

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN
ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**INDICADORES FISIOLÓGICOS, PRODUCTIVOS Y
ECONÓMICOS EN RESPUESTA AL MANEJO Y
TRANSPORTE DE BOVINOS**

TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

SILVIA LARIOS CUETO

Bajo la supervisión de GILBERTO ARANDA OSORIO, Ph. D.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
Y DE INVESTIGACIONES



Mayo de 2015

Chapingo, México

**INDICADORES FISIOLÓGICOS, PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS EN
RESPUESTA AL MANEJO Y TRANSPORTE DE BOVINOS**

Tesis realizada por **SILVIA LARIOS CUETO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

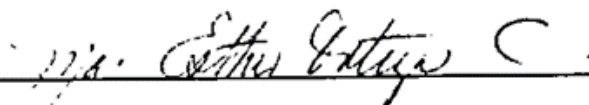
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA



DIRECTOR _____

Gilberto Aranda Osorio, Ph. D.

ASESOR _____



María Esther Ortega Cerrilla, Ph. D.



ASESOR _____

Rodolfo Ramírez Valverde, Ph. D.



ASESOR _____

Maximino Huerta Bravo, Ph. D.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
DATOS BIOGRÁFICOS	IX
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	2
3 HIPÓTESIS.....	3
4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Bienestar animal durante el transporte.....	5
4.2 Fisiología del estrés.....	7
4.2.1 Respuesta neuroendocrina	8
4.2.2 Respuesta inmunológica.....	11
4.3 Biomarcadores de estrés	14
4.3.1 Cortisol.....	15
4.3.2 Glucosa.....	17
4.3.3 Creatinfosfoquinasa	18
4.3.4 Ácidos Grasos Libres y β -hidroxibutirato.....	19
4.3.5 Urea	20
4.3.6 Proteínas Totales.....	21
4.3.7 Electrolitos: Sodio y Potasio.....	22
4.4 Transporte de bovinos y pérdida de peso	24
4.5 Alternativas para reducir el estrés durante el transporte.....	25
4.6 Literatura citada	28
5 INDICADORES FISIOLÓGICOS, PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS EN RESPUESTA AL MANEJO Y TRANSPORTE DE BOVINOS.....	35
5.1 Resumen	35
5.2 Abstract.....	36
5.3 Introducción	37

5.4	Materiales y Métodos	38
5.4.1	Tratamientos	38
5.4.2	Fase de campo	38
5.4.3	Toma de información y muestras de sangre	40
5.4.4	Fase de laboratorio	40
5.4.5	Análisis estadístico.....	41
5.4.6	Análisis económico	42
5.5	Resultados.....	43
5.6	Discusión.....	49
5.7	Conclusiones.....	57
5.8	Recomendaciones	58
5.9	Literatura citada	59
5.10	Apéndices	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Biomarcadores de estrés agudo y rango biológico normal para bovinos.	15
Cuadro 2. Comportamiento esperado de los biomarcadores en bovinos de acuerdo al agente estresor.	24
Cuadro 3. Productos usados en el manejo de recepción del ganado.	39
Cuadro 4. Indicadores de estrés durante el transporte de toretes por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador en los diferentes tiempos de muestreo (medias $\pm$ E.E.).	44
Cuadro 5. Cambio en los indicadores de estrés durante el transporte de toretes por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador (media $\pm$ E.E.).	45
Cuadro 6. Cambio en los indicadores de estrés durante el transporte por efecto del origen de los toretes (media $\pm$ E.E.).	46
Cuadro 7. Cambio en los indicadores de estrés posterior al transporte (10 d) por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador (media $\pm$ E.E.).	47
Cuadro 8. Cambio en los indicadores de estrés posterior al transporte (10 d) por efecto del origen de los toretes (media $\pm$ E.E.).	48
Cuadro 9. Implicaciones económicas por concepto de la pérdida de peso (Merma) durante el transporte	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proceso de estrés en bovinos.	9
Figura 2. Influencia de los glucocorticoides (cortisol) sobre el metabolismo basal de los bovinos bajo condiciones de estrés.....	11

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Interacción tratamiento por origen para el cambio en GLU (Glucosa) durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas.....	64
Apéndice 2. Interacción tratamiento por origen para el cambio en AGL (Ácidos Grasos Libres) durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas.....	64
Apéndice 3. Efecto del tipo racial sobre el incremento en la concentración de cortisol durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas.....	65

DEDICATORIA

A mis padres

Mis Profesores y amigos

Mi alma mater

A la vida...

"El futuro tiene muchos nombres.

para los débiles es lo inalcanzable.

para los temerosos, lo desconocido.

para los valientes es la oportunidad. " Victor Hugo

Silvia

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Maestría en Ciencias.

A los acopiadores de ganado bovino: Antonio Barragán y Esperanza López de los estados de Veracruz y Chiapas.

A los engordadores de ganado bovino de Texcoco.

A todos aquellos que de manera directa o indirecta colaboraron para la elaboración de este trabajo y de manera especial a:

Ph. D. Gilberto Aranda Osorio

Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

M. C. Juan Carlos García Ortiz

Ph. D. Ma. Esther Ortega Cerrilla

Ing. Roberto Garduño Juárez

Horacio y Nacho (gen. Zoo-2013)

M. C. Pedro Meda Alducín

M. C. Luis Saavedra

*"En la guerra como en el amor,
para llegar al objetivo
es preciso aproximarse" Napoleón Bonaparte*

Silvia

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos Personales

Nombre: Silvia Larios Cueto

Fecha de Nacimiento: 02 de septiembre de 1990

Lugar de Nacimiento: Mecapalapa, Puebla

CURP: LACS900902MPLRTL05

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cedula Profesional: 8173161

Correo: larioscs@gmail.com



Formación Académica

Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., 2008-2012.

Preparatoria Agrícola

Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 2005-2008

Publicaciones

Larios C., S., U. Rosas. V., M. E. Ortega C. 2014. **Bienestar animal durante el transporte y sacrificio en América Latina.** *In* Bienestar Animal y Calidad de la Carne. Universidad Autónoma del Estado de México, México. pp: 160-174. *(En prensa)*.

Larios C., S. 2012. **Evaluación del comportamiento productivo, rendimiento en canal y costos de producción de ganado bovino en finalización suplementado con β -agonistas.** Tesis de Licenciatura. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. 54 p.

1 INTRODUCCIÓN

El transporte de los animales y las prácticas de manejo asociadas a este como el embarque, desembarque y la realización del manejo sanitario (o de recepción) provocan estrés, pérdidas de peso, maltrato físico e inclusive la muerte de los animales (Gallo y Tadich 2005). Los efectos del estrés se pueden medir a partir de indicadores fisiológicos y el comportamiento de los animales. Por otro lado, con el fin de disminuir las repercusiones del estrés del transporte en la industria de la carne también se han usado diferentes fármacos como el Diazepam®, o los β -bloqueadores (Carazolol) cuyo efecto se traduce en la supresión de la hipercortisolemia, hiperglicemia y taquicardia generados por el transporte (Eyzaguirre, 1984; EMEA, 1999; Meenang *et al.*, 2002).

En México, la investigación sobre la evaluación del estrés y las estrategias para reducirlo es incipiente y los pocos trabajos se refieren al transporte de ganado bovino que se realiza del corral de finalización a la planta de sacrificio, debido a que se ha documentado el impacto del estrés sobre la calidad de la carne y se ha asociado a pérdidas económicas (Gallo *et al.*, 2000; Broom 2005; Amtmann *et al.*, 2006; Liotta *et al.*, 2007; Noguera *et al.*, 2012); sin embargo, existe poca información relacionada con el transporte que se realiza de los sistemas de cría al corral de finalización.

Debido a ello, la primera parte de esta tesis pretende dar un panorama general a través de una revisión de literatura sobre el estrés, sus efectos y la manera de evaluarlo a partir de indicadores de estrés como cambios en las concentraciones de cortisol, glucosa, ácidos grasos libres y otros metabolitos y la pérdida y recuperación de peso durante y después del transporte. En una segunda parte se presenta un trabajo de investigación, cuyo objetivo fue evaluar el efecto del estrés producido durante el transporte, y las prácticas de manejo antes o después de éste, en relación a indicadores fisiológicos y el comportamiento productivo de bovinos al inicio de la etapa de finalización, así como sus implicaciones económicas en el sistema de producción.

2 OBJETIVOS

- Evaluar el nivel de estrés en bovinos producido durante su movilización de la región tropical a los corrales de finalización en la región templada del centro del país.
- Determinar el mejor momento para la aplicación del manejo de recepción, ya sea antes o después del transporte en función al comportamiento fisiológico y productivo de los bovinos
- Evaluar el comportamiento fisiológico y productivo del uso de un β -bloqueador (Carazolol), previo al transporte al corral de finalización.
- Evaluar el impacto económico del uso del β -bloqueador, durante el transporte y en los primeros días de engorda.
- Identificar los principales factores que influyen en la respuesta de estrés de los bovinos durante su transporte

3 HIPÓTESIS

- Las condiciones de transporte determinan el comportamiento productivo de los bovinos y afectan la rentabilidad económica del sistema.
- El manejo de recepción de los animales previo al embarque mejoran el comportamiento productivo y acorta el periodo de recuperación de la merma (disminución de peso vivo) en el corral.
- El uso de un β -bloqueador disminuye el estrés de los bovinos durante el transporte reflejándose en una menor pérdida de peso y una mayor velocidad de recuperación a la llegada al corral
- La disminución en la pérdida de peso por uso del β -bloqueador durante el transporte justifica económicamente el uso del fármaco.
- El lugar de origen, el tiempo de transporte y la raza de los animales influyen en la respuesta de los bovinos ante los estímulos estresores

4 REVISIÓN DE LITERATURA

El transporte es una de las actividades de mayor importancia en la cadena productiva de los bovinos para carne, ya que repercute en la salud, parámetros productivos y rentabilidad del sistema de producción; esto debido al estrés y pérdida de bienestar de los animales. En Europa, una de las actividades económicas más importantes es el transporte terrestre, en el que destaca el transporte de ganado para sacrificio, y la mayoría de los datos de investigación disponibles se relacionan a esta situación ya que a nivel mundial hay una tendencia hacia la centralización de las salas de sacrificio, con los correspondientes incrementos en los tiempos de transporte.

En los EE. UU., las distancias de transporte entre corrales de finalización y mataderos son relativamente cortas, pero los terneros destetados a menudo viajan entre 1,000 y 3,000 km a los corrales de engorda (Terrant y Grandin, 2000). En México, la movilización de animales a centros de matanza o corrales de finalización es una actividad cotidiana debido a la necesidad de comprar animales, provenientes de los sistemas de cría y recría ubicados principalmente en el norte y sur del país (dado que para estas actividades se requiere de grandes extensiones), mientras que gran parte de los corrales se encuentran en la región centro (SAGARPA, 2007).

Durante el transporte, los animales son sometidos a factores desencadenantes de estrés como son el manejo, mezcla de animales de diferente procedencia, contacto con personal extraño; los vehículos, desafíos físicos como rampas, superficies resbaladizas, densidad de carga, movimiento, ruido y vibración del vehículo; el contacto con ambientes nuevos, privación de alimento y agua; y cambios en la estructura social, entre otros (María, 2005).

La alteración del bienestar animal producido por el transporte, puede ser evaluado a través de la magnitud de las respuestas fisiológicas, de comportamiento y del costo biológico y económico de estas respuestas; sin

embargo, la medición objetiva de la respuesta al estrés es difícil, ya que es necesario comprender y combinar indicadores fisiológicos, productivos y etológicos relacionados con la presencia de estrés (Romero *et al.*, 2011).

El objetivo de la presente revisión es describir los procesos involucrados en la respuesta al estrés y la pérdida de bienestar, así como los diferentes indicadores que pueden ser utilizados para su medición objetiva, además de establecer un marco de referencia de las investigaciones relacionadas con el transporte del ganado bovino y algunas alternativas para reducir sus efectos.

4.1 Bienestar animal durante el transporte

No existe una definición simple de Bienestar animal, ya que el término no fue creado como un concepto científico, sino más bien como un reflejo de nuestro sistema de valores para expresar una preocupación frente al trato adecuado de los animales. El Bienestar animal es considerado, dentro de su contexto más amplio, en relación a normas y valores éticos y sociales, tomando en cuenta no sólo aspectos que puedan producir un daño físico sino también otros aspectos de intervención.

Varios investigadores han expresado distintos conceptos sobre el Bienestar animal, Broom (1991) definió bienestar como “el estado de un animal en relación al medio ambiente” este es un estado medible en una escala desde “muy bueno” a “muy malo”. El Bienestar animal debe considerar ciertos aspectos básicos tales como: las experiencias de los animales, como placer, sufrimiento o miedo (psicológico); funcionamiento biológico normal del animal (estado físico), la naturaleza de cada especie, asegurando que pueda expresar toda su gama de comportamiento natural.

De acuerdo con el Consejo de Bienestar para Animales de Granja del Reino Unido (Farm Animal Welfare Council, 2007) el bienestar de los animales debe considerar cinco libertades:

- i) Libres de hambre y sed: esto se logra a través de un fácil acceso a agua limpia y a una dieta capaz de mantener un estado de salud adecuado.

- ii) Libres de incomodidad: esto implica que a los animales se les debe otorgar un ambiente adecuado que incluya protección y áreas de descanso cómodas.
- iii) Libres de dolor, injurias y enfermedad: para lograr esto se deben instaurar esquemas preventivos dentro de las granjas como también establecer diagnósticos y tratamientos oportunos.
- iv) Libres de poder expresar su comportamiento normal: para esto se les debe entregar espacio suficiente, infraestructura adecuada y compañía de animales de su misma especie, de modo que puedan interactuar.
- v) Libres de miedo y “distress” (estrés que provoca riesgos en el bienestar del individuo): para lograr esto se les debe asegurar a los animales condiciones que eviten el sufrimiento psicológico (Friedrich, 2012).

El bienestar de un individuo es un estado fisiológico y psicológico que le permite estar en armonía con un ambiente dado. La respuesta de estrés es el mecanismo fundamental que permite a los animales adaptarse a un cambio en su ambiente (Broom, 2005). Estos cambios ambientales constituyen estímulos estresores que actúan sobre el sistema nervioso, provocando una respuesta inmediata por vía nerviosa en la que el animal reacciona rápidamente iniciando su adaptación (María, 2005).

Durante el transporte, los manejos anexos previos (período pre-transporte) como arreo, preparación de los animales y carga, así como los posteriores (período post-transporte), como descarga, condiciones de llegada y descanso posterior pueden afectar el bienestar animal de tres formas: i) el manejo durante el embarque y desembarque, así como los cambios en el ambiente; ii) el ayuno (ausencia de alimento y agua), y iii) las condiciones físicas de los vehículos en los que viajan los animales así como el esfuerzo físico para mantenerse de pie durante el trayecto repercuten en la integridad física de los animales, desde contusiones hasta la muerte (Villarreal *et al.*, 2001; Fisher *et al.*, 2009).

4.2 Fisiología del estrés

El estrés es una respuesta fisiológica del organismo para afrontar una situación amenazante o de demanda incrementada, este mecanismo permite a los animales asignar recursos y disponer de ellos de acuerdo a la percepción de su entorno. Así, un animal estresado puede presentar cambios internos que se pueden ver reflejados en enfermedades, que a su vez repercute en aspectos productivos como tasa de crecimiento o eficiencia reproductiva.

El estrés es un mecanismo normal en las sociedades animales y su comprensión se basa en el modelo propuesto por Selye (1950), al que llamó Síndrome General de Adaptación al descubrir que los ratones sometidos a un estrés crónico (constante) manifestaban un conjunto de signos y síntomas particulares y lo dividió en tres fases, conocidas como: alarma (pelear o huir), resistencia (adaptación) y desgaste (o fatiga).

El síndrome general de adaptación representa un conjunto de respuestas fisiológicas y psicológicas generales (no específicas) ante las demandas de un estrés (positivo o negativo). Es una tríada de procesos de adaptación sucesivos como respuesta a los estímulos continuos (a largo plazo o crónico) del estrés.

La adaptación hace posible que el cuerpo cambie para poder afrontar con efectividad el estrés. Las funciones del cuerpo se modifican automáticamente, de manera que puedan ajustarse a los estresores constantes que lo perturban en su medio ambiente psicosocial y físico.

