matanza.

² La sal mineral traza contenía sal al 75 %, microminerales al 25 % y se fortificó con virginiamicina y monensina.

³ La composición química y la energía neta se calcularon en base a los valores tabulares de los ingredientes de los piensos individuales (NRC, 2000)

5.6. Cálculo del Índice de Temperatura y Humedad

Para calcular el ITH se hicieron mediciones, cada hora, de la temperatura ambiente y humedad relativa a través de equipos dentro de los corrales (Termohigrómetro Avaly; Mod. DTH880, Mofeg, Zapopan, Jalisco) durante todo el

período experimental. El ITH se calculó utilizando la fórmula: $ITH = 0.81 \times T + HR (T - 14.40) + 46.40$ (Hahn, 1999), donde T es temperatura ambiente en grados Celsius y HR es la humedad relativa en porcentaje.

5.7. Registro de la conducta relacionada con bienestar bovino

Con formatos previamente diseñado se llevó a cabo un registro observacional de los indicadores y/o variables conductuales de bienestar animal relacionadas a la conducta habitual, social y agonista de los bovinos en tres horarios en el transcurso del día (8:00, 11:30 y 14:30 h) durante la etapa de finalización de los bovinos, en un periodo de 61 días en época de verano – otoño. Las evaluaciones se realizaron con 3 personas de forma rotativa, valorando cada corral durante 15 minutos. En primera instancia se registró el número de bovinos comiendo, posteriormente se ingresó al corral para monitorear los indicadores conductuales de los bovinos (conducta habitual, social y agonista) sin intervención para no modificar su comportamiento.

5.7.1. Conducta habitual. Se contabilizó el número de animales que se encontraban comiendo, bovinos que se situaban bajo la sombra, descansando, rumiando y jadeos (tomando en cuenta que el bovino estuviera con el hocico abierto inhalando y exhalando, además, de mantener la lengua de fuera). Estas variables solo se registraron una sola vez por evaluación en excepción de los jadeos que se contabilizó a los bovinos que presentaron jadeo durante el periodo de evaluación.

5.7.2. Conducta agonista. Se registraron las montas a lo largo de la evaluación dentro del corral, sin contar repeticiones entre los mismos animales.

5.8. Respuesta productiva

La ganancia diaria de peso (GDP) se calculó restando el peso inicial del final y dividiendo el resultado por el número de días en los corrales. La conversión alimenticia se determinó dividiendo GDP por el consumo de materia seca (CMS) diaria. La ganancia de energía (GE; por ejemplo, Mcal/d) se deriva de las medidas de PV (kg) y GDP (kg / d) de acuerdo con la ecuación: $GE = (0.0493 W^{0.75}) GDP^{1.097}$ (NRC, 1984).

El contenido de energía neta (EN) de la dieta para mantenimiento y ganancia se calcularon asumiendo una energía de mantenimiento constante (EM, Mcal / d) el costo de $0.077W^{0.75}$ (NRC, 1984). Los valores EN de las dietas para el mantenimiento y la ganancia se obtuvieron por medio de la fórmula cuadrática: $EN_m, \text{ Mcal/kg} = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2c$ (Zinn y Shen, 1998) donde: $a = -0.877 \text{ CMS}$, $b = 0.877 \text{ EM} + 0.41 \text{ CMS} + \text{GE}$, $c = -0.41 \text{ EM}$, y $EN_g = 0.877 \text{ EN}_m - 0.41$.

5.9. Características de la canal

El registro de las características de la canal se llevó a cabo en la sala de corte del rastro Tipo Inspección Federal No. 111 localizado en Carretera Culiacán - Vitaruto Km 14.5, Culiacán, Sinaloa.

El peso de la canal caliente (PCC) se registró al momento del sacrificio (antes de entrar a la cámara de refrigeración). Con el registro del peso de la canal y PV se determinó el rendimiento de canal en porcentaje (peso canal entre PV multiplicado por 100). Posterior a las 48 h de enfriamiento de la canal (2 a 4 °C), se realizaron las mediciones de las características de la canal (área del ojo de la costilla, espesor de grasa dorsal, grasa pélvica, renal y cardiaca, marmoleo) en 28 canales provenientes por corral, con la numeración que se le proporciona a la canal se seleccionaron los números nones como referencia para ser medidas.

El área del ojo de la costilla se midió entre 12^a y 13^a costilla con la ayuda de un acetato, delimitando el contorno del músculo *Longissimus dorsi* con plumón permanente, marcando el área muscular excluyendo grasa adyacente y demás tejidos. Los acetatos marcados fueron guardados cubriendo con hojas blancas de por medio para separar y posteriormente ser medido con una gradilla cuadrículada, donde se sumó cada cuadro para determinar el área completa del músculo.

El espesor de grasa dorsal se midió a la altura de la 12^a costilla a tres cuartos de distancia del eje largo del músculo *Longissimus dorsi*, desde la línea media con la ayuda de un vernier electrónico (Ohaus^{MR}).

La estimación de la grasa renal, pélvica y cardiaca (KPH) se determinó subjetivamente expresándose en porcentaje del peso de la canal fría.

