

SISTEMAS SILVOPASTORILES PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE
LECHE Y DISMINUIR EL ESTRÉS CALÓRICO EN LA REGIÓN CARIBE
COLOMBIANA

Wilson Andrés Barragán Hernández

Trabajo de grado de Maestría para optar al título de
Magíster en Ciencias Animales

Directoras

Liliana Mahecha Ledesma Dr. Sci. (UDEA)

Yasmín Socorro Cajas Girón PhD. (CORPOICA)

Comité Tutorial

Liliana Mahecha Ledesma Dr. Sci (UDEA)

Yasmín Socorro Cajas Girón PhD. (CORPOICA)

Carlos Andrés Giraldo MSc. (UDEA)

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MEDELLÍN
2013

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos:

A la Dra. Yasmín Cajas, por darme la oportunidad de escalar un paso más en la vida, por el apoyo en el ámbito laboral, académico y personal.

A la Dra. Liliana Mahecha por permitirme formar parte de su grupo de trabajo y compartir conmigo los conocimientos necesarios para superar esta tarea, y las que vengan de aquí en adelante.

Al Dr. Carlos Giraldo Valderrama, por sus aportes y enseñanzas.

Al Dr. Ricardo Rosero Noguera por sus valiosas observaciones y orientaciones en el análisis de los resultados.

A CORPOICA, por facilitarme el tiempo y los insumos necesarios para llevar a feliz término este trabajo.

A mis amigos de estudio por el apoyo y la amistad una mezcla que dio muchos frutos y buenos momentos en esta experiencia.

A Blas Panza, Ausberto Mogollón, Javier Moreno, Guillermo Garay, Danilo Portilla, Thomas Carvajal y Margarita Morelo por contribuir a este trabajo desde muchos aspectos.

DEDICATORIA

A Yohana y Simón por el apoyo, y por soportar tantos días de soledad.

A mi mamá, y a mis tías Amarilis, Idalides y María Cristina (QEPD) por todos su cariño y apoyo, y por formarme como persona.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	7
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	9
OBJETIVOS.....	12
General.....	12
Específicos	12
Capítulo I. Marco teórico	13
Estrés Calórico en la Producción Bovina: Aspectos fisiológicos, metodológicos y enfoques de mitigación basados en sistemas silvopastoriles	13
Resumen.....	13
Introducción	14
Conceptos generales	15
Principales indicadores de estrés calórico y metodologías para su medición.....	16
Respuesta ante el estrés. Escala celular.....	17
Respuesta ante el estrés. Escala corporal	18
Metodologías para la medición de estrés calórico	20
Efecto del estrés calórico en el comportamiento animal	21
Efecto del estrés calórico en la producción y calidad de leche.....	23
Efecto del estrés calórico en la reproducción y sanidad animal.....	25
Alternativas para contrarrestar el estrés calórico.....	26
Consideraciones finales.....	28
Referencias bibliográficas	29
Capítulo II. Efecto de tres modelos silvopastoriles de estratos múltiples sobre el estrés calórico de vacas en el sistema de producción doble propósito en la región Caribe Colombiana.	35
Resumen.....	35
Introducción	36
Materiales y Métodos	38
Área de estudio y diseño del experimento	38

Animales evaluados.....	39
Registro de la información	39
Análisis Estadístico	41
Resultados	42
Discusión	48
Conclusión	51
Revisión de literatura	51
Capítulo III. Comportamiento ingestivo diurno como respuesta al estrés calórico en vacas sometidas al sistema de producción doble propósito bajo tres modelos silvopastoriles en condiciones de la región Caribe Colombiana.....	55
Introducción	57
Materiales y Métodos	59
Área de estudio y diseño del experimento	59
Animales evaluados.....	60
Registro de la información	61
Análisis Estadístico	62
Resultados	63
Discusión	68
Conclusiones.....	71
Referencias Bibliográficas	71
Capítulo IV. Efecto de tres modelos silvopastoriles en la producción y composición de la leche en el sistema de producción doble propósito bajo condiciones de la Región Caribe Colombiano.....	73
Introducción	75
Materiales y Métodos	76
Área de estudio y diseño del experimento	76
Animales evaluados.....	77
Registro de la información	78
Análisis Estadístico	79

Resultados	80
Discusión	86
Conclusión	88
Referencias Bibliográficas	89

RESUMEN GENERAL

La ganadería doble propósito en la región Caribe Colombiana, representa un alto porcentajes del inventario bovino en la región, sin embargo se presenta bajos parámetros productivos y reproductivos que condicionan su inserción en mercados nacionales e internacionales. Esta baja eficiencia biológica y económica puede estar motivada por el avanzado estado de degradación de suelos y praderas que se presenta en la región. El uso de sistemas silvopastoriles como alternativas de producción ganadera puede constituirse en una herramienta valiosa para combatir los problemas de degradación y aumentar la productividad del sistema de producción bovino doble propósito. Por tal motivo este trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción y composición de la leche de vacas en el sistema de producción bovina doble propósito de la Región Caribe Colombiana manejado en diferentes tipos de sistemas silvopastoriles y en praderas sin árboles, y analizar su relación con indicadores fisiológicos de estrés calórico, con el comportamiento ingestivo, y con la disponibilidad y la calidad del forraje de cada sistema. Se evaluaron 4 tratamientos, tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles. El primer tratamiento silvopastoril estuvo conformado por el asocio de especies arbustivas *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*, el segundo tratamiento silvopastoril incluyó las especies arbóreas *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman*, y por último un modelo silvopastoril que incluyó las combinación de los dos anteriores. En todos los tratamientos la gramínea dominante fue *Panicum maximum* cv Mombasa. Los resultados obtenidos en parámetros fisiológicos y metabólicos de estrés calórico indicaron que los sistemas con cobertura arbórea logran mitigar el efecto de la radiación solar directa sobre las respuestas fisiológicas y metabólicas de estrés. Así mismo, se observó que las modificaciones micro-climáticas como producto del efecto de los árboles contribuyó a aumentar el tiempo de pastoreo diurno y a mantener más estable el comportamiento ingestivo, contrario a lo observado en la pradera sin árboles en la cual se evidenció menor tiempo de pastoreo, mayor tiempo de descanso y mayor tiempo de consumo de agua. No se registraron efectos en la producción de leche por vaca, ni en la calidad composicional de la leche, sin embargo se evidenció que el tratamiento que incluye especies arbustivas presentó mayor producción de leche por ha, como producto de la calidad del forraje consumido y de la mayor capacidad de carga en este tratamiento. Los resultados obtenidos demostraron la capacidad de los sistemas silvopastoriles para favorecer el bienestar animal por reducción del estrés calórico, así como también aumentar la productividad en modelos de producción doble propósito, constituyéndose en una herramienta para aumentar la competitividad de la ganadería en la región Caribe Colombiana.

ABSTRACT

The dual purpose cattle in the Colombian Caribbean region, represents a high percentage of cattle inventory in the region. However, it has low productive and reproductive parameters that determine its inclusion in national and international markets. This low biological and economic efficiency may be motivated by the advanced state of soils and grassland degradation that occurs in the region. The use of silvopastoral systems as alternative livestock production can become a valuable tool to solve the problems of degradation and to increase the productivity of the dual purpose cattle production system, for that reason this work was to evaluate the production and composition of milk of cows in the cattle production system dual purpose of the Colombian Caribbean region handled in different types of silvopastoral systems and treeless pastures, and to analyze its relationship with physiological indicators of heat stress, with ingestive behavior, and with the availability and quality of forage in each system. Four treatments were evaluated, three models of silvopastoral systems and one of treeless pasture. The first treatment was comprised of *Leucaena leucocephala* and *Crescentia cujete*; the second one of *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* and *Albizia saman*, and the third one of combination of shrubs and tree. The results obtained in terms of physiological and metabolic heat stress indicated that the tree cover systems used in this research failed to mitigate the effect of sunlight on the physiological and metabolic stress, likewise observed that the micro-climate changes as a result of the effect of trees helped increase grazing time and maintain more stable diurnal ingestive behavior, contrary to what was observed in the treeless pastures in which it was evidenced shorter grazing time, longer rest time, and longer water consumption time. There were no effects on milk production per cow, or milk quality composition, but it was shown that treatment including shrub species and grass had higher milk production per ha, as product quality forage consumed and increased capacity in this treatment. The results demonstrated the ability of silvopastoral systems to promote animal welfare by reducing heat stress as well as increase productivity in dual purpose production models, becoming a tool to enhance competitiveness of livestock in the Colombian Caribbean region.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los sistemas ganaderos en la Región Caribe colombiana, se caracterizan por presentar baja eficiencia biológica y económica, con indicadores zootécnicos como prolongada edad al primer parto (36-40 meses), baja producción de leche por lactancia (800 a 1140 lts), intervalos entre partos prolongados (420-470 días) y producciones de carne menores a 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Perez *et al.*, 1998); que no permiten una buena inserción de estos productos en los mercados nacionales e internacionales.

El problema se ve agravado con la creciente degradación de suelos y praderas en áreas ganaderas en la región Caribe, alcanzando niveles de 73, 69 y 94 % en los departamentos de Córdoba, Sucre y Atlántico, respectivamente (Cajas-Girón S. *et al.*, 2010). La situación también se ha visto afectada por el constante cambio climático a nivel global, que generará aumentos en la temperatura del aire de 2.4 a 6.4 °C (IPCC, 2007), aumentando los limitantes para la producción ganadera en estas zonas por los efectos negativos de la temperatura en el desempeño animal (Nardone *et al.*, 2010).