El síndrome es producido por distintos agentes estresores que inducen efectos generales de gran magnitud en el organismo, donde los componentes estructurales que regulan este sistema son el cerebro, el hipotálamo, la hipófisis, las glándulas suprarrenales, y una serie de procesos fisiológicos en respuesta a un estímulo estresor como la liberación de glucocorticoides (Sieguel y Gross, 2000).

Los estímulos estresores que actúan sobre el sistema nervioso provocan una respuesta inmediata por vía nerviosa, en la que el animal reacciona rápidamente iniciando su adaptación y una vez que el sistema nervioso central percibe una amenaza, se desarrollan en conjunto cuatro respuestas generales de defensa biológica: de comportamiento, sistema nervioso autónomo, neuroendocrina e inmunológica (María, 2005).

4.2.1 Respuesta neuroendocrina

En la respuesta neuroendocrina tienen vital importancia el sistema: simpático-suprarrenal y el hipotálamo-pituitaria-adrenal (HPA), donde la activación de cualquiera de los dos dependen del factor estresante. En la activación del primero denominado fase a alarma o emergencia (Selye, 1950), el organismo se prepara para hacer frente a peligros súbitos, generando una respuesta rápida y breve, que conlleva a la activación neuronal del hipotálamo, y la liberación de adrenalina y noradrenalina desde la médula adrenal, encargadas de poner al animal en estado de alerta, para luchar o huir, provocando un aumento de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción periférica, hiperglicemia, midriasis, hiperventilación, aumento del volumen sanguíneo y del gasto cardíaco (Romero y Sánchez, 2012).

La activación del segundo, sintetiza el factor liberador de corticotropina (CRH) y la vasopresina en el hipotálamo, que actúan sobre la hipófisis anterior estimulando la liberación de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), la cual a su vez estimula la síntesis y secreción de glucocorticoides, especialmente cortisol desde la corteza adrenal (Figura 1). Simultáneamente se estimula la liberación desde la médula adrenal, de catecolaminas (adrenalina, noradrenalina y dopamina), así como hormonas tiroideas (Moberg, 2000).

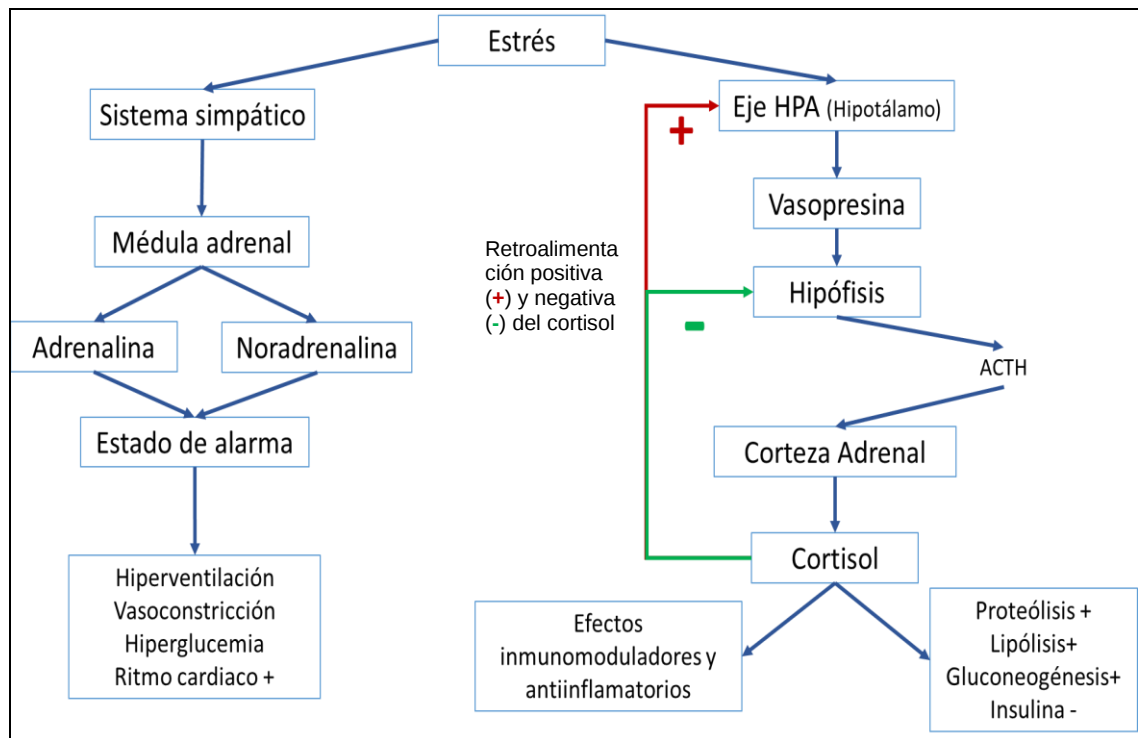


Figura 1. Esquema general del proceso de estrés en bovinos (Adaptado de Romero *et al.*, 2010).

El cortisol aumenta las concentraciones de glucosa en la sangre y la disponibilidad de energía, debido a que estimula la proteólisis, lipólisis, y gluconeogénesis en el hígado, e inhibe la liberación de insulina (Figura 1). En esta compleja respuesta fisiológica se presenta un proceso de retroalimentación negativa, permitiendo que el cortisol actúe sobre el hipotálamo y la hipófisis disminuyendo la producción de CRH (Hormona Liberadora de Corticotropina) y ACTH (Hormona Adrenocorticotrópica). En esta etapa, el organismo intenta adaptarse o afrontar la presencia de los factores que percibe (María, 2005).

El cortisol tarda en elevarse aproximadamente 15 minutos tras la acción del agente estresor. Por tanto, esta respuesta es un mecanismo esencial y favorable para que los animales enfrenten los cambios ambientales (agentes estresores). El problema surge cuando los estímulos son muy intensos o repetidos, el mecanismo adaptativo no funciona correctamente y el animal no logra adecuar su metabolismo a la nueva situación con la consiguiente pérdida de bienestar; este fracaso adaptativo conlleva mayores gastos energéticos y mayor susceptibilidad a enfermedades (María, 2005).

Los glucocorticoides influyen en el metabolismo de los carbohidratos, promueven el catabolismo proteico; poseen una función de lipólisis, lo que resulta en liberación de ácidos grasos libres y glicerol y tienen un efecto negativo en el sistema inmune e interfieren en la respuesta inflamatoria (Figura 2).

Uno de los efectos más importantes del aumento de glucocorticoides es el incremento de la gluconeogénesis hepática provocando un incremento en los valores de glucosa, en respuesta a algunos factores estresantes severos, llevando a una hiperglicemia que ocurre principalmente por una inhibición de la absorción de glucosa en los tejidos periféricos, en particular en las células musculares y adiposas, redistribuyéndola hacia el cerebro y otros tejidos (Cunningham, 1999).

Por otro lado, el aumento de la glucosa sanguínea se puede deber a que el incremento de los niveles de catecolaminas circulantes (las cuales son necesarias para la mantención de la respuesta de huida), actúan sobre las células β del páncreas inhibiendo la producción de insulina. La glucosa depende principalmente de los niveles de insulina en el organismo; por tanto, sin insulina su metabolismo normal se elimina casi por completo y las células deben depender de la gluconeogénesis (Cunningham, 1999; Ganong 2005). (Figura 2).

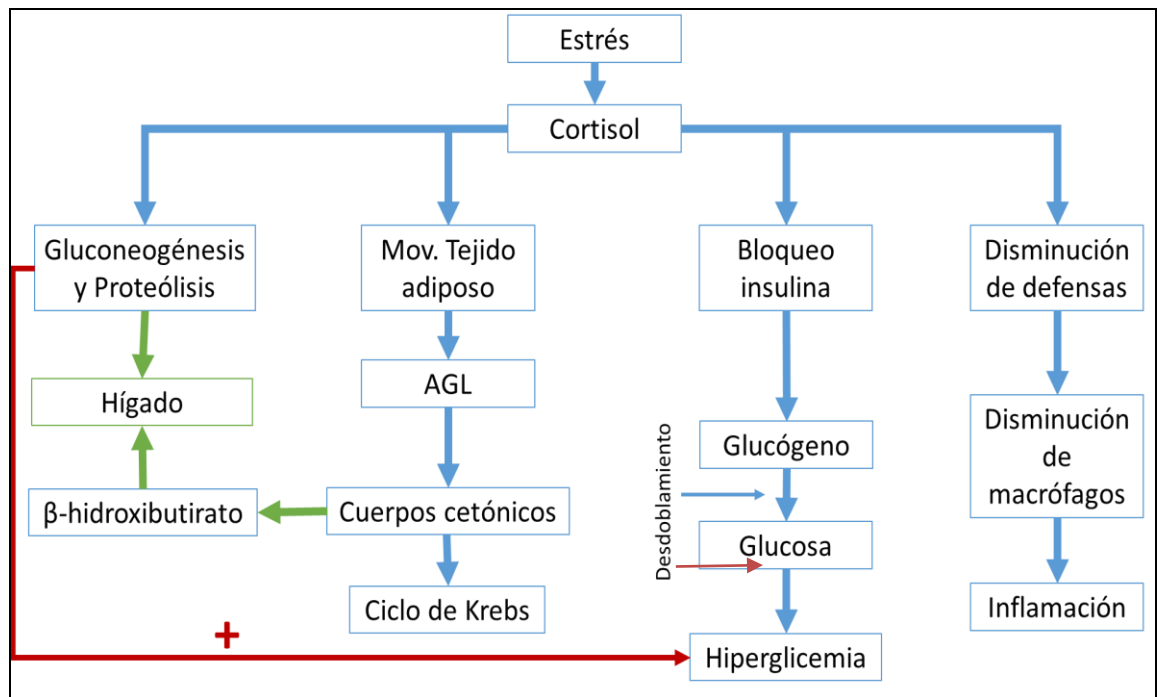


Figura 2. Influencia de los glucocorticoides (cortisol) sobre el metabolismo basal de los bovinos bajo condiciones de estrés (Adaptado de Bastias, 2006).

4.2.2 Respuesta inmunológica

En general, el sistema inmune se puede separar en dos componentes generales: inmunidad innata-natural y la adquirida, la primera se caracteriza por ser antígeno-no específica, puede actuar inmediatamente o varias horas después (0-4 h), además de ser considerada la primera línea de defensa del organismo, está constituido por las barreras físicas como la piel, mucosas, lágrimas, orina, ácido gástrico y el complemento celular antígeno-no específico (células asesinas naturales NK, mastocitos, eosinófilos, basófilos y las células fagocíticas) (Palomo *et al.*, 2002). La inmunidad adquirida se caracteriza por generar una respuesta de anticuerpos ante un patógeno específico y es activado por la inmunidad innata por lo que actúa varios días o semanas después (Palomo *et al.*, 2002)

La inmunidad innata siempre está presente en algún grado y puede ser reforzada o debilitada por factores como la presencia de heridas, deshidratación, estado de nutrición, genética, e incluso el estrés. Cuando el sistema inmune innato funciona correctamente, la mayoría de los

organismos patógenos encontrados por un animal en su vida diaria no causan la enfermedad, ya sea porque su entrada al cuerpo está bloqueada por las barreras físicas o porque se detectan fácilmente y se eliminan una vez que entran en el cuerpo.

El estrés es una de las variables más estudiadas en la afectación de la inmunidad, ya que es considerado un inmunosupresor; sin embargo, hoy en día se ha demostrado que el efecto del estrés puede ser inmunológicamente bidireccional ya que algunas formas de estrés (agudo o crónico), dependiendo de la duración o la frecuencia de exposición al agente estresante, puede provocar a la sobreexpresión de citosinas y el aumento en algunas funciones del sistema inmune, debido a la acción de los glucocorticoides como el cortisol (Espinosa y Bermúdez-Rattoni, 2001).

En algunos casos de estrés agudo, como la que resulta de las mordeduras, golpes, rasguños u otros desafíos a la integridad del cuerpo, las hormonas del estrés se asocian con la estimulación del sistema inmune, de tal manera que se prepara contra los patógenos potencialmente invasores y la infección posterior. Sin embargo, cuando un animal experimenta estrés prolongado o crónico, el efecto de las hormonas del estrés en el sistema inmune se desplaza de un evento preparatorio para una serie de eventos supresores, primero a nivel celular y luego, con el tiempo, a través de todo el sistema inmunológico (Carroll y Forsberg, 2007).

El primer efecto negativo del estrés crónico sobre el sistema inmunológico está asociado con la continua estimulación de las células del sistema inmune, inicialmente los glucocorticoides actúan sobre las células efectoras para que se preparen ante la invasión del patógeno, sin embargo, bajo estrés crónico, estas células son estimuladas constantemente para una respuesta inmune a gran escala, las células inmunes secretan citosinas generando una retroalimentación positiva a la producción de glucocorticoides, lo cual podría provocar que las células efectoras perdieran la capacidad de reconocer los propios tejidos del cuerpo y atacarlos; por otro lado, las células efectoras han generado un mecanismo de seguridad ante esta situación, el cual consiste en el desarrollo de una tolerancia a

concentraciones elevadas de glucocorticoides que impide la respuesta de retroalimentación negativa; sin embargo, también podría llevar a la inflamación no controlada (Carroll y Forsberg, 2007).

Cosío *et al.* (2005) mencionan que otro de los efectos de los glucocorticoides sobre el sistema inmune, es inhibir la transcripción génica de numerosos genes que codifican para proteínas proinflamatorias (citocinas y quimiocinas), mediante la unión a un receptor GR (glucocorticoides) o MR (mineralocorticoides).

El cortisol tiene preferencia por el receptor MR; sin embargo, en situaciones de estrés en donde sus concentraciones son elevadas puede interaccionar con los GR provocando que algunas células inmunes como los linfocitos, macrófagos y granulocitos, que poseen el GR, respondan a elevadas concentraciones de hormonas glucocorticoides durante períodos de estrés (Carroll y Forsberg, 2007).

Siequel y Gross (2000) indican que la presencia de enfermedades está en función del nivel de estrés ocasionado por un estímulo; cuando los niveles son demasiado altos, enfermedades virales y otras enfermedades que estimulan una respuesta linfoide son más comunes, la inmunidad se reduce, resultando en un aumento de la incidencia de tumores; sin embargo, cuando los niveles de estrés son demasiado bajos, enfermedades bacterianas y parasitarias son más comunes y las respuestas a algunas toxinas son más graves; mientras que en un nivel "óptimo de estrés", la incidencia de estas se reduce.

Grandin (2000) menciona que una de las enfermedades más comunes en ganado bovino durante el transporte, es el complejo respiratorio bovino, debido a que es multifactorial e implica la interacción de los virus, bacterias y estrés.

Debido a ello, algunos autores como Blecha *et al.* (1984) han evaluado el impacto del estrés por transporte (700 km en 10 h) sobre la respuesta inmunológica en terneros (180-280 kg), los cuales presentaron leucocitosis producida por una neutrofilia, esta última es común en animales estresados

por la acción de los glucocorticoides sobre la liberación de neutrófilos de la médula ósea; sin embargo, no encontraron correlación entre los niveles de cortisol con la inmunosupresión del ganado, por lo que concluyeron que los mecanismos fisiológicos responsables de alteraciones inmunológicas no están bien estudiados y se necesita más evidencia de inmunología básica para determinar el modo de inmunosupresión del ganado que es movilizado a grandes distancias.

4.3 Biomarcadores de estrés

Existen varios estudios en los que se ha tratado de determinar el nivel de estrés de los animales de abasto durante el manejo de rutina y transporte a través de pruebas de comportamiento las cuales son útiles porque proporcionan información acerca de cómo los animales se adaptan y hacen frente al estrés, además son una herramienta útil en el diseño de instalaciones, mostrando que modificaciones son necesarias para mejorar los equipos y las condiciones de transporte (Terrant y Grandin, 2000).

Otra manera de evaluar el estrés que sufren los animales es a partir de cambios en variables fisiológicas, compuestos bioquímicos, inmunológicos y patológicos mejor conocidos como biomarcadores, entre los que se encuentran el cortisol (COR), la progesterona, las concentraciones de albúmina plasmática, urea, globulina, proteínas totales, la actividad de la creatinfosfoquinasa (CK), β -hidroxibutirato (β HB), haptoglobina, fibrinógeno, glucosa (GLU) el volumen celular acumulado o hematocrito (VCA), proteínas totales en suero (PTS) el conteo de leucocitos y la proporción de ácidos grasos libres (AGL) entre otros (Amtmann *et al.*, 2006; Buckham-Sporer *et al.*, 2008).