El grado de marmoleo se realizó subjetivamente con una estimación de la grasa entreverada entre las fibras del músculo *Longissimus dorsi* a la altura de la 12^a costilla. Se determinó el grado de marmoleo utilizando los estándares establecidos por la USDA: 0 = desprovisto de grasa, 1 = trazas de grasa, 2 = leve cantidad de grasa, 3 = pequeñas cantidades de grasa, 4 = modesta cantidad de grasa, 5 = moderada cantidad de grasa, 6 = abundante y 7 = muy abundante.

5.10. Análisis estadístico

Los resultados de las observaciones por tipo de sombra y hora de observación se graficaron mediante histogramas para observar la distribución de frecuencias. Enseguida se probó la normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Debido a que no se ajustaron a la distribución normal se procedió al cálculo de rangos mediante el procedimiento RANK de SAS, luego se realizó análisis de la varianza para un Modelo Lineal General (GLM) de SAS que incluyó los efectos de tipo de sombra, hora de observación y la interacción de los dos factores; al detectar diferencia estadística se utilizó la prueba de Dunn para la comparación de los valores medios de rango (Daniel, 2004). El experimento se analizó como un diseño de bloques completos al azar, usando el corral como la unidad experimental. Los efectos de los tratamientos se analizaron usando los siguientes contrastes ortogonales: Los efectos fueron contrastadas como: 1) lineal y el componente cuadrático para la asignación de sombra (1.2, 2.4 y 8.8 m²); y 2) la comparación entre los domos: DSA vs DCA. Se consideró un nivel de alfa máximo de ≤ 0.05 para aceptar diferencia estadística y se identificaron tendencias cuando el valor de p fue > 0.05 y ≤ 0.10 .

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 5 se presentan los valores registrados durante el periodo experimental de las variables climáticas. Se observa que la oscilación térmica fue de 29.27° C; con valor mínimo medio 19.59° C hasta alcanzar la temperatura máxima media de 37.04° C; en este mismo lapso la media de HR fue de 72.35 % llegando hasta 97.84 % como valor máximo. Al calcular el ITH, se observó una media de 80.89 unidades durante el periodo, indicando que los bovinos se encontraban la mayor parte del tiempo en la categoría “peligro” de acuerdo a lo establecido por la Organización Mundial Meteorológica (1989), el ITH máximo superó 92 unidades en todas las semanas del experimento, manteniendo en constante estrés por calor a los bovinos clasificado como “emergencia”, llevando al límite crítico de producción al animal.

Cuadro 5. Temperatura ambiente (Ta), humedad relativa media (HR), e índice de temperatura y humedad media (ITH) registrado durante el experimento.

Semana	Min Ta, °C	Media Ta, °C	Max Ta, °C	Min HR, %	Media HR, %	Max HR, %	Min ITH	Media ITH	Max ITH
1	19.71	27.29	35.49	33.23	60.22	85.77	64.13	76.27	93.24
2	18.59	27.18	36.35	23.61	52.82	79.94	62.45	75.17	93.39
3	23.00	29.30	36.52	36.43	62.92	87.6	68.16	79.51	95.36
4	24.73	29.29	35.12	46.08	67.5	85.57	71.19	80.18	92.58
5	24.61	30.22	36.75	40.60	63.91	83.40	70.48	80.99	94.81
6	25.76	30.62	36.74	45.44	67.05	86.05	72.43	82.08	95.38
7	25.61	30.39	36.79	45.21	67.77	87.94	72.21	81.85	95.89
8	25.31	30.48	36.69	45.71	68.85	91.04	71.89	82.16	96.41
9	25.16	30.34	36.29	47.08	70.30	90.44	71.85	82.18	95.59
10	24.77	29.55	35.72	52.94	75.26	93.89	71.95	81.74	95.35
11	24.71	29.63	35.99	54.14	78.70	95.24	72.00	82.39	96.11
12	25.99	30.48	36.99	50.42	74.52	92.94	73.30	83.07	97.36
13	25.56	29.91	35.91	52.45	75.73	93.52	72.96	82.37	95.60
14	24.58	28.65	34.01	59.65	83.19	97.84	72.38	81.46	93.05
15	24.84	29.17	35.18	55.83	80.06	95.89	72.35	81.85	94.82
16	25.46	29.66	35.83	55.43	80.67	96.63	73.15	82.73	96.13
17	24.77	29.05	34.24	59.44	81.84	97.79	72.63	81.92	93.54
18	25.79	29.74	35.24	56.59	80.01	95.47	73.74	82.76	94.84
19	25.54	29.22	34.79	60.37	82.54	96.08	73.81	82.30	94.17
20	25.27	29.62	36.14	51.13	77.49	94.03	72.43	82.19	96.12
21	23.25	27.95	34.40	49.56	75.20	92.91	69.62	79.23	92.85
22	24.91	29.94	36.69	49.91	74.45	90.84	71.82	82.22	96.37
23	23.62	29.26	37.04	38.79	67.13	87.98	69.11	80.08	96.32
24	22.87	28.33	35.75	39.21	68.14	88.82	68.25	78.84	94.32
25	20.93	26.55	34.25	42.12	72.60	92.87	66.10	76.73	92.58
Media	24.21	29.27	35.79	47.65	72.35	91.22	70.81	80.89	94.88
DE	1.91	1.09	0.93	8.97	7.70	4.75	2.86	2.11	1.40

¹ ITH = 0.81 × temperatura ambiente + [(humedad relativa/100) × (temperatura ambiente - 14.4)] + 46.40 (Hahn, 1999).