En Colombia, la mayoría de los sistemas ganaderos se desarrollan bajo condiciones extensivas, donde predomina el monocultivo de gramíneas y la ausencia de árboles (Navas Panadero, 2010). Cajas-Giron and Sinclair (2001) reportaron un rango de 3 a 50 árboles ha⁻¹ en los predios ganaderos de la región Caribe, indicando una baja cobertura y oferta de sombra para los animales, lo que predispone a los bovinos a padecer de estrés calórico.

El estrés calórico, considerado como la inhabilidad del animal para mantener su temperatura corporal en homeostasis (Broom and Molento, 2004), es tal vez uno de los principales problemas desprendidos del calentamiento global que afecta la producción ganadera en las zonas tropicales. En términos generales, las respuestas inmediatas a la alteración de la homeostasis térmica son la reducción en el consumo voluntario, el incremento en la tasa respiratoria y el consumo de agua, y cambios hormonales (Collier and Zimbelman, 2007). Estas respuestas reducen el consumo neto de energía, redundando en un balance energético negativo (Lecetera *et al.*, 1996 citado por Nardone *et al.* 2010), lo

cual repercute en la capacidad productiva y reproductiva del animal (Nardone *et al.*, 2010; West, 2003).

En Colombia, estudios relacionados con estrés calórico en la producción animal son escasos, menos aún si se relacionan con estudios bajo sistemas silvopastoriles. En algunos casos solo se han limitado a la evaluación del comportamiento del individuo con mayor énfasis en la interacción entre las características químicas y físicas entre la pradera y el animal (comportamiento en pastoreo), que entre los factores bioclimáticos y el animal. Sin embargo, existen trabajos que revelan la importancia de la inclusión de árboles en los potreros como herramienta para mitigar el efecto de la radiación solar directa en el animal. Escobar *et al.*, (2001) evaluaron el comportamiento de vacas bajo sistemas silvopastoriles y determinó que el consumo voluntario de forraje fue 6% más alto en aquellos animales bajo sombra de árboles que los que se encontraban a pleno sol. Así mismo, Mahecha *et al.* (2001) encontraron que vacas Lucerna en sistemas silvopastoriles intensivos del Valle del Cauca, cambiaron distribución diurna de las actividades tradicionales de consumo, incrementando el ramoneo en horas de la noche. No obstante, estas comparaciones y su relación con el consumo total de forraje y los parámetros productivos y reproductivos aún no han sido desarrolladas en nuestro medio de forma comparativa entre diferente tipo de sistemas silvopastoriles y sistemas de monocultivo de gramíneas. Tampoco se han determinado, bajo condiciones de la Región Caribe, cambios metabólicos, y variaciones diurnas en la temperatura de la piel y en la frecuencia respiratoria de animales en pastoreo, y la posible mejora en estos parámetros con la inclusión de árboles en los potreros.

El profundizar en el conocimiento de diferentes parámetros del bienestar animal relacionados con la reducción del estrés calórico en sistemas silvopastoriles es de gran importancia para la ganadería Colombiana debido al auge que han tomado estos sistemas en el país y a su inclusión dentro del plan de ganadería nacional PEGA 2019. Existen diferentes tipos de sistemas silvopastoriles, entre ellos los que asocian árboles frutales, maderables y multipropósito y sistemas de estratos múltiples (Cajas-Giron and Sinclair, 2001; Mahecha, 2009). Por lo tanto, se hace necesario conocer el impacto de cada uno de ellos en el

bienestar del animal bajo condiciones de alta temperatura y humedad característicos de la zona Caribe Colombiana, con el fin de contribuir al planteamiento de alternativas de manejo específicas que permitan incrementar su eficiencia al ser utilizados en la ganadería Colombiana.

OBJETIVOS

General

Evaluar la producción y composición de la leche de vacas en el sistema de producción bovina doble propósito de la Región Caribe Colombiana manejado en diferentes tipos de sistemas silvopastoriles y en praderas sin árboles, y analizar su relación con indicadores fisiológicos de estrés calórico, con el comportamiento ingestivo, y con la disponibilidad y la calidad del forraje de cada sistema.

Específicos

- Determinar variaciones diurnas en la temperatura de la piel, rectal y en la frecuencia respiratoria, como indicadores de estrés calórico en sistemas silvopastoriles y en una pradera sin árboles.
- Determinar algunos indicadores metabólicos y el estatus ácido - básico de animales en pastoreo asociados a diferentes tipos de sistemas silvopastoriles y compararlos con animales en pastoreo en una pradera sin árboles.
- Evaluar el comportamiento ingestivo diurno de vacas pastoreando en diferente tipo de sistemas silvopastoriles y en una pradera sin árboles.
- Determinar la disponibilidad y calidad del forraje en diferente tipo de sistemas silvopastoriles y en una pradera sin árboles.
- Evaluar la producción y composición de la leche en diferentes tipos de sistemas silvopastoriles y en una pradera sin árboles.

Capítulo I. Marco teórico

Estrés Calórico en la Producción Bovina: Aspectos fisiológicos, metodológicos y enfoques de mitigación basados en sistemas silvopastoriles

Wilson Andrés Barragán-Hernandez¹, Liliana Mahecha-Ledesma², Yasmin Socorro Cajas-Girón¹.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Centro de Investigación Turipaná. Km 13 vía Montería - Cereté (Córd.) – Colombia.

**Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA)- Producción Animal Sostenible.*

Ciudadela de Robledo, Carrera 75 N° 65-87, Medellín (Ant) - Colombia

wilsonbarragan@gmail.com

Resumen.

En la actualidad se hace necesario ser más eficientes en la producción de leche bajo condiciones del trópico. Una de los limitantes para producir leche de manera eficiente en este tipo de ambientes es la carga calórica que afecta al animal llevándolo a un estado de estrés. El estrés calórico se define como la incapacidad del animal para mantener su temperatura corporal dentro de los límites establecidos como zonas termoneutrales, en las cuales el animal no necesita una inversión energética para mantener su temperatura corporal. Los efectos característicos de la alteración en la carga calórica que experimenta el animal son el aumento en la temperatura corporal, aumento de la frecuencia respiratoria, alteraciones en el estatus ácido-básico de la sangre y en la dinámica hormonal. Lo anterior se refleja en la reducción de la capacidad productiva y reproductiva del animal y con ello en la productividad de las empresas ganadera. Una de las alternativas más eficientes por costos y por beneficios ambientales para reducir el estrés calórico es la implementación de sistemas silvopastoriles, generando un confort en el animal y aumento en su producción y reproducción por mejor distribución de los recursos energéticos. El objetivo de esta revisión es abordar aspectos relacionados con el estrés calórico en bovinos y su efecto en la disminución de la productividad animal, con énfasis en alternativas sostenibles para mitigarlo.

Palabras Claves: Estrés Calórico, Sistemas Silvopastoriles.

Introducción

La apertura de mercados internacionales abre una nueva ventana hacia la comercialización de productos como la carne y la leche. Sin embargo, las políticas de comercialización en los mercados extranjeros, además de tener un estricto control en los aspectos sanitarios, ahora priorizan la calidad de los productos, su trazabilidad, la huella de carbono y el bienestar animal, como puntos de evaluación en la comercialización. Ante esta realidad, se hace necesario que los sistemas de producción ganadero, aumenten su eficiencia biológica y económica, con la finalidad de ser competitivos ante nuevos mercados.

La producción en los sistemas ganaderos, se describe como el resultado de la interacción entre todos aquellos componentes que integran el sistema (entradas, procesos y salidas) y la eficiencia de los mismos, evaluada en términos productivos, reproductivos, económicos y ambientales (Navas, 2010).

Parte de la ineficiencia en estos sistemas de producción bajo condiciones de trópico bajo, se debe a la dificultad del animal para enfrentarse ante condiciones adversas, como altas temperaturas, y en algunos casos, alta humedad relativa, especialmente en horas cercanas al medio día (Navas, 2008), afectando el desempeño animal (Nardone *et al.*, 2010) por disminución del consumo en la materia seca y la alteración en la homeostasis ácido-básica y hormonal (West 2003; Collier y Zimbelman 2007).

En Colombia, no se han reportado trabajos que valoren los impactos económicos del estrés calórico en la producción de carne o leche, sin embargo en otros países como Estados Unidos, Collier y Zimbelman (2007) informan pérdidas en producción de leche y animales que ascienden a \$1 billón de dólares, durante la onda cálida del año 2006.

Frente a la imposibilidad de modificar las variables ambientales como la temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa, entre otras, se hace necesario conocer los procesos que causan estrés calórico y sus consecuencias en el animal, con la finalidad de buscar alternativas económicamente rentables que posibiliten mitigar el estrés, y de esta manera obtener una mejor expresión del potencial genético de los animales.

La presente revisión abordará aspectos relacionados con el estrés calórico en bovinos y su efecto en la disminución de la productividad, enfatizando en algunas alternativas viables para mitigar el impacto del estrés calórico en la producción bajo condiciones de la Región Caribe Colombiana.