En el Cuadro 1 se describe el rango biológico bajo condiciones normales para bovinos y el tipo de indicador que representan, ya que la respuesta de cada uno de ellos varía de acuerdo al tipo de estrés al que es sometido, ya sea alimenticio o de privación de agua, esfuerzo físico, presencia de enfermedades o psicológico, como es el miedo.

Cuadro 1. Biomarcadores de estrés agudo y rango biológico normal para bovinos (Knowles y Warriss, 2000; Romero *et al.*, 2011).

Biomarcador	Rango normal	Tipo de indicador
Cortisol (ng·ml ⁻¹)	0-20	Neuroendocrino primario
Glucosa (mg·dL ⁻¹)	50-70	De miedo o excitación
β-Hidroxibutirato (mmol·L ⁻¹)	0.02-0.46	Miedo, excitación y ayuno
Ácidos Grasos Libres (mmol·L ⁻¹)	0.06	Ayuno
Creatinfosfoquinasa (U·L ⁻¹)	35-280	Esfuerzo físico
Proteínas Plasmáticas (g·dL ⁻¹)	6.8	Deshidratación, hemoconcentración
Hematocrito (%)	24-46	De miedo o excitación
Temperatura Corporal (°C)	37.7-38.5	Hipertermia o hipotermia
Ganancia de Peso (kg·d ⁻¹) Producción de Leche (kg·d ⁻¹)	-----	Comportamiento productivo

El uso de biomarcadores como indicadores de estrés suele arrojar datos altamente variables, difíciles de interpretar desde el punto de vista del bienestar animal, lo cual debe ser considerado durante el análisis de la información, considerando que parte de esa variabilidad puede explicarse por el estrés psicológico producido a los animales durante la toma de muestras, es decir aquellos factores que no causen dolor o molestia pero si causan miedo y excitación (Grandin, 1997).

4.3.1 Cortisol

Los niveles en plasma sanguíneo de cortisol (COR) y corticosterona se utilizan con frecuencia como criterios para medir la respuesta al estrés. Debido a que el nivel sanguíneo de corticosterona difiere entre los individuos, a veces es difícil para correlacionar los niveles en sangre de los glucocorticoides con otras manifestaciones ante un estímulo estresante (Panretto y Vickery, 1972). Los niveles sanguíneos de la hormona tiroidea triyodotironina (T3) también se han utilizado como una medición de la respuesta a la tensión (Friend *et al.*, 1985; Yahav, 1998).

En los mamíferos el COR es el principal glucocorticoide, el cual es transportado a sangre de manera libre o unido a globulinas específicas como

la transcortina. Su catabolismo se lleva a cabo principalmente en hígado, riñón, tejido conectivo, fibroblastos y músculo; son rápidamente eliminados de la circulación y su vida media es de 80 a 120 minutos (Ganong, 2005).

Después del catabolismo en hígado, los esteroides son conjugados y eliminados en la orina o bilis, sólo una pequeña porción del esteroide original es excretada de manera libre, por lo cual es posible determinar el metabolito no sólo en sangre, sino en heces, saliva y orina. Los niveles de COR basal en plasma se encuentran por debajo de $10 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$, pero se ha descrito que fluctúa en un rango entre 0 y $20 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ (Romero *et al.*, 2011).

La interpretación de los niveles basales de COR en ocasiones se dificulta, debido a que los resultados pueden variar por múltiples factores, incluyendo: el ritmo circadiano (concentraciones aumentadas en la mañana y bajas en la tarde), otros factores como el muestreo, la restricción de movimiento, la lactancia, el coito, el ordeño, el grado de habituación, otras hormonas (la vasopresina puede potenciar la secreción de ACTH) presencia de infecciones, endotoxinas y el metabolismo del cortisol de acuerdo a la especie (Ganong, 2005; Romero *et al.*, 2011).

En un estudio para determinar el efecto de transportar animales a diferentes distancias, María (2005) encontró que los valores basales de cortisol variaron desde $16 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ en viajes cortos y de $35 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ en viajes largos. Similar a lo reportado por Tadich *et al.* (2000), en donde afirman que el transporte en bovinos por 36 h con o sin descanso durante el trayecto incrementan significativamente los niveles de cortisol como respuesta al estrés entre 43 y 83%, en pre y post transporte.

Otros autores como Gibson *et al.* (1986) al utilizar los niveles de corticosterona plasmática y las hormonas tiroideas para medir los efectos del estrés a largo plazo de pollos en condiciones diferentes de alojamiento, concluyeron que los resultados fueron variables y que estas hormonas no eran especialmente útiles para medir el estrés a largo plazo, pero pueden ser útiles para medir el estrés agudo inducido por la manipulación o restricción.

Debido a la alta variabilidad de los niveles plasmáticos de COR, ya que se han reportado valores de 0.5 a 93 ng·ml⁻¹, dependiendo de la raza, edad y efectos estresores a los que es sometido el animal (Grandin 1997), este autor no recomienda hacer comparaciones absolutas entre los diferentes estudios que evalúan las condiciones de estrés, ya que es necesario evaluar otras variables tanto fisiológicas como bioquímicas y conductuales.

4.3.2 Glucosa

Existen numerosos trabajos en donde se describen los incrementos séricos de glucosa (GLU) en consecuencia al estrés, tanto en especies silvestres (Montané, 2002) como en bovinos (Tadich *et al.*, 2003). La acción de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) liberadas hacia la circulación sanguínea durante la respuesta inicial al estrés estimula la gluconeogénesis hepática, lo cual incrementa la disponibilidad de GLU plasmática (Ganong, 2005).

Este proceso también es producido por el COR, el cual activa la glicólisis hepática, la gluconeogénesis e incrementan el catabolismo de las proteínas libres (Cunningham, 1999); y por hormonas específicas que participan en la regulación de la GLU en sangre, como la insulina (células β) y glucagón (células α) secretados en páncreas cuya función es mantener las concentraciones de GLU en sangre dentro del rango normal (Homeostasis), en donde la secreción de insulina estimula el almacenamiento del glucógeno hepático y la utilización de glucosa en los tejidos periféricos y dado que el glucagón tiene efectos antagónicos, Elsaser *et al.* (2000) mencionan que durante la fase aguda del estrés, el organismo desarrolla una respuesta bifásica hiperglucémico-hipoglucémico.

La hiperglicemia ocasionada en animales favorece el catabolismo de las grasas debido a la ineficiencia en la utilización de los carbohidratos y la consecuente aparición de cetosis además de otros problemas como pérdida de peso y electrolitos (Na y K).

En bovinos la concentración de GLU sanguínea bajo condiciones normales es de 50 a 70 mg·dL⁻¹; durante el transporte se puede presentar un

incremento debido a las condiciones de manejo y ayuno de los animales, sin embargo, Montané (2002) afirma que no es un buen indicador de estrés en condiciones climáticas de baja temperatura debido a que los valores pueden verse incrementados por efecto del clima. Por el contrario, Earley y O’Riordan (2006) indican que la GLU fue un buen indicador de estrés en bovinos en los que se midió el efecto de la densidad de carga (1.27 y 0.85 m² por animal) durante el viaje después de 12 h de movilización, ya que los valores de GLU variaron de 72 a 90 mg·dL⁻¹, respectivamente.

4.3.3 Creatinfosfoquinasa

La creatinfosfoquinasa (CK) es una enzima citoplasmática que cataliza la transferencia de un fosfato de alta energía desde el fosfato de creatina, principal depósito de almacenamiento energético en el músculo en reposo, a la adenosina difosfato (ADP), de tal manera que produce trifosfato de adenosina (ATP) para su empleo por los miocitos. La CK se puede dividir en tres isoenzimas: MM, MB, y BB. El músculo esquelético contiene principalmente MM (95%), el cardíaco MM (80%) y MB (20%) el cerebro, el sistema gastrointestinal y el aparato genitourinario contienen mayoritariamente BB (D’Ottavio *et al.*, 2008).

La CK es un indicador muy sensible de daño muscular, por eso sólo tienen importancia clínica los grandes aumentos en su actividad sérica; en humanos se ha considerado más de 10 veces el valor normal en personas asintomáticas cuyo fin es diagnosticar una distrofia muscular (D’Ottavio *et al.*, 2008).

Los pequeños traumatismos, las inyecciones o la aplicación de fármacos (estatinas, inmunosupresores o antihistamínicos) provocan incrementos detectables en su actividad sérica (desde un 7 hasta un 46%), además de tener una corta duración en suero sanguíneo volviendo a su nivel normal rápidamente (Montané, 2002). Los niveles de CK para el bovino son de 35-280 U·L⁻¹; sin embargo, los niveles basales de CK se pueden aumentar debido al ayuno y al ejercicio, siendo mayor el incremento en procesos como la insensibilización durante la matanza.

El transporte prolongado es un factor extenuante; los bovinos tienen que mantener el balance y el contacto entre ellos produciendo fatiga y contusiones, que afectan la permeabilidad de la membrana celular y la liberación de CK hacia el torrente sanguíneo, cuyos valores pueden permanecer elevados hasta por siete días después de haber recibido el estímulo (D'Ottavio *et al.*, 2008; Romero *et al.*, 2011).

Algunos autores como Tadich *et al.* (2000) han reportado incrementos en la CK de hasta 90% después de transporte prolongado (36 h); sin embargo, Earley y O'Riordan (2006) no encontraron diferencias después de movilizar animales por 12 h.

4.3.4 Ácidos Grasos Libres y β -hidroxibutirato

El peso vivo, el β -hidroxibutirato (β HB), los ácidos grasos libres (AGL) y el glucógeno muscular son indicadores de ayuno, debido a que los animales recurren a sus reservas de energía, que se encuentran principalmente en forma de lípidos, especialmente triacilglicerol o triglicéridos a partir de los cuales se obtienen AGL y glicerol (Raiman *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2010). Cuando la cantidad de grasa movilizada excede la capacidad de oxidación del hígado se produce un incremento de los cuerpos cetónicos como la acetona, acetoacetato y β HB.

El ácido betahidroxibutírico (D- β -hidroxibutírico), o su forma ionizada, el D- β -hidroxibutirato se forman a partir del butirato en el epitelio ruminal en los bovinos y como un producto intermediario del metabolismo de las grasas endógenas; participa en el metabolismo energético anaerobio, reduciendo el piruvato (procedente de la glucólisis) para regenerar la coenzima nicotinamida adenina dinucleótido (NAD^+). La síntesis intrahepática de los cuerpos cetónicos β HB y acetoacetato proveen energía principalmente al cerebro, permitiendo así el ahorro de GLU en las etapas tardías del ayuno, aportando un 60 a 80% de la energía de la dieta de los rumiantes (Echeverría, 2002).

Durante el ejercicio la GLU, los cuerpos cetónicos y los AGL son usados totalmente, después de este proceso, la oxidación de los cuerpos cetónicos

por los músculos se reduce lo que conduce a un incremento de los niveles de AGL y β HB hasta seis veces por arriba de los valores previos al ejercicio; sin embargo, unos minutos inmediatamente después del ejercicio intenso estos valores pueden disminuir momentáneamente como un ajuste metabólico (Romero *et al.* 2011)

Los valores promedio de la concentración de β HB en sangre bovina son de 0.02 0.46 mmol·L⁻¹ (Echeverría, 2002; Romero *et al.*, 2011), cuando estos niveles basales aumentan, los bovinos tardan entre uno a dos días para alcanzar nuevamente su valor normal (Knowles y Warriss, 2000).

Knowles *et al.* (1997) reconocen una disminución significativa de los niveles de β HB para animales transportados por menos de 24 horas, y Tadich *et al.* (2003) mencionan que el β HB no es un buen indicador de estrés agudo, sin embargo, podría serlo para estrés crónico, pero durante el transporte (primeras 24 h) los valores pueden disminuir por efecto de la alimentación previa o la variabilidad animal.

En bovinos después de 12 h de transporte a diferentes densidades de carga (1.27 y 0.85 m² por animal), Earley y O’Riordan (2006), encontraron valores de β HB de 0.43 a 0.17 g/L y de AGL de 0.135 a 0.295 μ mol·L⁻¹ pre y post transporte, respectivamente lo que fue similar a lo encontrado por Tadich *et al.* (2000) y Liotta *et al.* (2007).

4.3.5 Urea

Los niveles de urea se incrementan como respuesta al estrés, ya que se aumenta el catabolismo proteico y los grupos amino desechados por este proceso son transformados en urea por el hepatocito, para ser eliminados posteriormente por filtración glomerular y excretados por medio de la orina. La concentración plasmática de urea es indicadora de privación de alimento; sin embargo, se puede incrementar en sangre por trastornos renales como la insuficiencia renal crónica o aguda; por obstrucción de las vías urinarias; excesiva destrucción de proteínas como en estados de fiebre, toxicidad o sepsis extensa (Knowles y Warriss, 2000; Romero *et al.*, 2011).

También se pueden aumentar los niveles de urea por una hemoconcentración debida generalmente a vómitos o diarreas; cuando existe alteración de la función cardiaca que reduce el flujo de sangre a través del riñón se ve aumentada la concentración de urea en sangre. El descenso en los niveles de urea son raros, teóricamente pueden presentarse en asociación con graves enfermedades hepáticas o malnutrición proteica (William-Medway *et al.*, 1990).

4.3.6 Proteínas Totales

El agua es esencial para todos los procesos que tienen lugar dentro del cuerpo, representa el 60% del peso corporal total para la mayoría de los animales domésticos. El agua del cuerpo, fisiológicamente, se compone del líquido extracelular (LEC) y del intracelular (LIC). En los rumiantes, el rumen puede contener entre 30 y 60 litros (en ganado adulto) que durante los períodos de privación de agua pueden actuar como un amortiguador para mantener el volumen circulante efectivo. Durante los períodos de insuficiente absorción de agua, las pérdidas de esta son equilibradas proporcionalmente entre el líquido extra e intra celular; por tanto, el balance de electrolitos entre los dos se mantiene (Knowles y Warriss, 2000).

El volumen celular acumulado (VCA), proteínas totales en suero (PTS), sólidos totales (ST) y albúmina plasmática son medidas simples que pueden indicar deshidratación. El VCA es el porcentaje del volumen sanguíneo ocupado por células (predominantemente las células rojas de la sangre), el resto del volumen es fluido. Por lo tanto, siempre y cuando no haya ninguna pérdida o ganancia de células, VCA es una medida del volumen de plasma. Sin embargo, muchas especies tienen una reserva de células rojas de la sangre en el bazo, que son liberadas fácilmente en respuesta a la emoción y los factores de estrés, por lo que es útil el uso de la PTS y los niveles de albúmina en suero como indicador de estrés (Romero *et al.*, 2011).

Las PTS están conformadas principalmente por globulinas y albumina y se asume que la cantidad total de proteína presente en el suero sigue siendo el mismo (Montané, 2002). Tanto la PTS y albúmina deben mostrar el mismo

tipo de cambio, si el efecto se debe a deshidratación y no un efecto de la dieta. Cabe señalar que el porcentaje de cambio en la proteína y VCA no será el mismo para cada pérdida fluido, por ejemplo, un déficit del volumen plasmático de 10% se traduciría en un aumento del 11% en proteínas, pero sólo en un aumento del 2.5% en el VCA (Knowles y Warriss, 2000), por lo que la osmolalidad puede ser utilizada como una medida sencilla del contenido de agua del plasma, ya que es una propiedad coligativa y por tanto incluye todas las clases de soluto (Knowles y Warriss, 2000).

Como una guía general en la medida de deshidratación, los signos clínicos suelen ser evidentes cuando el 4-6% del peso corporal total "efectivo" (no incluyendo el líquido en el intestino) o agua corporal total ha sido perdida; deshidratación moderada es cuando el 8-10% se ha perdido y la deshidratación grave se produce cuando las pérdidas son mayores a 12% (Carlson, 1997).

4.3.7 Electrolitos: Sodio y Potasio

El sodio se encuentra principalmente en el LEC y determina su volumen y osmolalidad, interviene en el equilibrio ácido-básico, en el potencial de membrana y en la transmisión del impulso nervioso (Ganong, 2005). La cantidad de sodio presente en el organismo está regulada por el riñón, ya que su función es mantener, por medio de la aldosterona, la concentración plasmática en rango a pesar de las variaciones de la ingesta de este mineral (Ganong 2005). En bovinos el rango normal es de 3105-3450 ppm en suero sanguíneo (Puls, 1988); sin embargo, se han reportado valores por arriba de este nivel; Petriz (2005) reporta valores en plasma de hasta 3759 en bovinos de doble propósito provenientes de regiones tropicales.