Los resultados del efecto del tipo de sombra en los indicadores conductuales en bovinos productores de carne se muestran en el Cuadro 6. El 98 % de animales que permanecían en la sombra fue en los tratamientos de DCA y DSA, entre los cuales no se presentó diferencia estadística ($P > 0.05$), sin embargo, los corrales con domos los valores fueron mayores ($P < 0.01$) comparados con SD y SC. Así mismo SD presentó mayor ($P < 0.01$) porcentaje comparado con SC (87.7 vs 83.6 %, respectivamente). Estos resultados son explicados dado el porcentaje de sombra que representa en el corral, debido a que los domos tienen una cobertura del 100 % de la superficie total, lo cual impide a los animales tener la opción de optar si desea permanecer en la sombra. Con respecto al corral, SD tiene mayor porcentaje de sombra disponible para los animales comparado con SC (16 y 8 %, respectivamente).

Los resultados muestran que en los corrales con SC se observó menor presencia de bovinos comiendo durante los periodos de observación (1.59 %), valor diferente al registrado en los demás tratamientos ($P < 0.01$); al respecto, no se observó diferencia estadística entre DSA y SD (1.64 y 1.79 %; $P > 0.05$), sin embargo, DCA mostró mayor proporción de bovinos comiendo que el resto de los tratamientos (4.50 %; $P < 0.01$). En la variable de tiempo destinado a la rumia, los tratamientos DCA (9.0 %), DSA (8.2 %) y SD (7.7 %) fueron similares entre sí ($P > 0.05$), pero diferentes al valor observado en SC (6.7 %; $P < 0.01$). Esto se atribuye a que en escenarios de temperaturas elevadas donde las condiciones ambientales no son óptimas para su rendimiento, los bovinos restringen su alimentación con el propósito de disminuir la carga térmica ya que la fermentación a nivel ruminal y su posterior digestión genera calor (Cedeño, 2011); por tal motivo, si las condiciones de temperatura mejoran, el animal aumenta estas actividades.

En los tratamientos DCA y DSA, los bovinos mostraron conducta similar con respecto a las montas (1.55 %; $P > 0.05$), sin embargo, manifestaron diferencias ($P < 0.01$) comparados con los corrales con SD y SC, ya que en estos no observó tal conducta agonista. Entre los principales cambios fisiológicos que se muestran cuando el animal está en condiciones de estrés calórico es la reducción del comportamiento agonista entre ellos la monta (Brown-Brandl *et al.*, 2006); este

mecanismo termorregulatorio se activa con el fin de preservar su temperatura corporal (Arias *et al.*, 2008). Por tal motivo, los bovinos con menor porcentaje de sombra disponible redujeron su comportamiento agonista como respuesta fisiológica para mantener la homeotermia, mientras que en los bovinos alojados en los domos esta conducta se manifestó.

El 43.5 % de los bovinos en SD se observaron en posición de descanso, en comparación con los bovinos alojados en los corrales DCA, DSA y SC (37.7 %; $P < 0.01$). Cuando el bovino se encuentra cómodo el tiempo de descanso aumenta, por el contrario, cuando no lo están, prefieren permanecer de pie (Temple *et al.*, 2016), por eso en el corral SD permanecen en descansó un mayor número de bovinos que en el corral SC; pero en el caso de los bovinos alojados en los corrales con domos donde el confort ambiental es mejor que en los corrales SD y SC, se atribuye la disminución de esta pauta debido que en condiciones ambientales óptimas el bovino lleva a cabo otras conductas como el consumo de alimento y las montas.

Los bovinos alojados en los corrales DCA presentaron menor frecuencia de jadeo en comparación a los bovinos alojados en los demás corrales (0.16 %; $P < 0.01$). Como mecanismo fisiológico ante el aumento de la temperatura corporal el bovino jadea con la finalidad de disipar el calor (Cedeño, 2011); en el caso del DCA la ventilación mecánica favorece las condiciones ambientales al mitigar los efectos directos del calor y se manifiesta con la reducción del jadeo, lo que en los demás corrales que solo tienen como fuente la ventilación natural, la dispersión del calor es menor por lo que los bovinos tienden a incrementar el jadeo.

Cuadro 6. Efecto del tipo de sombra en los indicadores conductuales en bovinos productores de carne.