Conceptos generales

En términos generales, el estrés se define como la respuesta biológica evidenciada cuando un individuo percibe un factor de amenaza contra su homeostasis (Morberg, 2000).

El estrés, se refiere a la porción del bienestar animal en un estado de calificación pobre, indicando una inhabilidad en la respuesta ante una situación, sobrecargando su sistema de control y reduciendo su adaptación en el medio (Broom y Molento, 2004). Basado en lo anterior, las causas de estrés en el animal pueden ser muchas, sin embargo en condiciones de trópico seco y húmedo, la que mayor importancia reviste es el estrés calórico, dado su impacto negativo en la capacidad productiva y reproductiva de los animales.

El estrés calórico se define como la incapacidad de un individuo para mantener su temperatura corporal constante sin mayor esfuerzo (Broom y Molento 2004), redundando en un gasto energético necesario para mantener el balance térmico (Collier y Zimbelman 2007). Este estado de alteración de la homeostasis térmica, básicamente está influenciado por factores ambientales como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar (Collier *et al.*, 1982; Schutz *et al.*, 2008) y por factores inherentes al animal como el color de la piel (Silanikove 2000) y características morfogénicas, como número de pelos (Maia *et al.*, 2005) espesor de la piel y densidad de glándulas sudoríparas (Hansen, 2004), determinando la adaptabilidad del individuo.

En este punto, el término zona termoneutral (ZTN), es fundamental para definir un estado de estrés en el animal. Este parámetro se entiende como la zona de mínima producción de calor bajo una temperatura rectal, sin alterar el metabolismo basal (Collier *et al.*, 1982). Dentro de la ZNT se presentan límites críticos, superiores e inferiores, los cuales dependen principalmente de la especie, la edad, producción, color de piel y previos estados de aclimatación (Hahn 1999; Kadzere *et al.*, 2002; Britto Ferreira, 2010).

Bajo condiciones de trópico se hace más relevante el límite crítico superior (LCS), dado las altas temperaturas en ciertas horas del día. Esta zona se alcanza cuando la temperatura de aire, impide el intercambio calórico y los mecanismos de disipación de calor son insuficientes, aumentando el calor corporal por la carga ambiental y metabólica (Kadzere *et al.*, 2002). En el caso de animales *Bos taurus*, el LCS se encuentra por encima de los 16 °C, y para las razas *Bos indius* este valor oscila entre 25 y 27 °C (Pereira, 2005). Si bien los límites conocidos actuales fueron determinados inicialmente en condiciones de estudios de efectos termoambientales en cámaras climáticas de animales generalmente *Bos taurus*, incluyendo varios estadios fisiológicos en condiciones de clima templado, se tiene poca información pertinente en bovinos *Bos indicus* y cruces con *Bos taurus* en condiciones de los diversos

estadios fisiológicos en las diferentes épocas del año de las distintas zonas tropicales

Al sobrepasar el LCS se activan los mecanismos para disipar calor corporal con el fin de no superar el estado de hipertermia, la cual conlleva a la muerte. Según Kadezere *et al.* (2002) y Finch (1986), estos mecanismos se pueden dividir en pérdidas de calor sensibles (conducción, convección y radiación), las cuales están condicionadas por gradientes térmicos entre la piel y el ambiente, y pérdidas de calor insensibles (evapo-traspiración), que además de tener el condicionamiento térmico, dependen de la cantidad de vapor de agua en el ambiente.

La eficiencia de las vías sensibles depende de la superficie por unidad de peso corporal en el animal, de la capacidad de flujo térmico entre el cuerpo, la piel y el ambiente, y por último de las características refractivas de la piel como color, espesor, densidad y distribución de pelos (Hansen, 2004). En términos de efectividad, a medida que se incrementa la temperatura del aire, la capacidad de las vías sensibles disminuye, y se hace más eficiente la pérdida de calor por vías latentes (Silanikove, 2000; Hansen, 2004) llegando esta última a representar el 15% de la pérdida de calor en estado de estrés, principalmente por sudoración y jadeo (Finch, 1986).

Algunas de las características que permiten que las vías de pérdida de calor sean eficientes, son de carácter evolutivo, dadas por la condición homeotérmica del animal, permitiendo que la temperatura sea usada como control fisiológico (Kadzere *et al.*, 2002). Sin embargo, bajo condiciones de estrés estas características pueden ser dadas por el proceso de aclimatación, descrito como la respuesta fenotípica del animal ante situaciones de adversidad ambiental (Fregley, 1996, citado por Nardone *et al.*, 2010). El proceso de aclimatación se caracteriza por ser flexible, permitiendo que el animal tolere situaciones severas; sin embargo, cuando se pierde el agente estresor, las alteraciones regresan a la normalidad, basándose en modificaciones homeorréticas y no homeostáticas (Collier y Zimbelman, 2007).

Principales indicadores de estrés calórico y metodologías para su medición.

Dada la condición de homeostasis alterada en el individuo, la respuesta es inmediata y se centra en cambios a nivel celular, caracterizados por expresión génica y balance entre las vías pro y anti-apoptóticas (Park *et al.*, 2005), y a nivel corporal por modificaciones fisiológicas, hormonales y conductuales, enfocados a mantener la temperatura corporal en la zona de termorregulación (Figura 1).

Respuesta ante el estrés. Escala celular.

En el entorno celular, las condiciones de hipertermia inducen estrés oxidativo (Martindale y Holbrook 2002) y muerte celular programada (apoptosis) (Park, Han *et al.*, 2005). Hildebrandt *et al.* (2002) basados en ensayos de cultivos celulares (células ováricas de hámster) con diferentes rangos de temperaturas, caracterizaron dos fases de respuesta ante el estrés térmico, una fase de “punto de quiebre”, en la cual la célula presenta daños reversibles y la otra en la que los daños causan la muerte. El mismo autor, con base en los resultados anteriores plantea, que la energía requerida para inducir la muerte celular por temperatura está muy relacionada con la que se necesita para desnaturalizar las proteínas (140 kcal/mol), sugiriendo la hipótesis de que los daños causados por el efecto térmico pueden inducir la muerte celular por desnaturalización de las proteínas de membrana.

La célula presenta un mecanismo de detección térmica basado en perturbaciones físico-químicas de varias bio-moléculas en la membrana plasmática, el citosol y organelas subcelulares que provocan la respuesta de shock térmico (Park *et al.*, 2005). Estas reacciones de respuesta están basadas en cambios en la formación y plegamiento de las proteínas. Con el aumento de la temperatura, incrementa la exposición del grupo polar en las proteínas desnaturalizadas y disminuye su solvencia, alterando el ambiente de entalpia celular y el comportamiento de las macromoléculas (Park *et al.*, 2005).

Las respuestas celulares ante condiciones de estrés, están basadas en cambios estructurales y producción de proteínas de shock térmico. Los cambios estructurales que se presentan son modificaciones en la fluidez de la bicapa lipídica y alteraciones en los canales iónicos con incremento en el flujo de Ca⁺, Na⁺, K⁺, H⁺ (Park *et al.* 2005). En cuanto a la producción de proteínas, la reacción está enfocada a la expresión de una familia de proteínas de shock térmico llamadas HSP (Heat Shock Protein), clasificadas de acuerdo con su peso molecular (HSP 100, 90, 70, 60 y >40 kDA), cuya función es servir de chaperonas moleculares, para el direccionamiento y transporte de proteínas, y bajo condiciones de estrés térmico, actúan evitando la pérdida de plegamiento y coadyuvando en la evacuación de proteínas dañadas (Hildebrandt *et al.*, 2002; Martindale y Holbrook, 2002)

La producción intracelular de HSP se incrementa en cultivos celulares expuestos a moderadas temperaturas y su pobre producción está asociada con crecimiento exponencial en la apoptosis celular. Estudios relacionados con la inducción de la apoptosis a través de receptores de Fas-Ligando mediado por células Natural Killer en cultivos celulares sometidos a estrés térmico, no paraban la producción de proteínas HSP, indicando que la expresión génica depende de la condición térmica de la célula y no de la tasa apoptótica (Hildebrandt *et al.*, 2002).

Son varias las formas propuestas mediante las cuales las proteínas de shock térmico previenen los daños oxidativos, entre las cuales se encuentran, preservar la función del proteosoma, disminuir los niveles de oxígeno reactivo (ROS) mediante modificación metabólica, inhibición de la apoptosis vía Jannus Kinasa (JNK) e inhibición de la Citocromo C (Martindale and Holbrook, 2002).

Respuesta ante el estrés. Escala corporal

Los cambios fisiológicos más relevantes ante el estrés calórico incluyen, el aumento de la tasa respiratoria, la frecuencia cardiaca, la sudoración y la vasodilatación. Sin embargo, estas respuestas inducen efectos deletéreos en la capacidad productiva y el estatus fisiológico del animal (West, 2003).

Está documentado que bajo ambientes adversos en términos de temperatura y humedad, la temperatura corporal de los bovinos aumenta como respuesta a la carga calórica (Silanikove, 2000; Kadezere *et al.*, 2002; West, 2003; Nardone *et al.*; 2010), generando un estado de estrés calórico en los bovinos.