Los niveles elevados de sodio sérico son debidos a un incremento en la ingesta de este mineral, una pérdida excesiva de agua o privación del consumo de agua, mientras que niveles bajos obedecen a las situaciones opuestas. Las catecolaminas liberadas durante un proceso estresante pueden favorecer la reabsorción de agua y de sodio en forma indirecta mediante efectos hemodinámicos (Montané, 2002).

El potasio es un electrolito intracelular que regula su concentración a ambos lados de las membranas por la bomba sodio-potasio cuya función principal es la excitabilidad neuromuscular y cardíaca, en bovinos el rango normal es de 160 a 200 ppm (Puls, 1988). Las catecolaminas ejercen un efecto bifásico en la concentración de este electrolito ya que inicialmente provoca un incremento mediante una estimulación α -adrenérgico, seguida de una hipopotasemia debida a la estimulación de los receptores β 2-adrenérgicos. Este hecho es importante en el desarrollo de la fatiga en caballos de competición, el ejercicio intenso y la necrosis muscular provocan un incremento en la concentración sérica de potasio, de igual manera niveles elevados se han relacionado con un incremento en el nivel de estrés de los animales (Wittwer *et al.*, 1995).

El ion cloruro es otro de los electrolitos importantes, ya que se encarga de regular la presión osmótica del LEC e interviene en la regulación ácido-base y si no existen alteraciones su concentración es proporcional al sodio (Ganong, 2005).

Wittwer *et al.* (1995), demostraron el efecto del estrés farmacológico agudo en ovejas sobre el metabolismo de algunos minerales a partir de la administración de adrenalina ($40 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) encontrando que se produjo hiperglicemia y una disminución en algunos electrolitos como Mg y K; sin embargo, en otros elementos como Na y Ca no se encontró alteración alguna.

Los indicadores de estrés descritos anteriormente, son una fuente de información importante para caracterizar y analizar el efecto del transporte sobre los animales; su análisis en conjunto, pueden proveer información acertada; sin embargo, su uso está limitado por la inestabilidad de algunos de ellos como el cortisol, la CK y el β HB los cuales son indicadores cuyos valores se pueden modificar con facilidad, por ejemplo, por fallas directas en el muestreo, la edad, el sexo y la raza o incluso el manejo y conservación de las muestras (Romero *et al.*, 2011). En el Cuadro 2 se presenta el comportamiento que se esperaría en cada uno de los biomarcadores anteriormente descritos de acuerdo a diferentes agentes estresores.

Cuadro 2. Comportamiento esperado de los biomarcadores en bovinos de acuerdo al agente estresor (Knowles y Warriss, 2000).

Agente Estresor	Comportamiento
Privación de alimento	+AGL, + β HB, +Urea, - GLU
Deshidratación	+PTS, +VCA, +Na +K
Cansancio físico	+CK, +Lactato +FRC, +FRR
Miedo y dolor	+COR, +VCA
Estrés por calor o por frio	+ TC, -TC

Incremento (+), disminución (-). Ácidos Grasos Libres (AGL), β -hidroxibutirato (β HB), Glucosa (GLU), Proteínas Totales en Suero (PTS), Sodio (Na), Potasio (K), Actividad de Creatinfosfoquinasa (CK), Frecuencia cardíaca (FRC), Frecuencia Respiratoria (FRR) Cortisol (COR), Volumen Celular Acumulado o Hematocrito (VCA), y Temperatura corporal (TC)

La complejidad de la biología del estrés requiere de estudios más detallados, que incluyan una muestra importante de animales, con el fin de identificar los mejores indicadores de estrés agudo y crónico, que puedan ser útiles y fáciles de medir en condiciones de campo, ya que algunas de las técnicas actuales son complejas.

4.4 Transporte de bovinos y pérdida de peso

Actualmente, la mayoría de los estudios realizados en relación al transporte de bovinos, tienen como objetivo principal evaluar el efecto del estrés sobre las características de la canal y la calidad de la carne debido a que el transporte puede producir efectos adversos en las características de la canal en variables como rendimiento, pH, color, textura y la capacidad de retención de agua; además que en casos extremos, puede producir la muerte de los animales debido a una sobrecarga, golpes y fracturas por pisoteo durante las caídas, asfixia por malas condiciones de ventilación o aplastamiento, fiebre de embarque y deshidratación (Romero *et al.*, 2010).

En un estudio realizado por Gallo *et al.* (2000) compararon cuatro tiempos de transporte (3, 6, 12, y 24 h) en bovinos, indican que a mayor tiempo, el número de animales caídos durante el viaje se incrementa (5 a las 24h vs 2 a las 12 h), lo que ocasiona incremento de contusiones en las canales y pérdida de peso en los animales a la llegada al rastro de un 6.5 hasta un 10.5 %; lo que fue similar a lo reportado por Noguera *et al.* (2012) en bovinos

de raza Holstein y por Bustos (1997) en novillos de cruce comercial después de un viaje de 8 h.

Las pérdidas de peso son crecientes a mayor tiempo de transporte, aunque la relación no es lineal, las mayores pérdidas ocurren durante las primeras 24 h de ayuno (Gallo *et al.*, 2000), además que el tiempo transcurrido desde la última ingesta de alimento influye en la rapidez con la que el animal pierde peso.

Otros factores que influyen en la pérdida de peso durante el transporte son el desgaste físico, el manejo previo o durante el embarque, las condiciones climáticas y la época del año, siendo en general, mayores durante primavera-verano que en otoño-invierno, debido probablemente a un mayor efecto de deshidratación (Gallo *et al.*, 2000).

La pérdida de peso o merma durante el transporte representan el efecto más importante del estrés sobre el animal debido a su impacto económico en el sistema de producción, por lo cual es de interés conocer el tiempo en el que el ganado recupera las mermas después del transporte. En un estudio realizado con bovinos, Werner *et al.* (2013), encontraron que las pérdidas de peso, por efecto del transporte terrestre (1450 km y 63 h dentro de la jaula) fueron alrededor del 13% del peso vivo por animal; sin embargo, una semana después de su movilización estos recuperaron alrededor del 4% de su peso vivo y a las 3 semanas el 10%; este comportamiento fue similar para algunas variables sanguíneas como CK y β HB cuyos valores normales se encontraron a las 3 y 1 semana post-transporte.

4.5 Alternativas para reducir el estrés durante el transporte

El transporte es una actividad que produce estrés en el ganado provocando alteraciones en los niveles basales de cortisol y otros parámetros fisiológicos, por lo cual es de interés implementar técnicas que reduzcan al mínimo sus efectos.

Es factible la reducción del estrés a partir de la realización de manejo adecuado de los animales y la implementación de equipos adecuados

durante la movilización del mismo (Terrant y Grandin, 2000). Se ha demostrado que los animales amansados, que están acostumbrados al manejo frecuente y a la presencia de la gente, tienen por lo general menos estrés que animales que nunca han sido expuestos a la presencia humana, por lo que las experiencias del manejo en la vida joven del animal tendrán efecto en la respuesta fisiológica durante el manejo y movilización en su vida adulta (Grandin, 1997).

Con el fin de disminuir las repercusiones del estrés del transporte en la industria de la carne también se han usado diferentes fármacos como el Diazepam®, un benzodiazepínico, cuyo efecto se traduce en la supresión de la hipercortisolemia, hiperglicemia y taquicardia generados por el transporte, actuando de manera similar a los β -bloqueadores y potenciando las interneuronas inhibitorias que utilizan el GABA (ácido gama-aminobutírico). Los barbituratos (pentobarbital) también han sido utilizados debido a que su acción es directa sobre la pituitaria inhibiendo la liberación de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) (Eyzaguirre, 1984).

Otros fármacos utilizados para reducir el estrés son los β -bloqueadores, los cuales tienen acción sobre los β -receptores adrenérgicos inhibiendo la acción de las catecolaminas sobre el sistema nervioso simpático, evitando su efecto glucolítico en bovinos, ovinos y cerdos. Sin embargo, se ha demostrado que uso en cerdos afecta la calidad de la carne (Meenang *et al.*, 2002). Los β -bloqueadores más comúnmente utilizado en animales es el hidrocloreuro de carazolol, utilizado en bovinos, cerdos y caballos para reducir el estrés durante el transporte y el parto (Eyzaguirre, 1984; EMEA, 1999; Meenang *et al.*, 2002).

El carazolol es un análogo de las catecolaminas que se une en forma reversible a los β -receptores, sin embargo, no se presentan los efectos adrenérgicos como con la estimulación de la catecolamina; por lo que durante el manejo y transporte, el carazolol previene la activación del metabolismo energético, reduciendo procesos como glucólisis, lipólisis y degradación proteica (Eyzaguirre, 1984).

El COR y sus análogos sintéticos como la prednisolona, fluoroprednisolona, metilprednisolona, dexametasona, betametasona entre otros, inhiben la secreción de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), por reprimir la descarga del factor liberador de corticotrofina en el hipotálamo (Booth y Me Dónalo, 1988). En el transporte de bovinos, el uso de fluoroprednisolona ha reducido las pérdidas de peso en 1% (Bustos, 1997).

4.6 Literatura citada

- Amtmann V., A., C. Gallo, G. van Schaik, y N. Tadich. 2006. Relaciones entre el manejo *ante-mortem*, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. Archivos de Medicina Veterinaria 38(3): 259-264.
- Bastias, C., S. C. 2006. Efecto de diferentes grados de claudicaciones sobre algunos constituyentes sanguíneos indicadores de estrés en vacas lecheras. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile. Chile. 44 p.
- Blecha, F., S. L. Boyles, and J. G. Riley. 1984. Shipping suppresses lymphocyte blastogenic responses in Angus and Brahman × Angus feeder calves. Journal of Animal Science 59: 576–583.
- Booth, N. H. G., y L. E. Me Dónalo. 1988. Farmacología y Terapéutica Veterinaria. Volumen I. 1° edición española. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Broom, D. M. 1991. Animal welfare: concepts and measurement. Journal of Animal Science 69: 4167-4175.
- Broom, D. M. 2005. The effects of land transport on animal welfare. Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties 24(2): 683-91.
- Buckham-Sporer, K. R., L. Xiao, R. Tempelman J., J. Burton L., B. Earley, and M. Crowe A. 2008. Transportation stress alters the circulating steroid environment and neutrophil gene expression in beef bulls. Veterinary Immunology Immunopathology 121: 300-320.
- Bustos S, V. A. 1997. Efecto de la administración de acetato de 9-fluoroprednisolona en el destare, rendimiento y pH de la canal de bovinos sometidos a transporte prolongado. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile. Chile. 42 p.

- Carlson, G. P. 1997. Fluid, electrolyte, and acid–base balance. *In*: Kaneko, J. J., Harvey, J. W. and Bruss, M. L. (Eds) *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 5th edition. Academic Press, San Diego. pp. 485–516.
- Carroll, J. A., and E. N. Forsberg. 2007. Influence of stress and nutrition on cattle immunity. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 23: 105–149.
- Cosio, B. G., A. Torrego, y I. M. Adcock. 2005. Mecanismos moleculares de los glucocorticoides. *Archivos de Bronconeumología* 41(1): 34-41.
- Cunningham, J. 1999. *Fisiología Veterinaria* 2^{da} ed. Mc. Graw-Hill Interamericana. México. Pp 409-411 y 478-495.
- D'Ottavio, E. G.; Parodi, R.; Montero, E. J.; Egri, N.; Carlson, D., y Greca, A. 2008. Creatininfosfoquinasa y su aplicación clínica. *In* *Anuario Fundación Dr. J. R. Villavicencio*, No. XVI. Argentina: Universidad Nacional de Rosario. Pp 156-159.
- Earley, B., and E. G. O'Riordan. 2006. Effects of transporting bulls at different space allowances on physiological, hematological and immunological responses to a 12-h journey by road. *Journal of Agricultural and Food Research* 45: 39–50.
- Echeverría P., R. A. 2002. Efecto de dos tiempos de ayuno con y sin transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Chile. 49 p.
- Elsaser, T. H., K. C. Klasing, N. Filipop, and F. Thompson. 2000. The Metabolic Consequences of Stress: Targets for Stress and Priorities of Nutrient Use *In* *Livestock Handling and Transport* 2^{da} edition. Grandin T. (ed) CABI International. USA. pp. 77-110
- EMEA (European agency for the evaluation of medicinal products veterinary medicines evaluation units). 1999. Carazolol. The European agency

for the evaluation of medicinal products veterinary medicines evaluation units. www.eudra.org/emea.html. Consultada el 21 de mayo de 2013.

Espinosa, E., y F. Bermúdez-Rattoni. 2001. Relación conducta-inmunidad: el papel de las citosinas. *La Revista de Investigación Clínica* 53: 240-253.

Eyzaguirre, D. A. 1984. Efecto de la administración de carazolol subcutáneo en bovinos sobre el destare por transporte. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile. Chile. pp 10-25

Farm Animal Welfare Advisory Council. 2007. Best Practice for the Welfare of Animals during transport. The Department of Agricultural and Food. Dublin, Irlanda. 24 p.

Fisher, A. D., I. G. Colditz, C. Lee, and D. M. Ferguson. 2009. The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal Veterinary Behavior* 4: 157-162.

Friedrich, O. N. 2012. Bienestar Animal. *Información Veterinaria (CMVPC)*, Córdoba. 170: 41-44.

Friend, T. H., G. R. Dellomeier, and E. E. Gbur. 1985. Comparison of four methods of calf confinement. *Physiology. Journal of Animal Science*. 60: 1095–1101.

Gallo, C., S. Pérez V., C. Sanhueza V., y J. Gasic Y. 2000. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. *Archivos de Medicina Veterinaria* 32(2): 157-170.

Gallo, C., y N. Tadich. 2005. Transporte terrestre de bovinos: efectos sobre el bienestar animal y calidad de la carne. *Agro-Ciencia* 21(2): 37-49.

Ganong, F. W. 2005. Funciones del sistema nervioso. *In: Fisiología Médica* (Ed.) McGraw-Hill. México. pp. 121-253.

- Gibson, S. W., B. O. Hughes, S. Harvey, and P. Dun. 1986. Plasma concentrations of corticosterone and thyroid hormones in laying fowl from different housing systems. *British Poultry Science* 27: 621–628.
- Grandin, T. 1997. Evaluation of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science* 75: 249-257.
- Grandin, T., 2000. Introduction: Management and economic factors of handling and transport *In* *Livestock Handling and Transport* 2^{da} edition. Grandin T. (ed). CABI International. New York. pp: 1-14.
- Knowles, T. G., P. D. Warriss, S. N Brown, J. E. Edwards, P. E. Watkins, and A. J. Phillips. 1997. Effect on calves less than one month old of feeding or not feeding them during road transport of up to 24 hours. *Veterinary Record* 140: 116-124.
- Knowles, T. G., and P. D. Warriss. 2000. Stress physiology of animals during transport *In* *Livestock Handling and Transport* 2^{da} edition. Grandin T. (ed). CABI International. New York. pp: 385-407.
- Liotta, L., C. Nanni L., B. Chiofalo, L. Ravarotto, and V. Chiofalo. 2007. Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Italian Journal of Animal Science* 6: 375-384.
- María L., G. 2005. Transporte de ganado bovino, bienestar animal y calidad de la carne. *In*: *El Camino de la Trazabilidad* N° 52. Proyecto Europeo CATRA. Grupo de Bienestar Animal y Calidad. Universidad de Zaragoza. España. pp: 7.
- Meenagh, A. S., J. D. G. McEvoy, and C. Elliott T. 2002. Determination of carazolol residues in porcine tissue by radioreceptor assay. *Analytica Chimica Acta* 462: 149–156.
- Moberg, G. P. 2000. Biological response to stress *In*: *The Biology of Animal Stress Basic Principles and Implications for Animal Welfare*. Moberg, G. P. and Mench J. A. (eds). CAB International, New York. Pp: 1-21.