Tipo de sombra	Indicadores conductuales ¹					
	Sombra	Comiendo	Rumiando	Montas	Descanso	Jadeo
SC	83.6 ^c	1.59 ^c	6.7 ^b	0 ^b	37.0 ^b	1.50 ^a
SD	87.7 ^b	1.70 ^b	7.7 ^{ab}	0 ^b	43.5 ^a	1.11 ^a
DSA	98.4 ^a	1.64 ^b	8.2 ^a	1.6 ^a	37.7 ^b	1.04 ^a
DCA	98.5 ^a	4.50 ^a	9.0 ^a	1.5 ^a	38.5 ^b	0.16 ^b

¹Valores expresados en porcentaje, SC= Sombra convencional, DS= Doble sombra, DSA= Domo sin abanico, DCA= Domo con abanico, $P \leq 0.05$

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de las variables conductuales en relación con la hora de observación en los corrales de finalización. Al comparar los tres horarios se aprecia que, a la hora de mayor temperatura ambiental se incrementa el número de bovinos bajo la sombra ($P < 0.01$), principalmente en el horario vespertino (98.4 %) y en menor porcentaje en horario matutino (72.7 %). Esto se relaciona con el incremento de los valores de ITH y en respuesta que el bovino busca sombra para mitigar el calor (Góngora y Hernández, 2010).

Cuadro 7. Efecto de la hora y de la temperatura ambiental en los indicadores conductuales de bienestar en bovinos productores de carne.

Hora	Temperatura promedio (°C)	Indicadores conductuales ¹					
		Sombra	Comiendo	Rumiando	Montas	Descanso	Jadeo
8:00	27.6	72.7 ^c	6.45 ^a	4.6 ^c	3.2 ^a	24.6 ^b	0.18 ^c
11:30	33.3	95.4 ^b	1.49 ^b	8.8 ^b	0 ^b	43.2 ^a	1.12 ^b
14:30	35.2	98.4 ^a	1.54 ^b	10.6 ^a	0 ^b	44.8 ^a	1.51 ^a

¹Valores expresados en porcentaje, $P \leq 0.05$

Por la mañana se observó que el porcentaje de bovinos comiendo fue mayor (6.45 vs. 1.51 %; $P < 0.01$) con respecto al horario de mediodía y de la tarde; sin embargo, estos dos horarios no mostraron diferencia ($P > 0.05$). Debido al incremento de la temperatura ambiental y corporal, los bovinos activan mecanismos

fisiológicos para disminuir la carga térmica mediante la disminución del consumo de alimento (Cedeño, 2011).

Conforme transcurre el día, el número de bovinos en rumia se incrementa (4.6, 8.8 y 10.6 %; $P < 0.01$, para las 8:00, 11:30 y 14:30 h, respectivamente); cuando el bovino está descansando, la rumia se optimiza (Temple *et al.*, 2016), por lo tanto, ante el incremento del tiempo de descanso la rumia también aumenta.

Las montas se observaron en mayor número por la mañana (3.2 %) comparado con los horarios de mediodía y tarde ($P < 0.01$); por lo tanto, no se mostró diferencia entre los horarios de las 11:30 y 14:30 ($P > 0.05$). Por la mañana las condiciones son más favorables para la homeostasis por lo que algunos bovinos manifestaron esta conducta agonista en las horas de menor ITH; sin embargo, en respuesta al incremento de este valor, el bovino activa su mecanismo termoregulatorio para mantener su temperatura corporal, reduciendo su comportamiento agonista (Arias *et al.*, 2008; Brown-Brandl *et al.*, 2006).

Los bovinos aumentaron su tiempo de descanso conforme transcurren las horas del día; al respecto se observó menor porcentaje de animales por la mañana (24.6 %; $P < 0.01$) comparado con los horarios posteriores a la primera observación del día (11:30 y 14:30 h), pero no se mostraron diferencias entre estos dos horarios ($P > 0.05$). La actividad muscular tiene gran importancia en la producción de calor, el ejercicio físico puede incrementar de forma significativa la obtención de calor corporal (Hill, 1979), por lo que el animal prefiere suprimir cualquier actividad que generara calor y por ello se mantiene en reposo.

Los jadeos mostraron diferencias en los tres horarios; en el horario matutino fue menor, seguido de mediodía y con un porcentaje máximo por la tarde (0.18, 1.12 y 1.51 %, respectivamente; $P < 0.01$). Ante el incremento del ITH desde la mañana a la tarde la temperatura ambiental va en ascenso por lo que el bovino aumenta su jadeo para disipar el calor (Cedeño, 2011).

En el presente estudio se observaron interacciones estadísticamente significativas ($P < 0.05$) para todas las variables conductuales (Cuadro 8).

Cuadro 8. Interacción del tipo de sombra y horario en los indicadores de bienestar en bovinos productores de carne.

Tipo de sombra	Hora	Indicadores conductuales ¹					
		Sombra	Comiendo	Rumiando	Montas	Descanso	Jadeo
DCA	8:00	80.6	9.0	4.6	4.8	18.9	0
	11:30	98.4	3.0	10.4	1.5	43.3	0
	14:30	100	1.6	12.0	0	43.3	0
DSA	8:00	87.3	6.5	3.8	4.8	24.4	0
	11:30	98.4	1.6	9.5	0	42.6	0
	14:30	100	1.6	10.9	0	44.3	1.6
SD	8:00	64.8	7.1	4.5	1.5	27.8	0
	11:30	93.3	0	7.8	0	48.4	0
	14:30	92.3	1.5	10.8	0	46.9	0
SC	8:00	61.9	5.0	4.8	1.7	27.0	0
	11:30	90.0	0	6.9	0	37.9	0
	14:30	89.2	0	9.5	0	42.9	1.5
Probabilidad							
TS x Hora		0.001	0.05	0.01	0.03	0.001	0.001