Bajo condiciones de estrés calórico, el aumento en la tasa respiratoria es el mecanismo más importante para perder calor cuando las vías sensibles (conducción, convección y radiación) no son eficientes (Arias *et al.*, 2008). Se ha demostrado que la frecuencia respiratoria en un animal con estrés térmico puede aumentar de 60 a 200 exhalaciones por minuto con la finalidad de perder calor por el tracto respiratorio, cuando la humedad relativa no es limitante (Arias *et al.*, 2008). Sin embargo, este aumento en la frecuencia respiratoria, con un comportamiento rápido y poco profundo, altera la condición ácido-básica de la sangre por pérdida de CO₂, reduciendo la concentración de ácido carbónico (H₂CO₃), con el consecuente aumento en la sangre de la concentración de bicarbonato (HCO₃⁻), resultando en una alcalosis respiratoria; posteriormente, en aras de mantener la homeostasis del pH en la sangre, sigue una excesiva excreción de bicarbonato en la orina para regular sus niveles, concluyendo este proceso en una acidosis metabólica (West 2003; Nardone *et al.*, 2010), así como también acidosis ruminal, por disminución en la cantidad de bicarbonato disponible en la saliva y su flujo hacia el rumen (Nardone *et al.*, 2010).

Esta respuesta representa variaciones en la química sanguínea con ciclos de alcalosis-acidosis durante el día que alteran la homeostasis del animal (West, 2003). Adicional a la alteración ácido-básica y el aumento en la tasa respiratoria induce un esfuerzo muscular, reflejado en un gasto energético, que según la NRC, puede llegar a representar un aumento de hasta el 18% en los requerimientos nutricionales (Arias *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista hormonal, el cortisol parece ser la hormona más importante en las respuestas ante situaciones de estrés (Arias *et al.*, 2008). Frente a estas condiciones, la activación del eje hipotálamo-Hipófisis-Glándula

Adrenal incrementa la excreción de glucocorticoides (Christison y Johnson 1972; Möstl y Palme 2002), en especial de cortisol, aumentando sus concentraciones como respuesta ante el agente estresor (Silanikove, 2000). La liberación de glucocorticoides en eventos de estrés tiene como finalidad activar el metabolismo energético y potencializar los efectos de la adrenalina, hormona encargada de estimular la gluconeogénesis y la lipólisis, generando una movilización masiva de energía para responder ante la alteración homeostática en un estado de “salida o pelea” (Matteri *et al.*,2000).

Las hormonas tiroideas también se presentan como potenciales indicadores de estrés, modificando su homeostasis ante condiciones ambientales adversas. La reacción más característica de las hormonas tiroideas ante eventos de estrés calórico es su disminución (Starling *et al.*, 2005), dada su función en el mantenimiento de metabolismo y producción de calor, generando una reacción adaptativa ante las condiciones estresantes (McNabb, 1995).

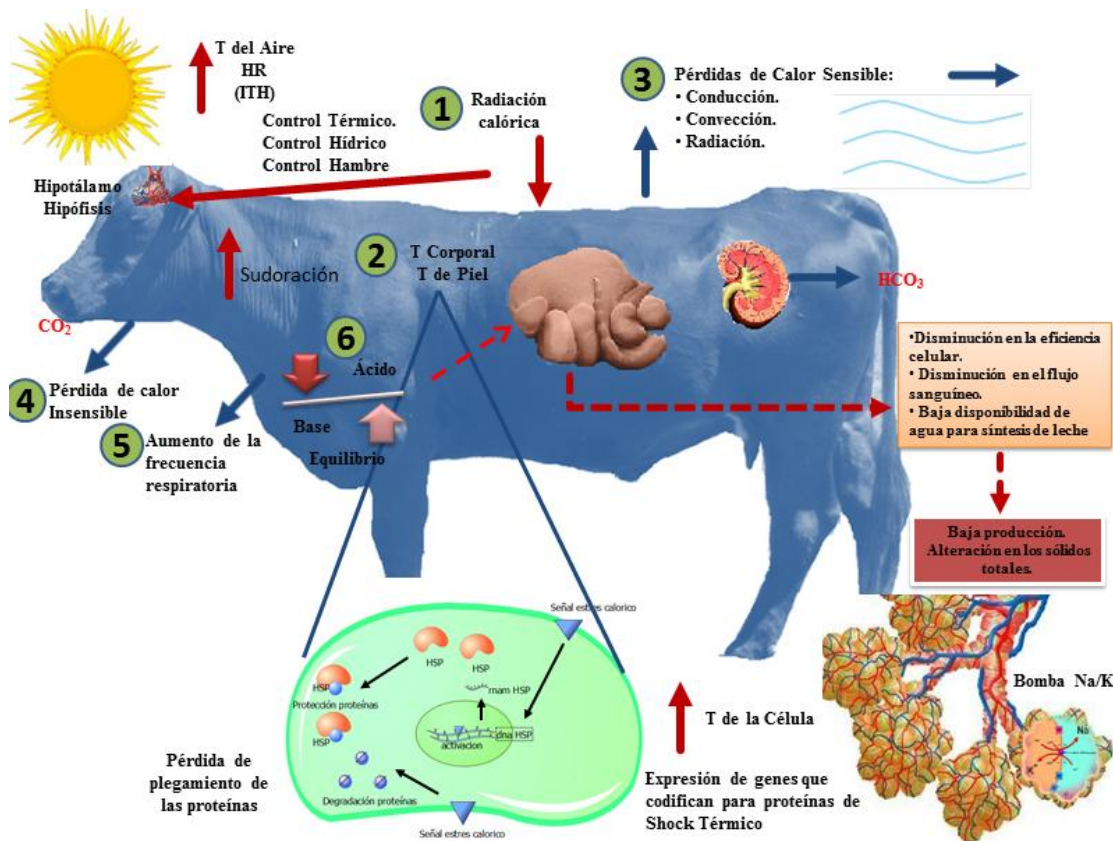


Figura 1. Efectos y consecuencias del estrés calórico en vacas de producción de leche.

Metodologías para la medición de estrés calórico

De acuerdo a la definición de que el estrés calórico es producto de todas aquellas combinaciones de variables ambientales que puedan causar alteración en la zona termoneutral (Bañuelos-Valenzuela y Sánchez-Rodríguez, 2005), las alternativas para su medición deben ir enfocadas a determinar los parámetros ambientales que modifican la zona termoneutral y los indicadores en el animal que reflejen la alteración en su homeostasis y sus mecanismos de respuesta.

En el entorno ambiental, los indicadores más relevantes para determinar el efecto en la capacidad de inducir estrés térmico en los animales son la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar (Arias *et al.*, 2008).

De los anteriores los más usados son la temperatura y la humedad relativa dada la capacidad de generar un índice entre las dos variables (Índice de Temperatura Humedad) con la posibilidad de predecir la reacción ante situaciones de estrés calórico (Collier y Zimbelman, 2007). El ITH, relaciona la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco para estimar la magnitud del estrés (Dikmen y Hansen, 2009), dada la capacidad que tienen ambos factores ambientales para interferir en los mecanismo de pérdida de calor (Arias *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos en estudios que relacionan los valores de ITH con las respuestas fisiológicas y productivas de los bovinos, han permitido categorizar el índice en rangos de estrés leves (<70), moderados (>72 y <79) y severos (>80) (Collier y Zimbelman, 2007).

Desde el punto del vista animal, la temperatura corporal, la tasa respiratoria y los niveles de algunas hormonas son quizás los factores más estudiados para determinar si el animal está sometido a estrés térmico (Ferreira *et al.*, 2006).

La temperatura corporal, ampliamente usada por ser un parámetro poco variable ante condiciones de termoneutralidad (Silanikove, 2000; Kadzere *et al.*, 2002), puede ser medida por vía rectal mediante el uso de termómetro clínico con columna de mercurio (Ferreira *et al.*, 2006; Britto Ferreira, 2010; Martello *et al.*, 2010) o mediante el uso de termómetro digital (Aengwanich *et al.*, 2010; O'Brien *et al.*, 2010) así como también internamente, con el uso de dispositivos intra-ruminales capaces de enviar información telemétrica a frecuencias cortas de tiempo durante todo el día (Kendall y Webster, 2009).

Además de la temperatura interna, también se ha usado como indicador de estrés la temperatura de la piel (Ferreira *et al.*, 2006) empleando el uso de termómetros infrarrojos para su medición (Martello *et al.*, 2010), permitiendo tomar el dato a una distancia con un rango entre 1.5 y 2 metros del animal.

Otros parámetros de temperatura han sido reportados en la literatura, sin embargo su uso es poco frecuente, entre los que se encuentran la temperatura

de la base interna de la cola, la temperatura de la vulva y la temperatura auricular (Martello *et al.*, 2010).

Los parámetros de temperatura antes descritos, han demostrado tener una correlación positiva, especialmente entre la temperatura corporal (rectal) y la temperatura de la piel (Martello *et al.*, 2010) indicando que este último parámetro puede ser utilizado para representar el estado del animal en condiciones de pastoreo.

La evaluación de la frecuencia respiratoria es directa y se realiza de manera visual, contabilizando el número de respiraciones por minuto observadas en el animal durante el día (Ferreira *et al.*, 2006; Britto Ferreira, 2010; Martello *et al.*, 2010). Sin embargo, el desarrollo de la tecnología permite realizar evaluaciones de frecuencia respiratoria utilizando herramientas telemétricas capaces de enviar información en tiempo real, evitando el sesgo de subjetividad (Schin *et al.*, 2009)

Desde el punto de vista hormonal, los indicadores más relacionados en la literatura son el cortisol y las hormonas tiroideas. Las evaluaciones sobre el cortisol inicialmente se plantearon tomando muestras de sangre, no obstante, dada la posibilidad de confusión en los resultados por la rápida reacción del cortisol en la sangre en condiciones de estrés, se han planteado métodos no invasivos como la determinación de cortisol en la leche, en la orina y en las heces (Möstl y Palme, 2002).