- Montané, G., J. 2002. Valoración del estrés de captura, transporte y manejo del corzo (*Capreolus capreolus*) Efecto de la acepromacina y de la cautividad. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 209 p.
- Noguera R., R., R. Velásquez, A. Hoyos, S. L. Posadas, and E. Pérez. 2012. Effect of transport on live weight, carcass yield and some aspects of meat quality in Holstein bulls. Livestock Research Rural Development. www.lrrd.org/lrrd24/5/nogu24081.htm Consultada el 2 de septiembre de 2013.
- Odore, R., P. Badino, G. Re, R. Barbero, B. Cuniberti, A. D'Angelo, C. Girardi, E. Fraccaro, and M. Tarantola. 2011. Effects of housing and short-term transportation on hormone and lymphocyte receptor concentrations in beef cattle. Research in Veterinary Science 90: 341-345.
- Palomo G., I., A. Ferreira V., C. Sepulveda C., M. Rossemblatt S., y U. Vergara C. 2002. Fundamentos de Inmunología Básica y Clínica. Editorial Universidad de Talca. Chile. 808 p.
- Panretto, B. A., and M. R. Vickery, 1972. Distribution of cortisol and its rate of turnover in normal and cold stressed sheep. Journal of Endocrinology 55: 519–531.
- Petriz, C., Y. 2005. Determinación del contenido mineral en suelo, forraje, agua y plasma sanguíneo de bovinos doble propósito en el municipio de Benemérito de las Américas, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. México. 75 p.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Clearbook, British Columbia, Canada. pp: 45-116.
- Raiman, B. E., y E. V. Cornejo. 2007. Defectos de la oxidación de ácidos grasos como causa de hipoglucemia no cetósica en el niño. Revista Chilena de Nutrición 0717-7518.

- Romero, M., y J. Sánchez. 2012. Bienestar animal durante el transporte y su relación con la calidad de la carne bovina. *Revista MVZ Córdoba* 17: 2936-2944.
- Romero P., H. M., F. L. Uribe-Velásquez, y V. J. Sánchez. 2010. El transporte terrestre de bovinos y sus implicaciones en el bienestar animal: revisión. *Biosalud* 9 (10):67-82.
- Romero P., H. M., F. L. Uribe-Velásquez, y V. J. Sánchez. 2011. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud* 10(1): 71-87.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.) 2007. Población humana por estado, municipio y número de rastros *In*: Resumen del Directorio Nacional de Centros de Sacrificio de Especies Pecuarias de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.cmp.org/apoyos/DNCSEP.pdf>. Consultado el 7 de julio de 2014.
- Selye, H. 1950. Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal* 1384-1392.
- Siequel, P. B., and W. B. Gross. 2000. General principles of stress and well-being *In* *Livestock Handling and Transport* 2nd edición. Grandin T. (ed). CAB International. New York. pp: 27-41.
- Tadich, N., C. Gallo, y M. Alvarado. 2000. Efectos de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 32(2): 171-183.
- Tadich, N., C. Gallo, R. Echeverría, and G. Van Schaik. 2003. Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 35: 171-185.

- Tarrant, V. and T. Grandin. 2000. Cattle Transport. *In* Livestock Handling and Transport 2nd edition. Grandin T. (ed). CAB International. New York. pp: 151-173.
- Villarroel, M., G. A. María, I. Sierra, C. Sañudo, S. García-Belenguer, and G. Gebresenbet. 2001. Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may compromise the animal's welfare. *Veterinary Records* 149: 173-76.
- Werner, M., C. Hepp, C. Soto, P. Gallardo, H. Bustamante, and C. Gallo. 2013. Effects of a long distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in Southern Chile. *Livestock Science* 152: 42-46
- William-Medway, D. V. M., E. J. Prier, y J. S. Wilkinson. 1990. *Patología Clínica Veterinaria*. Editorial UTEHA. México. 532 p.
- Wittwer M., F., E. M. Moreira, K. W. Rudolph, y H. L. Böhmwald. 1995. Efectos de la administración de adrenalina en las concentraciones sanguíneas y urinarias de minerales de ovejas. *Veterinaria México* 26(3): 209-213.
- Yahav, S. 1998. Physiological responses of chickens and turkeys to hot climate. *In*: *Proceedings 10th European Poultry Conference*. Vol. 1. Jerusalem. pp: 84 -91.

5 INDICADORES FISIOLÓGICOS, PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS EN RESPUESTA AL MANEJO Y TRANSPORTE DE BOVINOS

5.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del estrés producido durante el transporte y las prácticas de manejo en variables fisiológicas, comportamiento productivo y económico de bovinos en etapa de finalización. Se utilizaron 120 toretes (*B. taurus* x *B. indicus*, 374±51 kg de peso vivo) movilizados de Veracruz (500 km, 15 h) y Chiapas (851 km, 20 h) al estado de México. Los tratamientos a probar fueron realizar el manejo de recepción al embarque (ME), al desembarque (MD) y ambos con la aplicación de un β -bloqueador (ME β y MD β). Se tomaron muestras de sangre por venopunción coccígea al embarque, desembarque y a los 10 d de su llegada al corral de finalización. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM y comparación de medias de Tukey del programa SAS. Durante el transporte no se encontraron diferencias para los indicadores cortisol, β -hidroxibutirato, proteínas totales, sodio y potasio debidas al tratamiento o al origen de los animales ($P>0.05$). Se encontró que para ácidos grasos libres y glucosa fue importante la interacción tratamiento*origen ($P<0.05$). En promedio, la pérdida de peso fue de 11.23%, los animales ME β y MD perdieron 2% menos peso que los otros tratamientos ($P<0.05$), equivalente a una reducción en el costo económico de la merma de \$ 300.00 por animal. Después del transporte (10 d), ninguno de los indicadores de estrés fue importante para el efecto del tratamiento ($P>0.05$). Bajo las condiciones de este estudio, el transporte fue un proceso estresante, los bovinos presentaron cambios fisiológicos dependiendo del origen y de la raza; productivamente los efectos del estrés se vieron reflejados en la pérdida de peso después de la movilización con la consecuente pérdida económica; a los 10 d en el corral de finalización no se pudo detectar el efecto del estrés sobre indicadores fisiológicos, productivos o económicos.

Palabras Clave: estrés en bovinos, β -bloqueador, evaluación.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Silvia Larios Cueto
Director de Tesis: Gilberto Aranda Osorio, Ph. D.

PHYSIOLOGICAL, PRODUCTIVE AND ECONOMIC INDICATORS IN RESPONSE TO CATTLE HANDLING AND TRANSPORT

5.2 Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of stress produced during transport and handling practices on physiological variables, productive and economic performance of feedlot cattle. One hundred crossbred young bulls (*B. taurus* x *B. indicus*, 374±51 kg) mobilized from Veracruz (500 km, 15 h) and Chiapas (851 km, 20 h) to Mexico state. Treatments evaluated were: reception management at loading (HL) or at unloading (HU). Both treatments were also evaluated with application of a β -blocker (HL β and HU β). Blood samples were taken from coccygeal vein at loading, unloading and 10 d after arrival at the feedlot. Data were analyzed using GLM procedure and means were compared using Tukey test. During transport there were not differences ($P>0.05$) on cortisol, β -hydroxybutyrate, total proteins, sodium and potassium due to treatment or origin of animals. It was found that free fatty acids and glucose were effected by treatment*state interaction ($P<0.05$). In average, weight loss was 11.23%, the HL β and HU animals lost 2% less weight than the other treatments ($P<0.05$). It is equivalent to a reduction in the economic cost of the weight loss of \$ 300.00 per animal. After transport (10 d), none of the stress indicators were important for the treatment effect ($P> 0.05$). Under the conditions of this study the transport was a stressful process, where the cattle showed physiological changes according to origin and breed. Stress effects are reflected on weight loss of the animal after mobilization with the consequent economic loss. At 10 d in the feedlot, it was not possible to show the effect of stress on physiological, productive and economic indicators.

Key words: cattle stress, β -blocker, evaluation.

5.3 Introducción

El transporte de bovinos es un proceso durante el cual el animal es sometido a múltiples factores de estrés que repercuten en la salud animal, en su comportamiento productivo y en la rentabilidad de los sistemas de finalización de bovinos para carne. En las investigaciones realizadas sobre transporte desde el corral de finalización hasta la planta de sacrificio, se ha determinado que aumentan los niveles de cortisol en sangre de 5.2 a 14.3 ng·ml⁻¹ (Odore *et al.*, 2011) y pérdidas de peso entre 7.9 y 10.5% en respuesta al estrés después del transporte (Gallo *et al.*, 2000; Broom, 2005; Liotta *et al.*, 2007;).

El estudio de los efectos del transporte desde el sistema de crianza hasta el corral de finalización no han sido evaluados con detalle. En Chile, Werner *et al.* (2013) encontraron que el transporte de becerros destetados por más de 48 h, repercute en los niveles de cortisol, desde 10 ng·ml⁻¹ previo embarque hasta 15 ng·ml⁻¹ al desembarque; además, los porcentajes de merma estimados alcanzaron hasta un 13%.

Una manera de cuantificar los efectos del estrés en el comportamiento de los animales, es por medio de la evaluación de indicadores fisiológicos como el cortisol, ácidos grasos libres, β -hidroxibutirato, glucosa, urea, volumen celular acumulado o hematocrito, entre otros (Amtmann *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2011). Sin embargo, es importante conocer los efectos directos en la producción, es decir, la pérdida de peso, su tiempo de recuperación y sus implicaciones económicas en el sistema de producción.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del estrés producido durante el transporte y las prácticas de manejo antes o después de éste, en relación con indicadores fisiológicos y el comportamiento productivo de bovinos al inicio de la etapa de finalización, así como sus implicaciones económicas en el sistema de producción.

5.4 Materiales y Métodos

La fase de campo de este estudio se llevó a cabo durante los meses de julio de 2013 a julio de 2014, con toretes provenientes de Acayucan, Veracruz (500 km y 15 h; SCT, 2013) o de Pichucalco, Chiapas (851 km y 20 h; SCT, 2013), los cuales fueron movilizados a corrales de finalización ubicados en Texcoco, Estado de México.

5.4.1 Tratamientos

Se evaluó el efecto del momento de la aplicación del manejo de recepción antes o después del transporte más la aplicación o no de un β -bloqueador previo al embarque por lo que se plantearon cuatro tratamientos: 1) manejo de recepción al desembarque de los animales en el corral de finalización (MD), 2) manejo de recepción al embarque en el lugar de origen (ME), manejo de recepción al desembarque pero con la aplicación de un β -bloqueador (MD β), y manejo de recepción al embarque más la aplicación del β -bloqueador (ME β).

Se evaluaron tres viajes por lugar de procedencia y a cada tratamiento se le asignaron aleatoriamente cinco toretes, por lo que se utilizaron 120 toretes de media ceba (provenientes de sistemas de recría en pastoreo con un peso promedio de 374 ± 51 kg), de craza comercial (*Bos taurus* x *Bos indicus*).

Las variables a analizar fueron los cambios ocurridos del embarque al desembarque y del desembarque a los 10 d después de su llegada al corral de finalización, para peso, la concentración de glucosa (GLU) y β -hidroxibutirato (β HB) en sangre; y ácidos grasos libres (AGL), proteínas totales (PTS), cortisol (COR) y la concentración de los electrolitos sodio y potasio en suero sanguíneo.

5.4.2 Fase de campo

Durante el pre-embarque se pesaron los toretes de manera individual en una báscula ganadera con capacidad de 5,000 kg, al mismo tiempo se identificaron y se asignaron a los tratamientos. El manejo de recepción consistió en desparasitar, vacunar, vitaminar e implantar el ganado con las

dosis y productos comerciales que se muestran en el Cuadro 3. El β -bloqueador utilizado en los animales de los tratamientos ME β y MD β fue Carazolol (Simpanorm®), el cual se aplicó por vía intramuscular en una dosis de 0.02 ml·kg⁻¹ de PV, 30 minutos antes de subir a la jaula ganadera.

Cuadro 3. Productos usados en el manejo de recepción del ganado.

Actividad	Producto	Ingrediente Activo	Dosificación
Vacuna	PROTECTOR 5 (Viral)	^a IBR, ^b DVB, ^c BRSV, ^d PI ₃	2 ml·animal ⁻¹
	BLACKLEGOL (Bacterina)	**Clostridium chauvoei, **Clostridium septicum, **Pasteurella multocida A y D **Pasteurella haemolytica	5 ml·animal ⁻¹
Desparasitante	Ivomec F	Ivermectina	1 ml·50kg ⁻¹ PV
Vitamina	Sint ADE	Vitamina A, D y E	5 ml·animal ⁻¹
Implante	Revalor	Acetato de trembolona 140 mg 17 β estradiol 20 mg	
Identificación	Arete de plástico		
β -bloqueador	Simpanorm	hidrocloruro de carazolol	0.02 ml·kg ⁻¹ PV

^aIBR = rinotraqueítis infecciosa bovina. ^bDVB = diarrea viral bovina tipos I y II. ^cBRSV = virus sincitial respiratorio bovino ^dPI₃ = parainfluenza. *virus vivo modificado. **células completas inactivadas y toxoides de bacterias.

El embarque de los animales se realizó por la tarde (4:00-7:00 pm) en todos los viajes evaluados con un ayuno de al menos 8 horas. El transporte se realizó en tracto-camiones provistos de jaulas ganaderas de 48 ft (14.2 m) con seis divisiones y una capacidad de carga de 25,000 kg.

A la llegada a la región de Texcoco, Estado de México, los animales fueron pasados a camiones para su traslado a los corrales de finalización, en donde se les aplicó el manejo de recepción a los animales de los tratamientos MD y MD β . Los animales muestreados en cada viaje permanecieron juntos en el mismo corral, iniciando su adaptación de manera comercial, recibieron agua *ad libitum*, de 1 a 2 días forraje henificado exclusivamente (paja de cebada) y posteriormente alimento concentrado incrementado gradualmente (PC= 14 % y EM= 2.8 MCal).

5.4.3 Toma de información y muestras de sangre

Para la obtención de información sobre las variables anteriormente descritas, se registró el peso de los toretes, la GLU y β HB en tres ocasiones: al embarque, al desembarque y a los 10 d de llegada al corral de finalización. Al mismo tiempo, se obtuvieron muestras de sangre de la vena coccígea de los toretes con tubos de vacío sin anticoagulante (20 ml por animal); se dejaron coagular a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min, los sueros fueron separados de la coagulación, para evitar hemólisis, se depositaron en tubos de almacenamiento y se transportaron en hieleras (temperatura no mayor de 4°C) para la realización de los diferentes análisis.

De manera adicional, se clasificó el grupo racial de los animales de acuerdo a sus características fenotípicas externas en cebú, europeo o cruza y la presencia de cuernos; y se registraron las horas de recorrido, temperatura ambiental dentro de la jaula (se realizaron 8 mediciones durante el recorrido con un termómetro ambiental digital Citizen) y la división de la jaula donde viajaron los animales durante el transporte.

5.4.4 Fase de laboratorio

Las determinaciones de cortisol (COR) y AGL se realizaron en los laboratorios de Reproducción y Patología Clínica de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, utilizando el suero sanguíneo de los animales. Para COR se utilizó la técnica de ELISA (inmunoabsorbencia de unión enzimática) a partir de anticuerpo de conejo y como antígeno peroxidasa de rábano picante, las lecturas se realizaron a una longitud de onda de 410 μ m. Los AGL se determinaron por el método enzimático colorimétrico con acil-CoA-oxidasa (ACOD) utilizando el kit FA115 de Randox®.

La determinación de los electrolitos (sodio y potasio) se realizó en el laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Universidad Autónoma Chapingo, utilizando espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979). Las PTS se determinaron por medio de la técnica de refractometría,

con un refractómetro ATAGO® utilizando como blanco agua desionizada (Briend-Marchal *et al.*, 2005).

El análisis de GLU y β HB se realizaron en campo con un glucómetro (Optium Xceed de laboratorios Abbott) el cual, utiliza tiras reactivas específicas para cada determinación. Las tiras para β HB contienen la enzima deshidrogenasa hidroxibutirato que se oxida a acetoacetato, con la reducción simultánea de NAD^+ a NADH, de modo que la corriente generada es directamente proporcional a la concentración de β HB. El sistema es válido para las concentraciones de 0 a 6 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Rodríguez-Merchán *et al.*, 2011).

5.4.5 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó por periodo: durante el transporte (P1) que comprendió el cambio dado por la medición de las variables al desembarque con respecto a su medición en el embarque y posterior al transporte (P2), que comprendió del desembarque a los 10 d de estancia en el corral. Se utilizó el procedimiento GLM para el análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias (SAS, 2014).

En el P1, el modelo estadístico para las variables de cambio de peso y β HB incluyó los efectos principales de tratamiento, origen, división de la jaula, raza del animal, presencia de cuernos, y como covariables las horas de recorrido y la medición de la variable a analizar al embarque; para los iones Na^+ , K^+ , se adicionó la interacción de tratamiento*origen; en la variable AGL se adicionó la interacción tratamiento*raza y para las variables de GLU, COR, y PTS se tomaron en cuenta todas las interacciones de los efectos principales, además de agregar como covariable la temperatura interna de la jaula.