¹ Valores expresados en porcentaje

Los bovinos que se alojan en corrales con menor sombra disponible se incrementan la conducta relacionada al estrés por calor en las horas de mayor exposición a la alta temperatura ambiental. Los bovinos que a su vez se encuentran en alojamientos con menor superficie de sombra disponible y sumada a la alta temperatura ambiental presentan indicadores conductuales más acentuadas como el permanecer bajo la sombra, el jadeo, la rumia y el descanso. Por otro lado, la interacción también podría expresarse como la suma de condiciones favorables, tales como horarios con bajas temperaturas y alojamientos con mayor superficie de sombra disponible o con uso de tecnologías como los abanicos en los corrales y que esto contribuya al confort y un aumento del consumo de alimento o animales que invierten tiempo a montarse entre sí.

Los efectos del tratamiento sobre la respuesta productiva y la energética de la dieta se muestran en el Cuadro 9. Al aumentar el espacio de sombra por animal, tiende a incrementar la GDP (lineal, $P < 0.10$), sin embargo, no hubo aumento de la eficiencia alimenticia ni EN de la dieta. Por lo tanto, el aumento de la sombra no parece reducir el valor de la EM del ganado expuesto al calor; la ganancia se explica directamente al aumento de la ingesta de energía. De acuerdo con Hahn (1999) y Leonard *et al.* (2001) los bovinos tienden a reducir la carga de calor metabólico mediante la disminución de CMS en condiciones de calor.

La carga de calor del medio ambiente es el resultado entre factores extrínsecos (temperatura ambiente, radiación, velocidad del viento y humedad relativa) que provoca la producción de calor metabólico sumado de la capacidad de los bovinos para disipar el calor corporal (Mader, 2003; NRC, 2000). Si los animales no son capaces de restablecer el equilibrio homeostático en un lapso corto de tiempo, los aumentos progresivos de hasta el 25 % en el gasto de energía de mantenimiento afectan negativamente el aumento de peso y la eficiencia alimenticia (NRC, 1981).

Brown-Brandl *et al.* (2005) indican que en el ganado que fueron finalizados en largos periodos dentro de la categoría de “peligro”, el proporcionar sombra se convirtió en el factor más importante para mitigar la carga de calor en comparación a los que fueron alojados sin sombra. Barajas *et al.* (2009) en un experimento realizado en clima tropical con duración de 248 días, menciona que proporcionar sombra aumento la GDP 8.8 % y mejoró la eficiencia alimenticia por 6.1 % en comparación con aquellos sin sombreado. Barajas *et al.* (2013) señalaron que en el ganado sin sombra aumentaron la GDP, la eficiencia alimenticia y la EN en la dieta al proporcionar el 70 % de alimento por la tarde. Sin embargo, en presencia de sombra, el horario de alimentación no afecto el rendimiento del ganado o la EN en la dieta.

Cuadro 9. Influencia del tipo de sombra en el crecimiento y la energía de la dieta de engorda de novillos.

Variable	Tipo de sombra ¹					<i>p</i>		
	SC	SD	DSA	DCA	EEM	Lineal	Cuadrático	DSA vs DCA
Días en engorda	172	172	172	172				
Corrales	6	6	6	6				
Peso, kg ²								
Inicial	286.5	286.7	287.2	287.0	1.22	0.69	0.96	0.99
Final	483.5 ^a	489.7 ^a	495.3 ^a	507.8 ^b	4.90	0.16	0.43	0.05
Ganancia de peso, kg/d	1.153 ^a	1.187 ^a	1.219 ^a	1.297 ^b	0.023	0.01	0.65	0.03
Consumo de MS, kg/d	7.06 ^a	7.59 ^b	7.49 ^b	7.62 ^b	0.087	0.06	0.01	0.31
Eficiencia alimenticia	0.163 ^{ab}	0.157 ^a	0.164 ^{ab}	0.171 ^b	0.003	0.58	0.11	0.12
EN Observada, Mcal/kg								
Mantenimiento	2.01 ^{ab}	1.92 ^a	1.98 ^{ab}	2.03 ^b	0.03	0.92	0.08	0.26
Ganancia	1.35 ^{ab}	1.28 ^a	1.33 ^{ab}	1.38 ^b	0.03	0.92	0.08	0.26
EN, observada sobre esperada ³								
Mantenimiento	0.985 ^{ab}	0.947 ^a	0.976 ^{ab}	1.001 ^b	0.02	0.92	0.08	0.26
Ganancia	0.985 ^{ab}	0.933 ^a	0.970 ^{ab}	1.000 ^b	0.011	0.92	0.08	0.26
CMS observada sobre esperada	1.05 ^{ab}	1.10 ^a	1.07 ^{ab}	1.03 ^b	0.015	0.86	0.09	0.27

Diferente literal en la fila significa diferencia estadística ($P < 0.05$).

¹ SC = sombra convencional (1.2 m²/sombra/animal); SD = sombra doble (2.4 m²/sombra/animal); DSA = domo sin abanico (8.8 m²/sombra/animal); DCA = domo con abanico (8.8 m²/sombra/animal).