Los trabajos que relacionan la evaluación de cortisol en la sangre (Christison y Johnson, 1972; Parker *et al.*, 2004) consideran el uso de catéter o cánula en la yugular con la finalidad de hacer más rápido el proceso de colecta de la muestra y evitar alteraciones en las concentraciones del cortisol, ya que se ha demostrado que en aproximadamente 20 min aumenta la concentración de cortisol en la sangre como respuesta ante agentes estresores (Christison y Johnson, 1972).

Los estudios relacionados con las hormonas tiroideas revelan la posibilidad de evaluar este indicador en sangre, orina, leche y heces, estableciendo las concentraciones hormonales por la técnica de radioinmunoensayo (Magdub *et al.*, 1982).

Efecto del estrés calórico en el comportamiento animal

El comportamiento como respuesta al estrés calórico se define como todas aquellas actividades fenotípicas que el animal puede modificar con la finalidad de disminuir la carga calórica en el cuerpo (Damasceno *et al.*, 1999). Entre estas actividades, las más importantes son las que conforman el comportamiento en pastoreo, descrito como la secuencia de eventos (ingesta, rumia, bebida, etc.) que realizan los animales en la obtención de nutrientes para su mantenimiento y productividad (Martínez *et al.*, 2002).

En la actualidad, la evaluación del comportamiento en pastoreo ha tomado mucho interés debido a la valiosa información que se obtiene (Patiño *et al.*, 2008), la cual se puede aplicar como prácticas de manejo con la finalidad de aumentar la productividad y garantizar un mejor estado de salud y longevidad en los animales (Silva *et al.*, 2007) así como también para medir el efecto del ambiente sobre el animal.

Como respuesta ante situaciones de estrés térmico, los dos mecanismos de más importancia desde el punto de vista conductual son: la disminución del consumo de materia seca (Silanikove 2000; Kadzere *et al.*, 2002; West 2003; Nardone *et al.*, 2010) y la búsqueda de sombra (Silanikove 2000; Pires *et al.*, 2001).

La reducción en el consumo de materia seca ha sido documentada, y se basa en la necesidad de reducir la producción de calor metabólico en el animal (Collier *et al.*, 1982). Está determinado que la carga calórica producto del metabolismo en un animal de 600 kg de peso vivo produciendo 40 kg de leche y 4% de grasa puede llegar a representar el 31% la energía consumida (West, 2003).

El consumo de materia seca (CMS) en los bovinos es probablemente el factor más determinante en la productividad animal. Bajo condiciones de trópico bajo, y desde el punto de vista metabólico, el CMS está fuertemente limitado por los mecanismos que regulan la temperatura corporal, hasta el punto de señalarse que la reacción más importante a las exposiciones a altas temperaturas (estrés calórico) es la disminución en este proceso (Correa, 2002).

Existen muchas maneras de medir consumo voluntario, con la finalidad de estimar la cantidad de alimento ingerido, entre las cuales se encuentra la estimación con el uso de marcadores externos (Itrbio y Cromo) e internos (FDNI y FDAI) y la aplicación de métodos indirectos como la estimación mediante el método agronómico y la observación del comportamiento ingestivo o de pastoreo (Lascano, 1990), así como también la estimación mediante el uso de los *n*-alcanos de cadena par (sintético) e impar (planta) (De Oliveira y Prates, 2000).

Desde el punto de vista ambiental, el comportamiento en pastoreo refleja una respuesta ante la carga calórica (Hahn, 1999) motivo por el cual puede ser empleado como un indicador de estrés calórico e indirectamente de bienestar animal (Britto, 2010). El cese en esta actividad, está fuertemente relacionado con la disminución en el CMS, el cual depende del tiempo que dedique el animal a cosechar forraje.

El animal afecta su comportamiento cambiando los patrones de consumo de alimento y actividades sí la necesidad de disminuir la carga calórica es mayor que la necesidad de alimentarse (Paranhos da Costa, 2000). Estudios

realizados bajo condiciones de sol y sombra, han demostrado que el tiempo de consumo de alimento se reduce cuando el animal está sometido a la radiación directa, ya sea bajo condiciones de estabulación (Brown-Brandl *et al.*, 2005; Fernandes, 2005), o en pastoreo (Pires *et al.*, 2001; Britto, 2010). Esta reducción en el consumo de materia seca puede estar acompañada en la modificación de la dieta consumida, alterando la proporción de nutrientes ingeridos con la finalidad de minimizar la producción de calor metabólico (Fernandes, 2005).

Los estudios realizados por Betancourt *et al.*, 2003; Britto Ferreira, 2010, sugieren que los animales que pastorearon bajo condiciones de sombra, invirtieron entre 5 y 10% más tiempo a la actividad de pastoreo. Sin embargo, aquellos animales que pastorearon bajo condiciones de sol, alteraron los patrones de consumo de alimento para llenar sus requerimientos alimenticios, invirtiendo más tiempo de pastoreo en las horas de la noche cuando la carga calórica es menor (Mahecha *et al.*, 2001; Pires *et al.*, 2001).

Otro punto de vista de mucho interés en el comportamiento alterado por situaciones de estrés calórico, es la búsqueda de sombra. Esta conducta es la primera actividad que realiza el animal, dado que la inversión energética es mínima comparada con otros mecanismo para disipar calor (Yokoyama *et al.*, 2004). Pires afirma que la necesidad en la búsqueda de sombra es quizás la respuesta más obvia al estrés calórico, con la finalidad de mantener a temperatura corporal en la zona termoneutral (Pires *et al.*, 2001).

Efecto del estrés calórico en la producción y calidad de leche

La alteración de la homeostasis en el animal como consecuencia del estrés calórico, induce respuestas fisiológicas y comportamentales que acarrear gastos energéticos (Collier y Zimelman, 2007) y consecuentemente disminuyen la producción de leche, especialmente en animales de alto mérito genético (West, 2003; Nardone *et al.*, 2010). Este factor de alteración además de influir directamente en la fisiología del animal, repercute en la eficiencia productiva de la empresa ganadera por reducción en sus ingresos en venta de leche (Kadzere *et al.*, 2002).

La producción de calor metabólico en las vacas lecheras es el resultado del aumento en el metabolismo por mayor ingestión de materia seca, actividad física y producción de leche (West, 2003). Este incremento es más sensible a medida que se aumenta la capacidad productiva del animal, reduciendo los límites de altas temperaturas que pueden ser soportados (Berman, 2005); El mismo autor indica que incrementos en producción de leche al pasar de 35 a 45 kg día⁻¹ disminuyen el límite de temperatura para estrés calórico en vacas Holstein en 5°C.

Está demostrado que el efecto calórico es directamente proporcional a la producción de leche y al estado productivo, indicando que vacas de alta producción son más susceptibles a sufrir estrés por calor que vacas de baja producción y estas a su vez, comparadas con vacas no lactantes. Por ejemplo, la producción de calor generada en vacas que producen 18.5 y 31.6 kg de leche día⁻¹ es 27.3 y 48.6% mayor respectivamente, que la que genera un animal no lactante (Purwanto *et al.*, 1990).

Clásicamente el efecto de la temperatura sobre el estrés calórico y su impacto sobre la producción de leche ha sido medido a través del Índice de Temperatura Humedad (ITH), estandarizando la evaluación con este indicador a nivel mundial (Bouraoui *et al.*, 2002). Está establecido que por encima de 72 puntos en el ITH, se reduce la producción de leche y la ingestión de alimentos (Tucker *et al.* 2008), alcanzando una pérdida láctea entre 10 y 40% para vacas de la raza Holstein (Bouraoui *et al.*, 2002).

Estudios relacionados con la disminución en la producción de leche en función del ITH, revelan que este factor está fuertemente influenciado por la reducción en el consumo de materia seca, el cual puede alcanzar valores de 10% al pasar de un ITH de 68 a 78 puntos (Bouraoui *et al.*, 2002), indicando que la disminución en el CMS como respuesta al estrés calórico, es el principal factor de disminución del volumen de leche.

La alteración de la homeostasis térmica en el animal, además de afectar el volumen de leche producido, también afecta su calidad. Bouraoui *et al.* (2002) indican que bajo condiciones de estrés, el animal disminuye el consumo voluntario de alimento, y además, aumenta la selectividad del mismo para evitar ingestión de alimentos que produzcan mucho calor a partir de procesos fermentativos. Lo que conlleva a una disminución en la ingestión total de nutrientes necesarios para la síntesis de la leche en la glándula mamaria.

Las alteraciones del estrés calórico en la glándula mamaria reducen su funcionalidad, afectando la calidad de la leche producida (Silanikove, 2000). Está estimado para vacas Holstein que los contenidos de sólidos no grasos y proteína en la leche, pueden bajar hasta un 18,9 y 16% respectivamente, cuando el animal está sometido a estrés (Kadzere *et al.*, 2002). También se ha reportado que la grasa en la leche puede presentar variaciones en respuesta a aumentos en el ITH, pasando de 3.58 a 3.24%, en animales de la misma raza (Bouraoui *et al.*, 2002).