Para P2, se incluyó en el modelo de cambio de peso y β HB los mismos efectos principales y covariables que en P1, más la interacción entre tratamiento*raza, origen*raza, origen* división de la jaula y raza*presencia de cuernos; para Na^+ , K^+ y PTS se incluyeron los mismos efectos principales y covariables que en P1 más la interacción de origen*división de la jaula y

como covariable la temperatura interna de la jaula y en COR solo se adicionaron las interacciones tratamiento*raza y tratamiento*división; para GLU se aplicó un modelo similar al de P1, sin la interacción de origen*presencia de cuernos.

5.4.6 Análisis económico

A partir del cambio de peso (CP) en los diferentes tratamientos se determinó el efecto del estrés de los animales durante el viaje sobre la rentabilidad del sistema determinando las variables siguientes:

Costo/animal en el lugar de origen = peso vivo de origen* precio/kg de ganado.

Costo/animales a la llegada = peso vivo llegada (precio/kg de ganado + gastos de transporte/kg).

Costo de la merma/animal = peso vivo de origen–peso vivo de llegada (precio/kg de ganado + gastos de transporte/kg).

5.5 Resultados

Estadísticos descriptivos en los momentos de muestreo

Durante los muestreos se observó que el peso tiende a disminuir en el desembarque, independientemente del tratamiento; sin embargo, las variables de PTS, Na, COR, AGL y GLU se incrementaron. Para K y β HB, la tendencia no fue clara (Cuadro 4).

En los tres momentos de muestreo, el COR y β HB se encontraron dentro del rango biológico normal de 0-20 ng·ml⁻¹ y 0.02-0.46 mmol·L⁻¹, respectivamente (Knowles y Warriss, 2000 y Romero *et al.*, 2011), independientemente del comportamiento observado (Cuadro 4), por lo que estos valores se deben de analizar en conjunto con otros indicadores de estrés.

Durante el transporte los indicadores de estrés importantes fueron el peso, AGL, GLU, ya que se detectaron diferencias por efecto de los tratamientos y del origen de los animales ($P < 0.05$).

Comportamiento de los indicadores fisiológicos y productivos durante el transporte (P1)

En general, en este estudio se observó que durante el transporte los bovinos perdieron alrededor de un 11.23% de su peso vivo; asimismo, también se encontraron diferencias estadísticas debidas a la aplicación del tratamiento ($P < 0.05$), por lo que en los animales de ME β y MD se estimó una pérdida de peso hasta de un 2% menor que la de los otros tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 4. Indicadores de estrés durante el transporte de toretes por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador en los diferentes tiempos de muestreo (medias $\pm$ E.E.).

Tiempo de Muestreo	¹ MD	² ME	³ MD β	⁴ ME β
<i>Peso (kg)</i>				
Embarque	372.1 $\pm$ 8.51	381.2 $\pm$ 7.23	371.9 $\pm$ 7.57	372.8 $\pm$ 8.33
Desembarque	333.3 $\pm$ 8.33	333.7 $\pm$ 7.57	327.5 $\pm$ 8.74	335.2 $\pm$ 8.30
*10 d en corral	369.9 $\pm$ 9.52	366.8 $\pm$ 8.30	366.9 $\pm$ 9.94	368.4 $\pm$ 10.43
<i>Proteínas Totales (g·dL⁻¹)</i>				
Embarque	8.32 $\pm$ 0.23	7.89 $\pm$ 0.26	7.89 $\pm$ 0.28	8.04 $\pm$ 0.19
Desembarque	9.07 $\pm$ 0.25	8.71 $\pm$ 0.19	8.93 $\pm$ 0.15	8.61 $\pm$ 0.21
*10 d en corral	8.24 $\pm$ 0.16	8.05 $\pm$ 0.16	7.79 $\pm$ 0.12	7.47 $\pm$ 0.19
<i>^aNa (mg·L⁻¹)</i>				
Embarque	4349 $\pm$ 365	4330 $\pm$ 277	4213 $\pm$ 348	4773 $\pm$ 305
Desembarque	4707 $\pm$ 438	4820 $\pm$ 390	4263 $\pm$ 333	4848 $\pm$ 439
*10 d en corral	4697 $\pm$ 316	4919 $\pm$ 319	5441 $\pm$ 449	5228 $\pm$ 609
<i>^bK (mg·L⁻¹)</i>				
Embarque	132 $\pm$ 6.52	157 $\pm$ 5.29	144 $\pm$ 5.45	152 $\pm$ 4.15
Desembarque	143 $\pm$ 3.99	144 $\pm$ 6.04	144 $\pm$ 9.35	151 $\pm$ 5.86
*10 d en corral	159 $\pm$ 7.80	159 $\pm$ 5.02	161 $\pm$ 7.62	167 $\pm$ 7.48
<i>Cortisol (pg·dL⁻¹)</i>				
Embarque	3.31 $\pm$ 0.35	3.53 $\pm$ 0.44	3.23 $\pm$ 0.43	3.21 $\pm$ 0.44
Desembarque	3.51 $\pm$ 0.41	4.16 $\pm$ 0.48	3.62 $\pm$ 0.58	3.87 $\pm$ 0.58
*10 d en corral	2.44 $\pm$ 0.42	2.81 $\pm$ 0.38	1.95 $\pm$ 0.29	2.59 $\pm$ 0.37
<i>^cAGL (mmol·L⁻¹)</i>				
Embarque	0.50 $\pm$ 0.06	0.68 $\pm$ 0.08	0.56 $\pm$ 0.05	0.60 $\pm$ 0.07
Desembarque	0.76 $\pm$ 0.04	0.71 $\pm$ 0.04	0.62 $\pm$ 0.05	0.72 $\pm$ 0.04
*10 d en corral	0.23 $\pm$ 0.03	0.24 $\pm$ 0.03	0.20 $\pm$ 0.03	0.25 $\pm$ 0.04
<i>Glucosa (mg·dL⁻¹)</i>				
Embarque	76.06 $\pm$ 2.20	75.33 $\pm$ 2.62	88.69 $\pm$ 6.24	71.75 $\pm$ 4.55
Desembarque	85.47 $\pm$ 4.09	93.83 $\pm$ 3.87	95.92 $\pm$ 3.76	89.50 $\pm$ 2.80
*10 d en corral	68.94 $\pm$ 2.09	68.82 $\pm$ 2.31	69.32 $\pm$ 2.91	69.41 $\pm$ 2.01
<i>^dβHB (mmol·L⁻¹)</i>				
Embarque	0.35 $\pm$ 0.03	0.44 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.06
Desembarque	0.38 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.04	0.36 $\pm$ 0.05	0.42 $\pm$ 0.05
*10 d en corral	0.26 $\pm$ 0.03	0.26 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.05	0.29 $\pm$ 0.06

Tratamientos: ¹MD = manejo de recepción al desembarque; ²ME = manejo de recepción al embarque, ³MD β = manejo de recepción al desembarque más la aplicación del β -bloqueador; ⁴ME β = manejo de recepción al embarque más la aplicación del β -bloqueador

^aNa = sodio; ^bK = potasio; ^cAGL = ácidos grasos libres; ^d β hB = β -hidroxibutirato

*10 d en corral posteriores al transporte

Las variables de AGL y GLU mostraron diferencias con la aplicación del tratamiento (Cuadro 5); sin embargo, también fue importante ($P<0.05$) la interacción tratamiento*origen, por lo que en los animales de ME β provenientes de Pichucalco, Chiapas se estimó una disminución en la concentración de GLU de 34.67 mg·dL⁻¹ mientras que en Acayucan, Veracruz se observó un incremento de 54.85 mg·dL⁻¹(Apéndice 1); el incremento en las concentraciones de AGL se comportó de manera inversa (Veracruz=0.05 Chiapas=0.26 mmol/l) (Apéndice 2)

Cuadro 5. Cambio en los indicadores de estrés durante el transporte de toretes por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador (media $\pm$ E.E.).

Indicador de estrés (Δx)	Tratamiento			
	¹ MD	² ME	³ MD β	⁴ ME β
Peso (kg)	-38.72 $\pm$ 1.86 ab	-47.47 $\pm$ 2.97 b	-44.46 $\pm$ 3.76 ab	-37.62 $\pm$ 2.54 a
Cortisol (pg·dL ⁻¹)	0.11 $\pm$ 0.36	0.75 $\pm$ 0.53	0.28 $\pm$ 0.63	1.01 $\pm$ 0.56
Glucosa (mg·dL ⁻¹)	8.82 $\pm$ 4.29 b	15.07 $\pm$ 5.2 ab	7.23 $\pm$ 6.75 b	20.12 $\pm$ 5.86 a
^a β HB (mmol·L ⁻¹)	-0.02 $\pm$ 0.05	-0.03 $\pm$ 0.08	-0.01 $\pm$ 0.06	-0.01 $\pm$ 0.06
^b AGL (mmol·L ⁻¹)	0.25 $\pm$ 0.6 a	0.04 $\pm$ 0.8 b	0.05 $\pm$ 0.7 b	0.13 $\pm$ 0.70 ab
^c PTS (g·dL ⁻¹)	0.67 $\pm$ 0.20	0.71 $\pm$ 0.30	0.82 $\pm$ 0.28	0.64 $\pm$ 0.18
^d K (mg·L ⁻¹)	12.23 $\pm$ 7.8	-12.17 $\pm$ 9.14	-3.04 $\pm$ 11.8	-5.15 $\pm$ 6.77
^e Na (mg·L ⁻¹)	556 $\pm$ 680	496 $\pm$ 487	-32 $\pm$ 457	186 $\pm$ 457

^a β HB = β -hidroxibutirato ^bAGL = ácidos grasos libres; ^cPTS = proteínas totales; ^dK = potasio; ^eNa = sodio. Tratamientos: ¹MD = manejo de recepción al desembarque; ²ME = manejo de recepción al embarque, ³MD β = manejo de recepción al desembarque más la aplicación del β -bloqueador; ⁴ME β = manejo de recepción al embarque más la aplicación del β -bloqueador

Medias con diferente literal por hilera son diferentes $P<0.05$

No se encontraron diferencias debidas al tratamiento para β HB, PTS y Na y K ($P>0.05$); sin embargo, la concentración de K sérico fue afectada por la interacción entre el tratamiento y el origen ($P=0.03$), por lo que los animales del

tratamiento ME β en Acayucan Veracruz, presentaron un incremento mayor en comparación con los otros tratamientos (MD=5.33, ME=5.33, MD β =12.63 y ME β =21.64 mg·L⁻¹), por el contrario en Pichucalco, Chiapas, (MD=-17.51, ME=-14.53, MD β =-38.57 y ME β =-38.20 mg·L⁻¹) se observó una disminución en la concentración de potasio sérico, en especial para los tratamientos MD β y ME β .

El nivel de cortisol se incrementó hasta en 1 pg·dL⁻¹ durante el transporte; sin embargo, en ninguno de los tratamientos disminuyó este efecto (P>0.05). Se encontró que animales con características fenotípicas cebuinas incrementaron su concentración 4 veces más (P<0.05) en comparación con los animales de fenotipo europeo (Apéndice 3).

El origen de los animales fue uno de los factores que determinó la pérdida de peso durante la movilización (P=0.009), debido a ello los animales de Acayucan, Veracruz perdieron menos peso que los animales de Pichucalco, Chiapas. Los animales procedentes de Chiapas incrementaron su concentración de cortisol 2.5 veces en comparación con los animales provenientes de Veracruz (P=0.03), lo que podría explicar el 1.6 % más en la pérdida de peso en los animales provenientes de Chiapas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cambio en los indicadores de estrés durante el transporte (P1) por efecto del origen de los toretes (media $\pm$ E.E.).

Indicador de estrés (Δx)	Origen	
	Acayucan, Veracruz	Pichucalco, Chiapas
Peso (kg)	-39.20 $\pm$ 1.83 a	-45.07 $\pm$ 2.11 b
Cortisol (pg·dL ⁻¹)	0.28 $\pm$ 0.32 a	0.81 $\pm$ 0.41 b
Glucosa (mg·dL ⁻¹)	25.60 $\pm$ 3.25 a	-2.96 $\pm$ 3.46 b
^a β HB (mmol·L ⁻¹)	0.05 $\pm$ 0.06	-0.03 $\pm$ 0.04
^b AGL (mmol·L ⁻¹)	0.12 $\pm$ 0.05	0.11 $\pm$ 0.05
^c PTS (g·dL ⁻¹)	0.71 $\pm$ 0.15	0.69 $\pm$ 0.20
^e K (mg·L ⁻¹)	586 $\pm$ 441	97 $\pm$ 333
^d Na (mg·L ⁻¹)	-11.89 $\pm$ 6.75	-8.06 $\pm$ 6.10

^a β hB = β -hidroxibutirato ^bAGL = ácidos grasos libres; ^cPTS = proteínas totales; ^dK = potasio; ^eNa = sodio. Medias con diferente literal por hilera son diferentes P<0.05

En las variables de β HB, PTS y Na y K, el efecto del origen no fue importante ($P>0.05$), por lo que se asume que estas variables se comportaron de forma similar independientemente del lugar de procedencia de los animales.

Comportamiento de los indicadores fisiológicos y productivos posterior al transporte (P2)

En el Cuadro 7 se observa que durante los primeros diez días en corral, los animales recuperaron el peso perdido durante el transporte de manera similar, independientemente del tratamiento aplicado ($P>0.05$), con una ganancia diaria de peso promedio de $3.5 \text{ kg}\cdot\text{animal}\cdot\text{d}^{-1}$. En otros indicadores fisiológicos como COR, GLU, β HB, AGL, PTS y Na su concentración tendió a disminuir en comparación con su aumento durante el transporte; sin embargo, ninguno de los tratamientos influyó en este comportamiento ($P>0.05$).

Cuadro 7. Cambio en los indicadores de estrés posterior al transporte (10 d) por efecto del manejo y el uso de β -bloqueador (media $\pm$ E.E.).

Indicador de estrés (Δx)	Tratamiento			
	¹ MD	² ME	³ MD β	⁴ ME β
Peso (kg)	35.51 $\pm$ 6.38	33.79 $\pm$ 15.63	39.42 $\pm$ 25.86	33.13 $\pm$ 19.63
Cortisol (pg·dL ⁻¹)	-1.55 $\pm$ 0.44	-1.78 $\pm$ 0.43	-1.73 $\pm$ 0.59	-1.71 $\pm$ 0.54
Glucosa (mg·dL ⁻¹)	-15.81 $\pm$ 4.52	-20.88 $\pm$ 4.67	-26.40 $\pm$ 3.76	-21.93 $\pm$ 2.96
^a β HB (mmol·L ⁻¹)	-0.11 $\pm$ 0.05	-0.12 $\pm$ 0.05	-0.01 $\pm$ 0.07	-0.13 $\pm$ 0.07
^b AGL (mmol·L ⁻¹)	-0.54 $\pm$ 0.04	-0.47 $\pm$ 0.04	-0.45 $\pm$ 0.06	-0.50 $\pm$ 0.05
^c PTS (g·dL ⁻¹)	-0.71 $\pm$ 0.23	-0.61 $\pm$ 0.25	-1.13 $\pm$ 0.23	-1.18 $\pm$ 0.24
^d K (mg·L ⁻¹)	17.21 $\pm$ 7.76	18.09 $\pm$ 6.98	21.34 $\pm$ 11.88	14.51 $\pm$ 9.51
^e Na (mg·L ⁻¹)	-106 $\pm$ 410	-4.24 $\pm$ 515	-1093 $\pm$ 619	651 $\pm$ 836

^a β hB = β -hidroxibutirato ^bAGL = ácidos grasos libres; ^cPTS = proteínas totales; ^dK = potasio; ^eNa = sodio. Tratamientos: ¹MD = manejo de recepción al desembarque; ²ME = manejo de recepción al embarque, ³MD β = manejo de recepción al desembarque más la aplicación del β -bloqueador;

⁴ME β = manejo de recepción al embarque más la aplicación del β -bloqueador

Medias con diferente literal por hilera son diferentes $P<0.05$

El origen afectó la concentración de COR y PTS durante los primeros días en corral ($P<0.05$), ya que los animales de Pichucalco, Chiapas disminuyeron el COR en más de $1 \text{ pg}\cdot\text{dL}^{-1}$ en comparación con los animales de Acayucan (Cuadro 8). Sin embargo, para los otros indicadores no se encontraron diferencias después del transporte por efecto del origen ($P>0.05$).