² Peso inicial y final se redujeron 4 % para considerar el relleno tracto digestivo.

³ La EN esperada de la dieta para los ingredientes se basa en los valores tabulares del NRC

El ganado alojado en SD muestra mayor CMS que los otros tratamientos (efecto cuadrático, $P < 0.01$) ya que el aumento en el CMS no fue equivalente al incremento en GDP; por lo tanto, la EN de la dieta, EN esperado sobre observado, tendió a ser menor (efecto cuadrático, $P < 0.10$) en la SD. Sullivan *et al.* (2011) observaron un efecto similar en su experimento donde el ganado que se le proporciono 4.7 m² de sombra muestra menos ganancia en relación a la CMS con aquellos que tenían menos área sombra (2 m² y 3.3 m² sombra/animal).

El DCA aumento la GDP (6 %, $P < 0.05$), pero no la eficiencia alimenticia. Aun cuando el uso del ventilador aumentó numéricamente 3 % EN de ganancia, esto no fue estadísticamente significativa. El movimiento del aire es un factor de gran impacto que ayuda la mitigación de calor, ya que aumenta la pérdida de calor por convección y evaporación (Mader *et al.*, 1997).

Los efectos del tratamiento sobre las características de canal se muestran en el Cuadro 10. Al aumentar el porcentaje de sombra se disminuye linealmente el KPH ($P < 0.01$), pero las canales provenientes de bovinos alojados en SD se redujo el área del ojo de costilla y el grado de marmoleo (efecto cuadrático, $P < 0.01$). La información en relación a la proporción de sombra y características de la canal es muy limitada, sin embargo, en un experimento realizado por Sullivan *et al.* (2011), mencionan que el espacio de sombra no afecta las características de la canal. Esto es consistente con el concepto general de que la canal no se ve afectada por la carga de calor (Mitlöhner *et al.*, 2001).

Los bovinos alojados en DCA mostraron mayor rendimiento de la canal (1.3 %, $P < 0.01$) y KPH (8.6 %, $P < 0.05$), pero un porcentaje menor (13,6%, $P < 0.01$) de marmoleo que canales provenientes de bovinos bajo DSA. En estudios anteriores, se demostró que la combinación de sombra y ventilador no mejora el rendimiento de la canal (Mitlöhner *et al.*, 2001; Mader y Davis, 2004).

Cuadro 10. Influencia del tipo de sombra en las características de la canal de novillos de engorda.

Variable	Tipo de sombra ¹					<i>p</i>		
	SC	SD	DSA	DCA	EEM	Lineal	Cuadrático	DSA vs DCA
PCC	305 ^a	309.4 ^a	310.8 ^a	322.9 ^b	3.22	0.31	0.36	<0.01
Rendimiento, %	63.01 ^a	63.10 ^a	62.78 ^a	63.68 ^b	0.18	0.28	0.63	<0.01
Área del ojo de la costilla, cm ²	89.86 ^a	86.4 ^b	89.54 ^a	89.22 ^a	0.95	0.39	<0.01	0.81
Espesor de grasa, cm	0.60	0.55	0.55	0.58	0.25	0.35	0.23	0.37
KPH, %	1.80 ^a	1.59 ^{bc}	1.49 ^b	1.63 ^c	0.037	<0.01	0.11	0.02
Grado de marmoleo	183 ^a	149 ^b	169 ^c	146 ^b	5.76	0.79	<0.01	0.01

Diferente literal en la fila significa diferencia estadística ($P < 0.05$).

¹ SC = sombra convencional (1.2 m²/sombra/animal); SD = sombra doble (2.4 m²/sombra/animal); DSA = domo sin abanico (8.8 m²/sombra/animal); DCA = domo con abanico (8.8 m²/sombra/animal).

VII. CONCLUSIONES

- Aumentar el área de sombra para mejorar las condiciones de bienestar animal para el ganado brindó mejoras en los indicadores productivos (Consumo de Alimento) lo cual se vio relacionado con el comportamiento agonista (animales comiendo).
- Al agregar el factor de ventilación, indistintamente del área de sombra disponible, se mejoraron los indicadores productivos más importantes (Peso Final, Ganancia Diaria de Peso, Peso de Canal Caliente y Rendimiento de Canal). Esta mejora es evidente también al observar la reducción del jadeo, al igual que el enunciado anterior indistinto de la sombra disponible, al agregar ventilación para disipar el calor.
- Por ello, se concluye que una correcta combinación de espacio de sombra y ventilación con un correcto análisis de costo beneficio, podría resultar en tecnologías de posible implementación para la engorda intensiva de ganado bovino en condiciones de estrés calórico similares a las observadas en Culiacán, Sinaloa.