Con relación a la fracción proteica en la leche Bouraoui *et al.* (2002) indican que el aumento en el ITH reduce la proporción de caseínas en la leche y dentro de esta familia proteica, las reducciones más evidentes se aprecian en la α -caseína (17%) y β -caseína (18%).

La adición de grasa en la dieta, ha sido reportada como complemento para animales en condiciones de estrés calórico, por el bajo aporte en la producción de calor metabólico y la alta densidad energética comparada con otros nutrientes, con la finalidad de aumentar la calidad de la leche. Sin embargo, los resultados obtenidos para estas dietas son muy dependientes del estatus fisiológico del animal, la condición medio-ambiental a la que está sometida, su nivel de producción y la disponibilidad de la materia prima (Moura *et al.*, 2002).

Efecto del estrés calórico en la reproducción y sanidad animal.

La reproducción es uno de los pilares fundamentales en eficiencia biológica y económica de cualquier empresa ganadera. Bajo condiciones de estrés por calor, este es uno de los factores que rápidamente se ve afectado, impidiendo el desarrollo normal de los eventos necesarios para que los animales se reproduzcan.

El estrés calórico es el factor que más contribuye a la baja fertilidad en vacas bajo programas de inseminación, afectando la tasa de concepción de 20 a 30% (Rensis y Scaramuzzi, 2003). Esta alteración en la fertilidad está influenciada por modificaciones en las funciones celulares como respuesta a la hipertermia, redistribución del flujo sanguíneo, disminución en el consumo de materia seca y alteración en el estatus ácido-básico de la sangre, afectando partes o tejidos del sistema reproductivo (Wolfenson *et al.*, 2000).

Jordan (2003), en su revisión sobre los efectos del estrés calórico en la reproducción, cita un amplio número de trabajos donde indican que este factor puede inducir la alteración en la duración del estro, afectar la calidad del calostro, la tasa de concepción, la función uterina, el estatus hormonal, el desarrollo folicular y el crecimiento fetal, indicando que este evento altera procesos de mucha importancia en el desarrollo reproductivo del animal.

La presencia del estro ha sido reportada en ensayos con animales sometidos a estrés calórico y a ventilación forzada. Los resultados indican que aquellos animales sometidos a ventilación presentan mayor comportamiento en estro (71,4%) que aquellos sometidos a estrés (33%), lo que significa la presencia de un aumento en celos silenciosos en el último grupo (Younas *et al* 1993). En el contexto ovárico, vacas Holstein sometidas a estrés, retrasan el proceso de luteolisis 9 días más comparadas con vacas en su zona termoneutral (Wilson *et al.*, 1998).

Los anteriores autores indican el efecto del estrés sobre las características reproductivas en la hembra, sin embargo los machos también se ven afectados por esta condición, alterando la calidad, motilidad y el desarrollo espermático, lo cual conlleva a eventos de subfertilidad, causada en el hato (Nardone *et al.*, 2010).

Además de los efectos en la reproducción, el estrés también se relaciona con alteraciones en el estado de salud del animal. Kadzere *et al.* (2002) reporta que animales bajo condiciones de estrés son mucho más susceptibles al ataque de parásitos interno y externos, así como también a retención en la placenta con incidencia de metritis clínica (Kadzere *et al.*, 2002). Otro aspecto que relaciona la literatura en la salud animal como resultado del estrés térmico, es la disminución en el potencial de respuesta del sistema inmune en el individuo, ya sea por disminución en la cantidad de inmunoglobulinas en el calostro o por reducción en la actividad de las células que conforman este sistema (Nardone *et al.*, 2010). Respecto a este último evento, se ha demostrado que bajo condiciones de estrés, se reduce el número de linfocitos T circulantes en la sangre (Hahn, 1999). Sin embargo, ésta disminución es variable entre animales de especies *Bos indicus* y *Bos taurus*, indicando que Linfocitos T provenientes de la primera especie, son más resistentes a alteraciones en la temperatura que los de la otra especie (Hansen, 2004).

Alternativas para contrarrestar el estrés calórico

El conocimiento de las alternativas para mitigar el impacto negativo de las variables ambientales sobre el animal, es un factor preponderante en el éxito de toda empresa ganadera bajo condiciones de trópico bajo. Las alternativas pueden ir desde la oferta de sombra artificial, ventilación forzada y atomizadores de agua en el ambiente, hasta la inclusión de árboles en los potreros y diseño de sistemas silvopastoriles.

El aporte de sombra es tal vez la mejor herramienta para mitigar el efecto del estrés calórico en animales bajo pastoreo o en condiciones de estabulación. La búsqueda de sombra por parte del animal ha sido documentada con mayor preferencia cuando aumenta la intensidad de radiación (Tucker *et al.*, 2008), sin tener en cuenta el tipo de material que la ofrezca (Schutz *et al.*, 2008).

Dentro de las opciones de sombra artificial se encuentran el uso hojas metálicas corrugadas, por eficiencia en durabilidad, bajo costo y poca manutención. Sin embargo, se recomienda que sean pintadas de blanco para reducir la emisión de radiación. Así como también el uso de maderas, palma o tela (polisombra) con lo cual se alcanza a ofrecer hasta un 80% de sombra (Armstrong, 1994).

Todas las evaluaciones en las cuales se ofrece sombra artificial o posibilidad de sombra han concluido con un efecto positivo en la disminución de los efectos deletéreos de la radiación directa en la frecuencia espiratoria, temperatura de la piel, comportamiento animal y producción de leche (Armstrong, 1994; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Schutz *et al.*, 2008; Tucker *et al.*, 2008). Sin embargo la construcción de estas estructuras acarrea un costo elevado dependiendo del tipo de estructura y material utilizado. Estudios realizados por Roman-Ponce *et al.* (1977) para evaluar el efecto fisiológico y

productivo de ganado de leche bajo estructuras con sombra, informa que para construir una nave en concreto (9.1 m ancho por 24.4 metros de largo) y con techo aislado y piso en concreto, el costo puede alcanzar los \$8.000 dólares, con posibilidad de albergar entre 30 y 33 vacas.

La ganadería Colombiana no podría sostener los costos de establecimiento de este tipo de infraestructura artificial para mitigar el estrés calórico en los animales, dado que sus ingresos no compensarían los gastos necesarios para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Otro tipo de herramienta que ha sido evaluada para mitigar el estrés calórico en el animal es la sombra que proveen los árboles. Está documentado que bajo la sombra de los árboles se logra reducir la temperatura ambiente entre 2 y 9 °C en las horas más calurosas del día (Navas, 2010).

La inclusión de árboles en los potreros y su interrelación con el suelo y los animales, conforman un sistema silvopastoril. Autores como Cajas-Girón *et al.*, (2002) y Mahecha (2003) presentan estudios que demuestran el efecto de este tipo de sistemas de producción bovina sobre el bienestar animal y la capacidad de mitigar el efecto negativo de la radiación directa sobre el mismo para la Región Caribe y Valles inter andinos respectivamente. Además de otro tipo de beneficios en el suelo y en la biodiversidad de los agro-ecosistemas ganaderos.

Los sistemas silvopastoriles son prácticas del uso del suelo que involucran deliberadamente una combinación de árboles (incluyendo arbustivas, palmas y bambos) y animales en la misma unidad de tierra, en un arreglo espacial o de secuencia temporal que resulta en interacciones económicas y ecológicas entre el componente leñoso, el animal, el suelo y el ambiente (Sinclair, 1999). Estas prácticas del uso del suelo son generalmente caracterizados para una mayor productividad comparada con pasturas en monocultivo, debido a la estratificación en la superficie y debajo del suelo de los diferentes componentes del sistema (Cajas-Girón *et al.*, 2002). Desde el punto de vista de estrés calórico en los bovinos, este sistema de producción se constituye en una barrera física entre el ambiente y el animal, aportando sombra y disminuyendo el impacto directo de la radiación solar.

Bajo cobertura de árboles en sistemas silvopastoriles los animales pastorean por más tiempo (22.15%), y reducen su temperatura corporal con relación a animales que pastorean en potreros sin cobertura arbórea (17.5%) (Betancourt *et al.*, 2003). De igual forma, Britto (2010) también reporta incrementos en el porcentaje de tiempo dedicado al pastoreo bajo sistemas silvopastoriles (65%) comparados con sistemas sin sombra (55%) y con sombra artificial con oferta de de 4m² de área cubierta (55%).

En términos fisiológicos, estos sistemas de producción por poseer sombra uniforme en los potreros, minimizan la carga calórica en el animal con registros

en reducción de temperatura rectal de 0.5 grados centígrados entre sistemas con cobertura arbórea alta, comparados con aquellos de cobertura baja (Betancourt *et al.*, 2003). De igual manera se han observado disminuciones en la carga calórica entre la mañana y la tarde, favoreciendo una menor carga de calor en animales que pastorean en sistemas silvopastoriles (1.3 °C) que aquellos que pastaban en sistemas sin sombra (1.8 °C) (Britto Ferreira, 2010).