Cuadro 8. Cambio en los indicadores de estrés posterior al transporte (10 d) por efecto del origen de los toretes (media $\pm$ E.E.).

Indicador de estrés	Origen	
	Acayucan, Veracruz	Pichucalco, Chiapas
Peso (kg)	36.64 $\pm$ 2.78	34.17 $\pm$ 3.98
Cortisol ($\text{pg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	-1.29 $\pm$ 0.23 ^a	-2.17 $\pm$ 0.44 ^b
Glucosa ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	-24.75 $\pm$ 3.03	18.77 $\pm$ 3.03
^a β HB ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.11 $\pm$ 0.05	-0.09 $\pm$ 0.04
^b AGL ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.50 $\pm$ 0.04	-0.48 $\pm$ 0.03
^c PTS ($\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	-1.21 $\pm$ 0.17 ^a	-0.53 $\pm$ 0.17 ^b
^e K ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	16.63 $\pm$ 6.81	16.19 $\pm$ 5.51
^d Na ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	601.17 $\pm$ 467.2	54.42 $\pm$ 314.4

^a β hB = β -hidroxibutirato ^bAGL = ácidos grasos libres; ^cPTS = proteínas totales; ^dK = potasio; ^eNa = sodio. Medias con diferente literal por hilera son diferentes $P<0.05$

Comportamiento económico en respuesta al manejo y transporte

La principal implicación económica de los efectos del estrés producido durante el transporte es el costo económico de la pérdida de peso, que en este estudio representa más de \$ 1800.00 por animal. En el Cuadro 9 se muestra que la realización del manejo de recepción más la aplicación del β -bloqueador redujo el costo de la pérdida de peso en más \$ 300.00 por animal, lo que fue similar a realizar el manejo de recepción a la llegada al corral. Al tomar en cuenta el lugar de procedencia de los animales, el costo económico de la merma es menor para aquellos provenientes de Pichucalco, Chiapas.

No se pudo demostrar el beneficio de los tratamientos o del origen sobre el costo de la recuperación de la merma, debido a la alta variabilidad en las unidades de finalización; sin embargo, es importante mencionar que a los 10 días se recuperó el 85% del peso perdido, por lo que es probable que a los 12 d se recupere el 100 % del peso perdido.

Cuadro 9. Implicaciones económicas por concepto de la pérdida de peso (Merma) durante el transporte

Concepto	Tratamiento				Lugar de procedencia	
	MD	ME	MD β	ME β	Chiapas	Veracruz
Merma (kg)	38.7	47.5	44.5	37.6	45.1	39.2
*Precio del ganado (\$/kg)	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
Costo de la merma (\$)	1606.0	1971.3	1846.8	1560.4	1870.4	1626.8
Manejo de recepción (\$/animal)	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Dosis β -bloqueador (\$/animal)	*****	*****	24.0	24.0	24.0	24.0
Costo total (\$)	1737.0	2100.0	1975.0	1691.0	2024.0	1780.0

Tratamientos: ¹MD = manejo de recepción al desembarque; ²ME = manejo de recepción al embarque, ³MD β = manejo de recepción al desembarque más la aplicación del β -bloqueador; ⁴ME β = manejo de recepción al embarque más la aplicación del β -bloqueador *Precios corrientes en la región de Texcoco en enero de 2015.

Paridad Dólar USA: Peso mexicano= 1:15.46

5.6 Discusión

El comportamiento de los indicadores de peso, PTS, Na, COR, AGL durante los momentos de muestreo (Cuadro 4) coincide con lo descrito por Knowles y Warriss (2000) (Cuadro 2), pero no para GLU ya que esta pudo haberse encontrado ligeramente aumentada al desembarque por los procesos de glucólisis y gluconeogénesis estimulados por el estrés producido durante el transporte en asociación con el tiempo de ayuno de los animales (Montané 2002 y Cunningham, 1999), lo que concuerda con lo encontrado por Tadich *et al.*, (2003) y Echeverría (2002) en bovinos después del transporte o ayuno por 3h y 16 h.

El comportamiento no fue claro para K y β HB debido probablemente a la influencia otros efectos como la raza del animal, el origen de procedencia de los animales, la interacción tratamiento por origen ($P>0.05$) y otros efectos incluidos en el modelo.

El COR y el β HB pudieron haberse encontrado en rangos dentro de lo normal en los tres momentos de muestro (Cuadro 4), debido probablemente a que el primero es muy variable y, depende de las condiciones previas al transporte y el grado de adaptación de los animales a los estímulos estresores, para este caso, arreo, carga, descarga e incluso contacto con otros animales y personas (Kent y Ewbank 1983; Warriss *et al.* 1995); mientras que el segundo, según Tadich *et al.* (2003), no es un buen indicador de estrés agudo; sin embargo, podría serlo para estrés crónico, pero durante el transporte (primeras 24 h) los valores pueden verse disminuidos por efecto de la alimentación previa o la variabilidad animal.

La pérdida de peso durante las actividades de manejo y transporte es común, algunos autores como González, *et al.*, (2012) han documentado pérdidas en los animales de Canadá del 10% del peso vivo, en recorridos de más de 400 km, lo que es inferior a lo encontrado en este estudio en recorridos de más de 600 km. En este estudio, al considerar el efecto del tratamiento se obtuvieron pérdidas de peso del 9% en los animales a los cuales se les aplicó el manejo de recepción a la llegada al corral de finalización (después del transporte) debido a que una menor manipulación antes del embarque podría favorecer las condiciones durante la movilización, ya que se reduce el estrés y el gasto energético de los animales previo al embarque.

Se encontró que la realización del manejo de recepción antes del embarque más la aplicación de carazolol redujeron la pérdida de peso hasta en 2% ($P < 0.05$, Cuadro 5), posiblemente debido a que el carazolol ejerció su acción sobre los β -receptores adrenérgicos reduciendo el efecto del sistema nervioso simpático, a través de la acción de la epinefrina, en corazón, vasos sanguíneos y músculo liso evitando el efecto glucolítico de las catecolaminas y reduciendo la respuesta al estrés (Booth y Me Dónalo, 1988). En otra investigación, Eyzaguirre (1984) no encontró diferencias sobre la pérdida de peso al aplicar el fármaco ($35 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) en bovinos para sacrificio, pero encontró un mayor rendimiento en canal comparado con el grupo testigo (63.41 vs 60.47%).

Después del transporte, ninguno de los tratamientos favoreció la recuperación del peso ($P>0.05$), pero en general a los 10 d de la llegada al corral de finalización, los animales recuperaron el 85% del peso perdido durante el transporte (Cuadro 7), lo que fue superior al 43% estimado por Werner *et al.* (2013) en bovinos bajo condiciones de pastoreo después de 14 d de haber realizado el transporte.

Las altas ganancias de peso de los animales durante los primeros días se pueden deber a que parte del peso perdido durante el transporte era llenado intestinal; pero también, al crecimiento compensatorio debido a que el ganado provino de sistemas de cría en los cuales la alimentación es pobre (subnutrición) y al llegar al corral de alimentación con raciones balanceadas altas en proteína y energía (PC= 14 % y EM= 2.8 MCal), los animales maximizaron la eficiencia en el uso de los nutrientes (Carstens *et al.*, 1991; Molina *et al.*, 2007).

La pérdida de peso durante el transporte, pudo ser consecuencia de la privación prolongada de alimento y agua, por lo que se ha asociado con el incremento en los niveles de deshidratación, además de un aumento en la micción y defecación por efecto del estrés producido (Knowles y Warriss, 2000); sin embargo, al utilizar la concentración de PTS, como indicador de deshidratación no se encontraron diferencias ($P>0.05$) que ayuden a explicar el cambio de peso por efecto de tratamiento o del origen, pero se observó que en general, la concentración de PTS se incrementó después del transporte en $0.71 \pm 0.25 \text{ g dL}^{-1}$ (Cuadro 5), lo que fue similar a lo estimado por Werner *et al.* (2013) después de la movilización de toretes por 36 horas.

Montané (2002) y Ganong (2005) mencionan que la privación prolongada de agua y la consecuente deshidratación favorecen el incremento de Na sérico. En este estudio, después del transporte, el Na sérico se incrementó 251 ppm; sin embargo, no se encontró diferencia entre las prácticas de manejo y el uso del β -bloqueador durante el transporte o después de éste ($P>0.05$), debido posiblemente a la alta variabilidad entre animales, lo que sugiere considerar el

consumo de este mineral previo al muestreo y durante los primeros días de adaptación en el corral de finalización.

El comportamiento de la concentración de K (Cuadros 5 y 6) se debió a que las catecolaminas probablemente ejercieron un efecto bifásico en la concentración de este electrolito, ya que inicialmente provoca un incremento mediante una estimulación α -adrenérgico, seguida de una hipopotasiemia, debida a la estimulación de los receptores β_2 -adrenérgicos; esto es importante en el desarrollo de la fatiga muscular debido a que el ejercicio intenso y la necrosis muscular provocan un incremento en la concentración sérica de potasio, de igual manera niveles elevados se han relacionado con un incremento en el nivel de estrés de los animales (Wittwer *et al.*, 1995).

Lo anterior posiblemente explica la diferencia en K debido a la interacción entre el tratamiento y el origen, los animales procedentes de Chiapas presentaron mayor estrés fisiológico al encontrarse 2.5 veces más COR en comparación con los animales procedentes de Veracruz ($P < 0.05$) debido a diversas causas entre las que se observaron, el tiempo de traslado (20 vs. 15 h), las prácticas de manejo inadecuadas previo al embarque (arreo violento e instalaciones inadecuadas) y el tiempo de ayuno de los animales.

El COR se aumenta cuando los animales son expuestos a condiciones adversas que producen estrés como el aislamiento, la restricción de movimiento, reagrupamiento y transporte (Warris *et al.*, 1995), debido a ello se encontró un incremento del 14% en el nivel de cortisol en los bovinos después del manejo y del transporte, lo que es bajo comparado con lo publicado por Tadich *et al.* (2000), quienes reportaron incrementos en bovinos del 43 al 84% después del transporte por 36 horas con y sin paradas de descanso.

En este estudio no se encontraron diferencias entre las prácticas de manejo y el uso del β -bloqueador sobre el comportamiento en este metabolito durante el transporte ($P > 0.05$), debido a su alta variabilidad y corta vida (Romero *et al.*, 2011), similar a lo encontrado por Earley y O'Riordan (2006) al evaluar dos

densidades de carga (0.85 y $1.27 \text{ m}^2\text{animal}^{-1}$) durante el transporte por 12 horas. Otros autores como Tadich *et al.*, (2005), mencionan que la concentración de COR puede ser un indicador poco sensible, por su alta variabilidad en especial durante transporte prolongado de más de 16 h.

Después del transporte, tampoco se encontró diferencia en el comportamiento del COR por efecto de los tratamientos (Cuadro 7); sin embargo, a los 10 d la concentración tendió a disminuir en más de $1.5 \text{ pg}\cdot\text{dL}^{-1}$, observándose un efecto significativo del origen de los animales sobre la concentración del metabolito, por lo que los animales de Chiapas disminuyeron su concentración hasta en más de $2 \text{ pg}\cdot\text{dL}^{-1}$ (Cuadro 8), debido a que estos durante el transporte presentaron un mayor estrés fisiológico en comparación con los animales procedentes de Veracruz.

El mayor incremento de COR se presenta al momento de la llegada al corral de finalización (durante la descarga de los animales), situación que fue descrita por Tadich *et al.*, (2003) y Werner *et al.*, (2013) quienes asociaron los mayores incrementos del metabolito a los procesos de carga y descarga y durante las primeras 5 h de viaje; por lo que después de 10 d de la llegada al corral los factores estresores a los que fue sometido el ganado fueron menores y el organismo trató de recuperar sus niveles basales.

El incremento en COR durante el transporte por efecto de la raza (Apéndice 3) podría deberse al temperamento de los animales, esta característica es un rasgo heredable que varía según la raza del animal, los bovinos de cruza con *Bos indicus* han mostrado incrementos mayores de cortisol ($27 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$) que los de cruza *Bos taurus* ($24 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$) cuando se les sujeta en la manga de manejo concluyendo que los animales de temperamento calmo se adaptan con mayor facilidad a los procedimientos de manejo y sufrieron menos estrés (Grandin, 1997).

El incremento de la concentración de COR es un mecanismo esencial y favorable para que los animales enfrenten los cambios ambientales (agentes

estresores), sin embargo, el problema surge cuando los estímulos son muy intensos o muy repetidos en el tiempo, el mecanismo adaptativo no funciona correctamente y el animal no logra adecuar su metabolismo a la nueva situación con la consiguiente pérdida de bienestar; este fracaso adaptativo conlleva a mayores gastos energéticos y susceptibilidad a enfermedades (María, 2005).

Durante el manejo y transporte, los bovinos, son sometidos a prolongados periodos de ayuno, por lo que recurren a sus reservas de energía que se encuentran principalmente en forma de lípidos, a partir de los cuales se obtiene glicerol y AGL (Knowles y Warriss, 2000; Romero *et al.*, 2011).

Jarvis *et al.* (1996) encontraron un incremento en las concentraciones de AGL a mayor tiempo de ayuno antes del sacrificio ($<5\text{ h} = 0.23$ vs. $\geq 16\text{ h} = 0.30\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). En este estudio no se encontraron diferencias por el tiempo de recorrido ($P>0.05$), pero en general, la concentración de AGL se incrementó $0.11\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ durante el transporte (15-20 h de recorrido). Las diferencias observadas entre las prácticas de manejo en combinación con el uso del β -bloqueador, pueden deberse a la interacción con el origen de los animales (Apéndice 2), por lo que el efecto del tratamiento está en función del estado nutricional inicial de los animales y al tiempo de ayuno en donde una mayor concentración de AGL corresponde a un mayor gasto energético.

Después de 10 d del transporte, la concentración de AGL no varió ($P>0.05$) ni por efecto del tratamiento ni del origen (Cuadro 7); sin embargo, tendió a disminuir la concentración en $0.5\pm 0.05\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, debido a que los valores de este metabolito al desembarque estaban incrementados por un estado fisiológico de alta demanda como lo es el estrés por transporte; este incremento tiende a desaparecer luego de que los animales son realimentados (Vernon, 1980 y Bermúdez, 1986).

Existen varios trabajos donde se describen los incrementos séricos de GLU como consecuencia del estrés tanto en especies silvestres como en bovinos (Montané 2002; Tadich *et al.*, 2003). Sin embargo, la aplicación del manejo de

recepción en el lugar de origen, independientemente del uso o no del β -bloqueador favoreció el incremento de la GLU durante el transporte (Cuadro 5), debido a que esta se incrementa por la acción de las catecolaminas liberadas durante la respuesta inicial al estrés, las cuales estimulan la gluconeogénesis hepática (Ganong, 2005).

Eyzaguirre (1984) menciona que el uso del β -bloqueador previene la activación del metabolismo energético reduciendo procesos como glucólisis, lipólisis y degradación proteica, debido a que el carazolol es un análogo de las catecolaminas que se une en forma reversible a los β -receptores, sin embargo, este efecto sólo se observó en los tratamientos MD y MD β en donde el manejo de recepción se realiza al momento del desembarque (Cuadro 5).

El incremento de la GLU en animales provenientes de Acayucan, Veracruz, fue similar a lo reportado por Earley y O'Riordan (2006), quienes encontraron incrementos en esta variable hasta de 22 mg·dL⁻¹ después del transporte de bovinos, lo que fue inferior a lo estimado en este estudio (25.6 mg·dL⁻¹). Romero *et al.* (2011) atribuyeron el incremento de la GLU después del transporte, a la acción de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en la respuesta inicial del estrés, ya que estimulan la gluconeogénesis hepática, pero también este proceso es favorecido por el incremento de hormonas como el cortisol ya que promueven la glucólisis y gluconeogénesis como respuesta al estrés, lo cual incrementa la concentración de GLU en sangre (Echeverría, 2002). En este estudio, esta explicación podría ser válida ya que se estimaron incrementos en COR, debido al transporte.

En los bovinos provenientes de Pichucalco, Chiapas la concentración de GLU disminuyó en 2.96 $\pm$ 3.46 mg·dL⁻¹ (Cuadro 6), lo que pudo deberse a la privación prolongada de alimento (Knowles y Warriss, 2000), debido al mayor tiempo de recorrido. Sin embargo, al analizar estadísticamente el nivel de GLU de los animales al embarque en comparación con el nivel al desembarque, esta disminución no fue importante en el animal (Embarque= 87.98 $\pm$ 2.79 vs. Desembarque= 86.91 $\pm$ 2.56) debido a que el nivel de GLU al embarque fue alto,

por lo que se debe considerar el estrés físico antes del transporte y el tiempo de ayuno de los animales.