VIII. LITERATURA CITADA

- Álvarez, A. y E. Pérez. 2009. Fisiología Animal Aplicada: Fisiología del Estrés. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia p. 228-255.
- Arias, R. A., T. L. Mader y P. C. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Arch. Med. Vet. 40:7-22.
- Barajas, R., B. J. Cervantes, J. A. Romo, F. Juárez, M. A. Espino, y E. A. Velázquez. 2009. Influence of pen-shade on feedlot performance and carcass characteristics of bulls naturally exposed long time to high temperature. Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci. 60:112–115.
- Barajas, R., P. Garcés, y R. A. Zinn. 2013. Interactions of shade and feeding management of feedlot performance of crossbred steers during seasonal periods of high ambient temperature. The Prof. Anim. Sci. 29:645-651.
- Barajas, C. R. 2015. Cambio climático y bienestar animal en bovinos de engorda en corral: el uso de la sombra. En: Impacto del cambio climático en el bienestar y la producción animal. Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México. p.127-138.
- Brown-Brandl, T. M., R. A. Eigenber, J. A. Nienaber y G.L. Hahn, 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. Biosyst Eng. 90(4):451-462.
- Brown-Brandl, T. M., J. A. Nienaber, R. A. Eigenber, T. L. Mader y J. L. Morrow. 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. Livest. Sci. 105:19-26.
- Brown, E. J. y A. Vosloo 2017. The involvement of the hypothalamo - pituitary adrenocortical axis in stress physiology and its significance in the assessment of animal welfare in cattle. Onderstepoort J. Vet. 84(1):1-9.
- Butcher, S. K., y J. M. Lord. 2004. Stress responses and innate immunity: aging as a contributory factor. Aging. Cell. 3(4):151-160.
- Campo, M. 2006. Bienestar animal: ¿Un tema de moda? INIA. 9:7-12.
- Cedeño, J. 2011. Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. Espam ciencia. 2:15-25.
- Chen, Y., R. Arsenault, S. Napper y P. Griebel. 2015. Models and methods to investigate acute stress responses in cattle. Animals 5:1268-1295.

- CODESIN. 2017. Producción total pecuaria por producto en Sinaloa. Disponible en <http://sinaloaennumeros.com/ganaderia/> Acceso octubre de 2018.
- COMECARNE. 2017. Compendio Estadístico 2017. Disponible en <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2017/> Acceso octubre de 2018.
- Córdova, I. A., L. C. G. Ruiz, O. A. A. Saltijeral, C. V. Xolalpa, S. S. Cortés, M. M. Méndez, C. R. Huerta, J. M. S. Córdova, J. C. A. Córdova y L. E. Guerra. 2009. Importancia del bienestar animal en las unidades de producción animal en México. REDVET. 10(12).
- Cunningham, J. G. 1997. Fisiología veterinaria. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. Distrito Federal, México. p. 711-714.
- Daniel, W. W. 2004. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Cuarta edición. Editorial Limusa. USA.
- DeVries, T. J. y M. A. G. von Keyserlingk. 2006. Feed Stalls Affect the Social and Feeding Behavior of Lactating Dairy Cows. J. Dairy Sci. 89(9):3522-3531.
- Díaz-Royón, F. y A. García. 2012. ¿Dietas de verano con más o menos forraje? Albéitar. 158:46-48.
- Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Sinaloa. 2018. Estación climatológica. Disponible en www.uas.edu.mx/servicios/clima/boletines Acceso febrero de 2019.
- FAO. 2009. Como alimentar al mundo en el 2050. Disponible en www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf Acceso diciembre 2017.
- FAO. 2014. Producción y sanidad animal. Disponible en www.fao.org/livestock-environment/es/ Acceso octubre 2017.
- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. J. Anim. Sci. 62:531-542.
- Garner, J. C., R. A. Bucklin, W. E. Kunkle, y R. A. Nordstedt. 1989. Sprinkled water and fans to reduce heat stress of beef cattle. Am. Soc. Agric. Eng. 5(1):99-101.
- Gaughan, J. B., S. M. Holt, G. L. Hahn, T. L. Mader, y R. Eigenberg. 2000. Respiration rate-Is it a good measure of heat stress in cattle?. Asian-Aus. Anim. Sci. 13:329-332.
- Gaughan, J. B., T. L. Mader, S.M. Holt y A. Lisle. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 86:226-234.

- Gaughan, J.B., S. Bonner, I. Loxton, T. L. Mader, A. Lisle, y R. Lawrence. 2010. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 88:4056-4067.
- Góngora, A. y A. Hernández. 2010. La Reproducción de la Vaca se Afecta por las Altas Temperaturas Ambientales. *Rev UDCA Act y Div Cient.* 13(2):141-151.
- Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 82:10-20.
- Hernández, G. M. 2002. Motivación animal y humana. Editorial El Manual Moderno, S.A. de C.V. Distrito Federal, México. p. 105-106.
- Hill, R. 1979. Fisiología animal comparada. Un enfoque ambiental. Editorial Reverté. España.
- Hill, R. W., G. A. Wyse, y M. Anderson. 2006. Fisiología animal. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. p. 474.
- Hughes, H. D., J. A. Carrol, S. N. C. Burdick y J. T. Richeson. 2013. Natural variations in the stress and acute phase responses of cattle. *Innate Immun.* 20(8):888-896.
- INEGI. 2015. Información por entidad. Disponible en www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me Acceso enero de 2018.
- Leonard, M. J., D. E. Spiers y G. L. Hahn. 2001. Adaptation of feedlot cattle to repeated sinusoidal heat challenge. En: *Livestock Environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium.* Louisville, Kentucky, USA. p. 119.
- Lindberg, A. C. 2001. Group life. In: *Social behavior in farm animals* (Keeling L. J. y H. W. Gonyou). Editorial CABI. Londres. p. 37-54.
- Luque, A. M. A. 2015. Efectos del estrés térmico en la reproducción de los animales domésticos y alternativas para mitigar sus efectos. En: *Impacto del cambio climático en el bienestar y la producción animal.* Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México. p. 139-159.
- Mader, T. L., J. M. Dahlquist y J. B. Gaughan. 1997. Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *J. Anim. Sci.* 75:26-36.
- Mader, T. L. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81:110-119.