No obstante no debe ser entendido que solo los sistemas con arreglo de árboles espaciados son los que funcionan en la reducción del estrés. Existen trabajos comparando el efecto de los árboles en la temperatura de piel de animales pastoreando bajo pequeños bosques, árboles aislados y a pleno sol, que indican diferencias significativas en este parámetro cuando es comparado el sistema de árboles dispersos y el que presenta ausencia de sombra, lo que evidencia que la oferta de sombra de árboles aislados contribuye a reducir la temperatura de piel en 0.5 °C (Navarini *et al* (2009).

En términos de productividad animal, estos sistemas también han demostrado efectos benéficos, concordando con la reducción del estrés en los animales y con ello un mejor desempeño del animal para la producción de leche. Bajo sistemas con arreglos multiestratos Cajas-Girón (2002) reporta incrementos entre 20 y 50% en la producción de leche por ha⁻¹ día⁻¹ comparado con una pradera sin árboles durante la época seca. Así mismo, Betancourt *et al.* (2003) en sistemas de alta cobertura indica una producción por vaca con incrementos de 1 litro comparado con sistemas de baja cobertura arbórea.

Consideraciones finales

El entendimiento de los procesos que conllevan a un estado de estrés por calor en animales, ayudará a comprender los mecanismos por los cuales el animal inicia una respuesta que puede ser efectiva o no en la medida que el efecto que altere la homeostasis sea severa o leve. Sin embargo, conocer cómo se altera la fisiología del animal y qué respuestas se desencadenan, son la base fundamental para ejecutar programas que minimicen el impacto del ambiente sobre los animales.

Los costos de establecimiento son un importante punto de referencia para el desarrollo de herramientas que ayuden a mitigar el efecto del estrés en el animal. La literatura referencia opciones para producción de sombra artificial, sin embargo bajo condiciones de ganaderías extensivas ésta no es la mejor opción. El desarrollo de sistemas silvopastoriles se presenta como una mejor opción en términos de costos y beneficios dada la posibilidad de obtener más productos aparte de la leche y la carne que ofrece la ganadería.

El diseño de sistemas silvopastoriles debe ser un proceso apoyado en necesidades limitantes y fortalezas que posea una explotación ganadera, con el objetivo de establecer un sistema funcional que ayude a restar la carga

calórica en el animal, contribuya a ofrecer alimento de buena calidad y no afecte la producción del estrato herbáceo.

Considerando que existen diversos arreglos que pueden ser utilizados en los sistemas silvopastoriles, la evaluación de respuestas fisiológicas en condiciones de alta temperatura en cada uno de ellos, permitirían determinar cómo el arreglo de árboles en potreros contribuye a disminuir el estrés calórico y a mejorar el bienestar animal.

Referencias bibliográficas

Aengwanich, W. Kongbuntad, W. Boonsorn, T. 2010 "Effects of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle." *International Journal of Biometeorology*: 1-8.

Arias, RA Mader, TL Escobar, PC 2008. "Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche." *Arch Med Vet* 40: 7-22.

Armstrong, D. 1994. "Heat stress interaction with shade and cooling." *Journal of dairy science* 77(7): 2044-2050.

Bañuelos-Valenzuela, R. and S. H. Sánchez-Rodríguez 2005. "La proteína de estrés calórico hsp70 funciona como un indicador de adaptación de los bovinos a las zonas áridas." *REDVET*.

Berman, A. 2005. "Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows." *Journal of animal science* 83(6): 1377.

Betancourt, K. Ibrahim, M. Harvey, C. Vargas, B. 2003. "Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua." *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 47-51.

Bouraoui, R. Lahmar, M. Majdoub, A. Djemali, M. Belyea, R. 2002. "The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate." *Animal Research* 51(6): 479-492.

Britto Ferreira, L. 2010. "Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra " *Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas. : 89.*

Broom, D. and C. Molento 2004. "BEM-ESTAR ANIMAL: CONCEITO E QUESTÕES RELACIONADAS–REVISÃO (Animal welfare: concept and related issues–Review)." *Archives of Veterinary Science* 9(2): 1-11.

Broom, D. M. 1991. "Animal welfare: concepts and measurement." *Journal of animal science* 69(10): 4167.

Brown-Brandl, TM Eigenberg, RA Nienaber, JA Hahn, G.L. (2005). "Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators." *Biosystems Engineering* 90(4): 451-462.

Cajas-Girón YS 2002 Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia. PhD thesis, University of Wales, Bangor. UK. 214 pp.

Collier, RJ Beede, DK Thatcher, WW Israel, LA Wilcox, CJ 1982. "Influences of Environment and Its Modification on Dairy Animal Health and Production1." *Journal of dairy science* 65(11): 2213-2227.

Collier, R. J. and R. B. Zimbelman 2007. Heat stress effects on cattle: What we know and what we don't know.

Correa, H. J. 2002. LIMITACIONES METABOLICAS PARA LA PRODUCCION BOVINA EN EL TROPICO BAJO. Seminario: Estrategias de alimentación en la ganadería y su impacto en la productividad. , Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias.

Christison, G. I. and H. D. Johnson 1972. "Cortisol turnover in heat-stressed cow." *Journal of animal science* 35(5): 1005-1010.

Damasceno, J.C. Baccari Jr, F. Targa, L.A. 1999. "Respostas comportamentais de vacas holandesas com acesso a sombra constante ou limitada." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34(4): 709-715.

De Oliveira, D. E. and Ê. R. Prates 2000. "Utilização dos componentes da cera das plantas, em especial os n-alcanos, em estudos de nutrição de ruminantes." *Ciência Rural* 30(3).

Dikmen, S. and P. Hansen 2009. "Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?" *Journal of dairy science* 92(1): 109-116.

Fernandes, A. C. 2005. "Efeito do estresse térmico sobre a seleção de dieta por bovinos." *Efeito do estresse térmico sobre a seleção de dieta por bovinos.*

Ferreira, F. Pires, MF Martinez, ML Coelho, SG Carvalho, AU Ferreira, PM Facury Filho, EJ Campos, WE 2006. "Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico; Physiologic parameters of crossbred cattle subjected to heat stress." *Arq. bras. med. vet. zootec* 58(5): 732-738.

Finch, V. 1986. "Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics." *Journal of animal science* 62(2): 531.

Hahn, G. L. 1999. "Dynamic responses of cattle to thermal heat loads." *Journal of animal science* 77 Suppl 2: 10-20.

Hansen, P. 2004. "Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress." *Animal reproduction science* 82: 349-360.

Hildebrandt, B. Wust, P. Ahlers, O. Dieing, A. Sreenivasa, G. Kerner, T. Felix, R. Riess, H. 2002. "The cellular and molecular basis of hyperthermia." *Critical reviews in oncology/hematology* 43(1): 33-56.

Jordan, E. 2003. "Effects of heat stress on reproduction." *Journal of dairy science* 86: E104-E114.

Kadzere, CT Murphy, MR Silanikove, N. Maltz, E. 2002. "Heat stress in lactating dairy cows: a review." *Livestock Production Science* 77(1): 59-91.

Kendall, P. and J. Webster 2009. "Season and physiological status affects the circadian body temperature rhythm of dairy cows." *Livestock Science* 125(2-3): 155-160.

Lascano, C. 1990. *Metodologías para Medir Consumo en Pastoreo. Nutrición de Rumiantes: Guía Metodologica de Investigación.* M. Ruiz and A. Ruiz. San Jose de Costa Rica, IICA: 344.

Magdub, A., H. Johnson, et al 1982. "Effect of Environmental Heat and Dietary Fiber on Thyroid Physiology of Lactating Cows¹." *Journal of dairy science* 65(12): 2323-2331.

Mahecha, L. Rosales, M. Molina, CH Ibrahim, M. 2001. "Grazing, Browsing time and milk production of Lucerna cows in a silvopastoral system in different seasons of the year."

Maia, A.S.C. Gomes da Silva, R. Bertipaglia, E.C.A. 2005. "Environmental and genetic variation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cows under tropical conditions." *Livestock Production Science* 92(3): 307-315.

Martello, L. S. Savastano, H., Jr. Silva, S. L. Balieiro, J. C. 2010. "Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals." *Int J Biometeorol* 54(6): 647-652.

Martindale, J. L. and N. J. Holbrook 2002. "Cellular response to oxidative stress: signaling for suicide and survival." *Journal of cellular physiology* 192(1): 1-15.

Martínez, ED Pulido, RG Latrille, L. 2002. "Efecto de la paja de trigo tratada con alcali sobre el consumo de alimento y comportamiento ingestivo de vacas lecheras." *Archivos de medicina veterinaria* 34(2): 199-212.

Matteri, RL Carroll, JA Dyer, CJ 2000. Neuroendocrine Responses to Stress. The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare. G. P. Moberg and J. A. Mench, CABI Publishing: 43.

McNabb, F. 1995. "Thyroid hormones, their activation, degradation and effects on metabolism." The Journal of nutrition 125(6 Suppl): 1773S.

Morberg, G. 2000. Biological Response to Stress: Implication for animal welfare The Biology of Animal Stress: Basic Principles and implications for Animal Welfare. G. Morberg and J. Mench, Cabi Publishing: 1-19.

Möstl, E. and R. Palme 2002. "Hormones as indicators of stress." Domestic Animal Endocrinology 23(1-2): 67-74.

Moura, A. Araujo, A. Pimentel, P. 2002. HEAT STRESS, DIETARY FAT AND REPRODUCTIVE MANAGEMENT OF DAIRY COWS. IV Simpósio Cearense de Ciência Animal e II Simpósio Nordeste de Buiatria. Buiatria-Brasil.