Después de 10 d en el corral de finalización, la GLU disminuyó su concentración en sangre hasta $26.44 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ (Cuadro 7), sin importar el momento de la aplicación del manejo de recepción o el uso del β -bloqueador ($P>0.05$) debido a que después de un estímulo estresor el organismo trata de regresar a sus condiciones normales a través de los procesos de homeostasis regulados por la insulina y el glucagón (Selye, 1950; Cunningham, 1999; Ganong, 2005).

Económicamente, la pérdida de peso durante el transporte o merma representó un gasto adicional (Cuadro 9) ya que se han estimado mermas entre el 6 y 14 % del peso del animal (Tadich *et al.*, 2003; González, *et al.*, 2012; Werner *et al.*, 2013), lo que fue similar a lo obtenido en este estudio, en donde se ha demostrado que el estrés es uno de los factores que contribuyen a la pérdida de peso del animal. La National Beef Quality Audit ha calculado una pérdida económica durante el manejo y el transporte de animales para sacrificio de entre \$4.00 y \$12.00 dólares por animal (Smith *et al.*, 1994), estos datos representan entre el 4 y 7% del costo del animal (Grandin, 2000), valor inferior a lo obtenido en este estudio los cuales oscilan entre \$20.00 y \$120.00 dólares dependiendo la estrategia de manejo y el uso de β -bloqueador (Cuadro 9).

En Estados Unidos, el costo económico de la movilización de animales de los sistemas de recría al corral de finalización, se debe principalmente a la mortalidad del ganado durante el transporte, debido a las largas distancias y a la presencia de enfermedades respiratorias, con una mortalidad del 1% desde hace más de 25 años, representando una pérdida de 624 millones de dólares anuales para la industria cárnica (Grandin, 2000); en México no se conocen datos precisos del impacto económico de esta enfermedad en el ganado destinado a corral de finalización, sin embargo, es importante notar que la incidencia de problemas respiratorios durante este estudio fue nula.

5.7 Conclusiones

El transporte es un proceso estresante, por lo que en los bovinos se presentan cambios en algunos indicadores fisiológicos como, cortisol, glucosa y ácidos grasos libres, debido a la alta demanda energética del proceso; productivamente los efectos del estrés se ven reflejados en la pérdida de peso de los animales después de la movilización; sin embargo, bajo las condiciones de este estudio a los diez días de su llegada al corral de finalización no se pudo demostrar el efecto del estrés producido durante el transporte sobre indicadores fisiológicos o productivos.

El manejo de recepción previo al embarque y transporte no reduce los niveles de estrés del ganado ni mejoran la recuperación de los animales a los 10 días de su llegada.

La aplicación del β -bloqueador por sí solo no mejora los indicadores de estrés en el ganado, pero, en conjunto con la aplicación de un β -bloqueador se observó un impacto positivo sobre algunos indicadores fisiológicos y por consiguiente una reducción en la pérdida de peso durante el transporte, sin embargo, no se encontró beneficio a los 10 d después del transporte.

Económicamente se justifica el uso del β -bloqueador al encontrarse una reducción en la pérdida de peso durante el transporte; sin embargo, bajo las condiciones de este estudio no se pudo observar un beneficio económico sobre los primeros días de recuperación en el corral.

El estrés producido durante el transporte y las prácticas de manejo en el ganado es una respuesta multifactorial que depende de las condiciones previas al embarque, el origen de procedencia de los animales e incluso el tipo racial y su adaptación a los procesos de manejo y transporte.

5.8 Recomendaciones

Se recomienda realizar el manejo de recepción más la aplicación del β -bloqueador en el lugar de origen para reducir los efectos del estrés sobre la pérdida de peso; sin embargo, se debe considerar el lugar de origen y el tiempo de traslado, debido a que en recorridos mayores a 16 h la mejor estrategia es realizar el manejo de recepción a su llegada al corral de finalización sin el uso del β -bloqueador.

Durante el transporte de bovinos es necesario considerar factores como el origen de los animales, la raza de los animales, el estado nutricional previo al embarque, la densidad de carga en los vehículos en función del tiempo de traslado.

Es necesario realizar más investigación sobre el efecto de las prácticas de manejo y el uso de fármacos que reduzcan el estrés sobre el comportamiento fisiológico y productivo de los bovinos en los primeros días en el corral de finalización.

Se recomienda incluir indicadores conductuales en la evaluación del estrés en los bovinos, ya que la perturbación de los animales por la toma de muestras puede influir en la variabilidad de los resultados.

5.9 Literatura citada

- Amtmann V., A., C. Gallo, G. van Schaik, y N. Tadich. 2006. Relaciones entre el manejo ante-mortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 38(3): 259-264.
- Bermúdez E., J. W. 1986. Uso de metabolitos sanguíneos en la determinación del estado nutricional de ovinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, México. 85 p.
- Booth, N. H. G., y L. E. Me Dónalo. 1988. *Farmacología y Terapéutica Veterinaria*. Volumen I. 1° edición española. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Briend-Marchal, A., C. Médaille, and J. P. Braun. 2005. Comparison of total protein measurement by biuret method and refractometry in canine and feline plasma. *Revue de Medecine Veterinaire* 156 (12): 615-619.
- Broom, D. M. 2005. The effects of land transport on animal welfare. *Scientific and Technical Review of the Office International des Epizooties* 24(2): 683-91.
- Carstens G., D. Johnson, M. Ellenberger, and J. Tatum. 1991. Physical and chemical components of the empty body during compensatory growth in beef steers. *Journal of Animal Science* 69: 3251-3264.
- Cunningham, J. 1999. *Fisiología Veterinaria* 2^{da} ed. McGraw-Hill Interamericana. México. pp: 409-411 y 478-495.
- Earley, B., and E. G. O’Riordan. 2006. Effects of transporting bulls at different space allowances on physiological, hematological and immunological responses to a 12-h journey by road. *Journal of Agricultural and Food Research* 45: 39–50.

- Echeverría P., R. A. 2002. Efecto d dos tiempos de ayuno con y sin transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Chile. 49 p.
- Eyzaguirre, D. A. 1984. Efecto de la administración de carazolol subcutáneo en bovinos sobre el destare por transporte. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile. Chile. pp: 10-25.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda Edición. Universidad de Florida. USA. 358 p.
- Gallo, C., S. Pérez V., C. Sanhueza V., y J. Gasic Y. 2000. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. Archivos de Medicina Veterinaria 32(2): 157-170.
- Ganong, F. W. 2005. Funciones del sistema nervioso. *In*: Fisiología Médica Editorial, El Manual Moderno. McGraw-Hill. México. pp. 121-253.
- González, L., A. K. S. Schwartzkopf-Genswein, M. Bryan, R. Silasi, and F. Brown. 2012. Relationships between transport conditions and welfare outcomes during commercial long haul transport of cattle in North America. Journal of Animal Science 90: 3640-3651.
- Grandin, T. 1997. Evaluation of stress during handling and transport. Journal of Animal Science 75: 249-257.
- Grandin, T. 2000. Introduction: Management and economic factors of handling and transport *In* Livestock Handling and Transport 2nd edition. Grandin T. (ed). CABI International. New York. pp. 1-14.

- Jarvis, A. M. D., W. J. Harrington, and M. S. Cockram. 1996. Effect of source and lairage on some behavioral and biochemical measurements of feed restriction and dehydration in cattle at a slaughterhouse. *Applied Animal Behavior Science* 50: 83-94.
- Kent, J. E. and R. Ewbank. 1983. The effect of road transportation on the blood constituents and behaviour of calves. *The Veterinary Journal* 139: 228-235.
- Knowles, T. G. y P. D. Warriss. 2000. Stress physiology of animals during transport *In* *Livestock Handling and Transport* 2nd edition. Grandin T. (Ed). CABI International. New York. pp: 385-407.
- Liotta, L., C. Nanni L., B. Chiofalo, L. Ravarotto, and V. Chiofalo. 2007. Effect of lairage duration on some blood constituents and beef quality in bulls after long journey. *Italian Journal of Animal Science* 6: 375-384.
- María L., G. 2005. Transporte de ganado bovino, bienestar animal y calidad de la carne. In: *El Camino de la Trazabilidad* Nº 52. Proyecto Europeo CATRA. Grupo de Bienestar Animal y Calidad. Universidad de Zaragoza. España. pp: 7.
- Molina, F., D. Carmona, y A. Ojeda. 2007. Evaluación del crecimiento compensatorio como estrategia de manejo en vacunos de carne a pastoreo. *Zootecnia Tropical* 25(3):149-155.
- Montané, G., J. 2002. Valoración del estrés de captura, transporte y manejo del corzo (*Capreolus capreolus*) Efecto de la acepromacina y de la cautividad. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 209 p.
- Odore, R., P. Badino, G. Re, R. Barbero, B. Cuniberti, A. D'Angelo, C. Girardi, E. Fraccaro, and M. Tarantola. 2011. Effects of housing and short-term

transportation on hormone and lymphocyte receptor concentrations in beef cattle. *Research in Veterinary Science* 90: 341-345.

Rodríguez-Merchán B., A. Casteras, E. Domingo, F. J. Novoa, Y. López; Cabezas-Agrícola J. M., T. Rivero, M. Parramón, and J. Mesa. 2011. Capillary beta-hydroxybutyrate determination for monitoring diabetic ketoacidosis. *Endocrinology and Nutrition* 58(7): 347-352.

Romero P., H. M., F. L. Uribe-Velásquez, y V. J. Sánchez. 2011. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud* 10(1): 71-87.

SAS. 2014. Statistical Analysis System. Versión 9.3. SAS Institute Cary, NC, USA.

SCT, (Secretaria de Comunicaciones y Transportes). 2013 Ruta Pichucalco, Chiapas, Pasando por Acayucan Veracruz. www.sct.gob.mx. Consultado el 29 de mayo de 2013.

Selye, H. 1950. Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal* 1384-1392.

Smith, G. C., J. B Morgan, J. D. Tatum, C. C. Kukay, M. T Smith, T. D Schnell, G. G. Hilton, C. Lambert, G. Cowman, and B. Lloyd. 1994. Improving the Consistency and Competitiveness of Non-fed Beef, and Improving the Salvage Value of Cull Cows and Bulls. The final report of the National Cattlemen's Beef Association, Colorado State University, Fort Collins.

Tadich, N., C. Gallo, R. Echeverria, and G. and Van Schaik. 2003. Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Archivos de Medicina Veterinaria* 35: 171-185.

Tadich, N., C. Gallo, y M. Alvarado. 2000 Efectos de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables sanguíneas

indicadoras de estrés en bovinos. Archivos de Medicina Veterinaria 32(2): 171-183.

Tadich, N., C. Gallo, H. Bustamante, M. Schwerter, and G. Van Schaik. 2005. Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Fresian-cross steers in Chile. Livestock Production Science 93: 223–233.

Vernon, R. G. 1980. Lipid metabolism in the adipose tissue of ruminant animals. Progress in Lipid Research 19: 23-106.

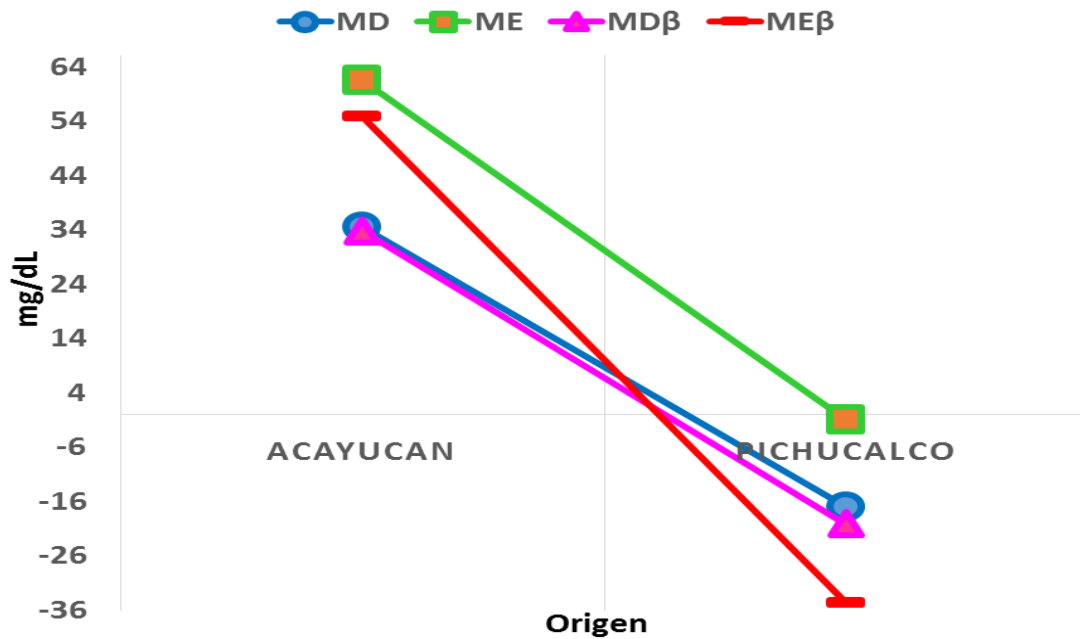
Warriss, P. D., S. N. Brown, T. G. Knowles, S. C. Kestin, J. E. Edwards, S. K. Dolan, and A. J. Phillips. 1995. Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. Veterinary Record 136: 319-323.

Werner, M., C. Hepp, C. Soto, P. Gallardo, H. Bustamante, and C. Gallo. 2013. Effects of a long distance transport and subsequent recovery in recently weaned crossbred beef calves in Southern Chile. Livestock Science 152: 42-46.

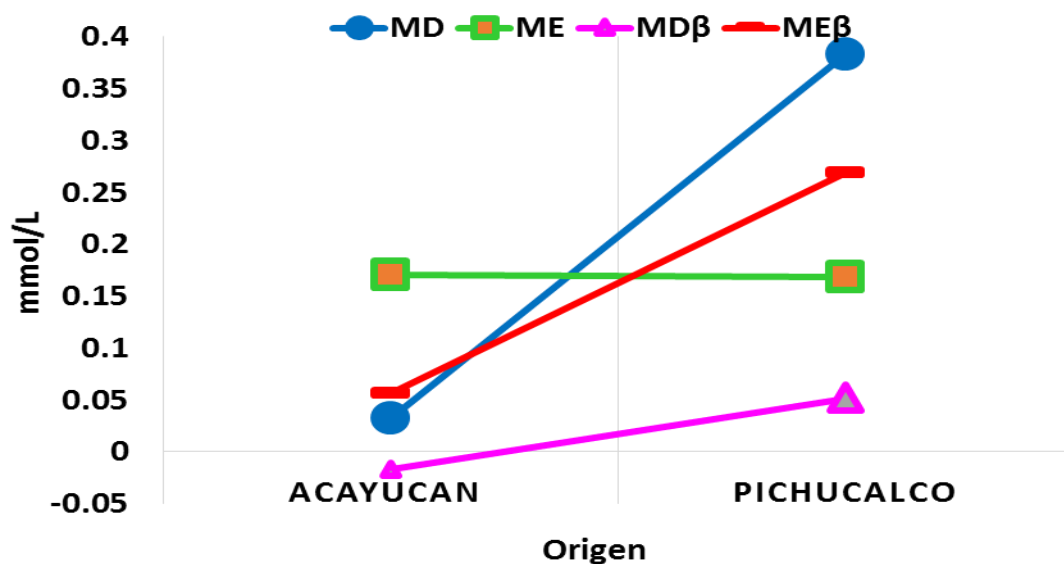
Wittwer M., F., E. M. Moreira, K. W. Rudolph, y H. L. Böhmwald. 1995. Efectos de la administración de adrenalina en las concentraciones sanguíneas y urinarias de minerales de ovejas. Veterinaria México 26(3): 209-213.

5.10 Apéndices

Apéndice 1. Interacción tratamiento por origen para el cambio en GLU (Glucosa) durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas.



Apéndice 2. Interacción tratamiento por origen para el cambio en AGL (Ácidos Grasos Libres) durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas.



Apéndice 3. Efecto del tipo racial sobre el incremento en la concentración de cortisol durante el manejo y transporte de bovinos provenientes de Acayucan, Veracruz y Pichucalco Chiapas. (Medias con la misma literal son iguales $P>0.05$).