- Mader, T. L. y M. S. Davis. 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: feed and water intake. *J. Anim. Sci.* 82:3077-3087.
- Mader, T. L., M. S. Davis y T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:712-719.
- Mader, T. L. y D. Griffin. 2015. Management of cattle exposed to adverse environmental conditions. *Vet. Clin. Food Anim.* 31:247-258.
- Mitlöhner, F. M., J. L. Morrow, J. W. Dailey, S. C. Wilson, M. L. Galyean, M. F. Miller, y J. J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79:2327-2335.
- Mitlöhner, F. M., M. L. Galyean y J. J. McGlone. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 80:2043-2050.
- Mormède, P., S. Andanson, B. Aupérin, B. Beerda, D. Buémené, J. Malmkvist, X. Manteca, G. Manteuffel, P. Prunet, C. G. van Reenen, S. Richard, y I. Veissier. 2007. Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiol. Behav.* 92:317-339.
- NRC. 1981. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. (6th ed.) National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. (7th ed.) National Academy Press, Washington, DC.
- Odeón, M. M. y S. A. Romera. 2017. Estrés en ganado: causas y consecuencias. *Rev. Vet.* 28(1):69-77.
- OIE. 2013a. Bienestar Animal y sistemas de producción de ganado vacuno de carne. Disponible en www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_beef_catthe.pdf Acceso diciembre de 2017.
- OIE. 2013b. Introducción a las recomendaciones para el bienestar de los animales. Disponible en www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_introduction.pdf Acceso noviembre de 2017.

- OIE. 2019. Bienestar animal. Disponible en www.oie.int/es/bienestar-animal Acceso mayo 2019.
- Olivares, B. O., E. Guevara, Y. Oliveros y L. López. 2013. Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 31(3):209-223.
- Phillips, C. J. C. 2003. Principios de producción bovina. Editorial Acribia. México.
- Romero, P. M. H., C. M. J. R. Paranhos y V. J. A. Sánchez. 2011. Bienestar Animal: un compromiso de la cadena cárnica bovina. *Biosalud* 10(2):71-86.
- Rossner, M. V., N. M. Aguilar y P. Koscinczuk. 2010. Bienestar animal aplicado a la producción bovina. Disponible en www.revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/viewFile/1948/1696 Acceso mayo de 2019.
- Rubio, L. M. S., V. D. Braña, M. R. D. Méndez y S. E. Delgado. 2013. Sistemas de producción y calidad de carne bovina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Querétaro, México. p. 49.
- Sanmiguel, P. R. A. y A. V. Díaz. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Rev. Colomb. Cienc. Anim.* 4(1):87-94.
- Schütz, K. E., A. R. Rogers, N. R. Cox y C. B. Tucker. 2009. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: Shade use, behaviour, and body temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116(1):28-34.
- SIAP. 2016. Avance acumulado de la producción pecuaria. Disponible en www.infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp Acceso diciembre de 2017.
- SIAP. 2018. Avance de la producción pecuaria por producto. Disponible en http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp Acceso mayo 2019.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67:1-18.
- Sullivan, M. L., A. J. Cawdell-Smith, T. L. Mader y J. B. Gaughan. 2011. Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 89:2911-2925.
- Temple, D., F. Bargo, E. Mainau, I. Ipharraguerre y X. Manteca. 2016. Farm Animal Welfare Education Centre. Conducta de descanso y eficiencia productiva de las vacas de leche. Disponible en

www.fawec.org/media/com_lazyload/pdf/Ficha_Tecnica_FAWEC15_n15_eficiencia_confort_es.pdf Acceso febrero de 2019.

USDA. 2017. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponible en <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/j96021035/fb494886q/livestock-poultry-ma-10-12-2017.pdf> Acceso diciembre de 2017.

USDA. 2018. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponible en https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/mg74qq69r/j6731729p/livestock_poultry.pdf Acceso marzo de 2019.

Veissier, I. y A. Boissy. 2007. Stress and welfare: two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiol. Behav.* 92(3):429-433.

Wechsler, B. y S. E. G. Lea. 2007. Adaptation by learning: Its significance for farm animal husbandry. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 108:197-214.

World Meteorological Organization. 1989. Animal health and production at extremes of weather. Technical Note No.191. Secretariat of the World Meteorologic Organization. Ginebra, Suiza. p. 181.

Zinn, R. A. y Y. Shen. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J Anim Sci.* 76:1280–1289.