Nardone A, Lacetera N, Bernabucci U and Ronchi B 1997 Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. Journal of dairy science, 80(5):838-44.

Franciele c. Navarini, elcio s. Klosowski, alessandro t. Campos, rodrigo de a. Teixeira, clécio p. Almeida 2009). Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.4, p.508-517

Navas, A. 2008. "Efecto de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico y su importancia en la producción bovina tropical." El Cebú 359: 14-17.

Navas, A. 2010. "Importance of silvopastoral systems on caloric stress reduction in tropical livestock productions." Rev. Med. Vet(19): 113-122.

O'Brien, MD Rhoads, RP Sanders, SR Duff, GC Baumgard, LH 2010. "Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle." Domestic Animal Endocrinology 38(2): 86-94.

Paranhos da Costa, M. 2000. "Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto." Anais de Teología 18: 26-42.

Park, H. G. Han, S. I. Oh, S. Y. Kang, H. S. 2005. "Cellular responses to mild heat stress." Cellular and molecular life sciences : CMLS 62(1): 10-23.

Parker, AJ Hamlin, GP Coleman, CJ Fitzpatrick, LA 2004. "Excess cortisol interferes with a principal mechanism of resistance to dehydration in Bos indicus steers." Journal of animal science 82(4): 1037.

Patiño, R.M Gonzales, K. Porras, F. Salazar, L. Villanueva, C. Gil, J 2008. "Comportamiento ingestivo diurno y desempeño de novillos en pastoreo pertenecientes a tres grupos genéticos durante dos épocas climáticas." LRRD 20(3).

Pereira, C. 2005. "Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal." Belo Horizonte: FEPMVZ.

Pires, M.F.Á. de Campos, A.T. Novaes, L.P. 2001. "Razas lecheras: ambiente y comportamiento animal en los trópicos."

Purwanto, BP Abo, Y. Sakamoto, R. Furumoto, F. Yamamoto, S. 1990. "Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production." The Journal of Agricultural Science 114(02): 139-142.

Rensis, F. D. and R. J. Scaramuzzi 2003. "Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow--a review." Theriogenology 60(6): 1139-1151.

Roman-Ponce, H. Thatcher, WW Buffington, DE Wilcox, CJ Van Horn, HH 1977. "Physiological and Production Responses of Dairy Cattle to a Shade Structure in a Subtropical Environment1." Journal of dairy science 60(3): 424-430.

Schin, S. Acosta, M. Reta, J.M. Vicentin, J. Pueyo, J. Mansilla, A. 2009. Prototipo de sistema para la detección de estrés calórico en rumiantes. XVII CONGRESO ARGENTINO DE BIOINGENIERIA y VI JORNADAS DE INGENIERIA CLINICA. Ciudad del Rosario.

Schutz, K.E. Cox, N.R. Matthews, L.R. 2008. "How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation." Applied Animal Behaviour Science 114(3-4): 307-318.

Silanikove, N. 2000. "Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants." Livestock Production Science 67(1-2): 1-18.

Silva, R. G., D. A. E. F. Morais, et al (2007). "Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions." Revista Brasileira de Zootecnia 36(4): 1192-1198.

Starling, J.M.C. da Silva, R.G. Negrão, J.A. Sandro, A. Maia, C. Bueno, A.R. 2005. "Variação Estacional dos Hormônios Tireoideanos e do Cortisol em Ovinos em Ambiente Tropical1." R. Bras. Zootec 34(6): 2064-2073.

Tucker, C. B. Rogers, A. R. Schutz, K. E. 2008. "Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system." Applied Animal Behaviour Science 109(2-4): 141-154.

West, J. W. 2003. "Effects of heat-stress on production in dairy cattle." *Journal of dairy science* 86(6): 2131-2144.

Wilson, S. J. Marion, R. S. Spain, J. N. Spiers, D. E. Keisler, D. H. Lucy, M. C. 1998. "Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. Lactating cows." *Journal of dairy science* 81(8): 2124-2131.

Wolfenson, D. Roth, Z. Meidan, R 2000. "Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects." *Animal reproduction science* 60: 535-547.

Yokoyama, -. K. J. S., Alzina-López Alejandro , Farfán-Escalante Jorge C. , Valencia-Heredia Eduardo R. 2004. "Respuestas conductuales termoregulatorias de búsqueda de sombra en bovinos cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* criados en la zona costera y oriente del estado de Yucatán." *Rev Biomed* 15: 17-26.

Younas, M. Fuquay, JW Smith, AE Moore, AB 1993. "Estrous and Endocrine Responses of Lactating Holsteins to Forced Ventilation During Summer1." *Journal of dairy science* 76(2): 430-436.

Sinclair FL. Trees in fields and farming landscapes: special issue on agroforestry. *Scottish Forestry* 1999; 53: 1-64.

Capítulo II. Efecto de tres modelos silvopastoriles de estratos múltiples sobre el estrés calórico de vacas en el sistema de producción doble propósito en la región Caribe Colombiana.

Wilson Andrés Barragán-Hernandez¹, Liliana Mahecha-Ledesma², Yasmin Socorro Cajas-Girón¹.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Centro de Investigación Turipaná. Km 13 vía Montería - Cereté (Córd.) – Colombia.

**Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA)- Producción Animal Sostenible.*

Ciudadela de Robledo, Carrera 75 N° 65-87, Medellín (Ant) - Colombia

wbarraganh@corpoica.org.co

Resumen

La ganadería en la región Caribe Colombiana enfrenta varios limitantes biofísicos para aumentar su eficiencia técnica y económica, entre los cuales se resaltan la degradación de suelos y praderas, y el incremento de la variabilidad climática (aumento de la temperatura del aire y disminución de las lluvias). El establecimiento de sistemas silvopastoriles se constituye en una herramienta para enfrentar la variabilidad climática y potencializar el sistema de producción doble propósito en la región Caribe Colombiana, mediante su contribución a la mitigación del efecto deletéreo del ambiente sobre los animales. Con el objeto de evaluar el efecto de tres modelos silvopastoriles y de una pradera sin árboles en las variables fisiológicas y metabólicas que determinan estrés calórico en los animales, se evaluaron 16 vacas de cruces Romosinuano x Holstein x Cebú con un peso promedio de $436 \pm 64,2$ kg y 56 ± 28 días en lactancia. En cada tratamiento se evaluó la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR). Fueron aleatorizadas 4 vacas por tratamiento a las cuales se les determinó la temperatura rectal (TR), temperatura de piel (TP), frecuencia respiratoria (FR) y el estatus ácido-básico. Todas las variables se determinaron en horario AM (mañana), y PM (tarde). Se observó una tendencia ($p=0.0786$) en la TA con 5,1 y 4,6% menos temperatura en el tratamiento silvopastoril pasto-Arbustos-Arbóreas (p-Arbust-Arbo) y pasto-Arbóreas (p-Arbo) respectivamente, comparados con el tratamiento sin árboles. La hora de evaluación fue significativa ($p<0.05$) con un incremento de 44% y una reducción de 79% en la evaluación AM/PM para la TA y HR respectivamente. Las variables TR, TP y FR registraron efecto de la interacción entre los tratamiento evaluados y la hora de muestreo (AM/PM) ($p<0.05$). Los

incrementos en TR al pasar de la evaluación AM a la PM en el tratamiento sin árboles fueron en promedio 0.9 °C, y para el tratamiento pasto-Arbustos (p-Arbust) 1.1 °C. Así mismo se registraron aumentos ($p < 0.05$) en la temperatura de piel 15.6 y 9.1% y en la frecuencia respiratoria de 42.5 y 62.4% respectivamente para los tratamientos Pasto y p-Arbus. No se registraron efectos significativos para los tratamientos p-Arbo y p-Arbust-Arbo en las variables TR, TP y FR. Se registraron efectos significativos ($p < 0.05$) de la interacción tratamiento por hora en el pH sanguíneo, observándose un incremento relativo de 0.1 y 0.6% al pasar del horario AM al PM en los tratamientos Pasto y p-Arbust, de igual forma en se registró una tendencia ($p = 0,0614$) en la disminución de las concentraciones de la presión parcial de dióxido de carbono en la sangre (pCO_2) en los tratamientos Pasto, p-Arbust y p-Arbo-Arbo, indicando modificaciones en el estatus ácido básico. Los resultados evidenciaron un efecto de los sistemas silvopastoriles con cobertura arbórea en la reducción de las respuestas fisiológicas ante condiciones de estrés calórico, principalmente en las horas de mayor susceptibilidad de los animales al estrés calórico. Las modificaciones ácido-básicas como respuesta al estrés fueron evidentes, sin embargo no alcanzaron una fase aguda posiblemente a la eficiencia de los mecanismos empleados para perder calor por los animales del grupo genético utilizado.

Introducción

En la región Caribe Colombiana, el sistema de producción doble propósito representa el 68% de la ganadería regional, ocupando el 73% del área destinada a la producción bovina (MADR, 2011; FEDEGAN 2009). En la mayoría de los predios ganaderos, esta actividad se desarrolla de manera extensiva, con bajos niveles tecnológicos, lo que condiciona una baja eficiencia biológica y económica (Perez *et al.*, 1998).

Los sistemas ganaderos de producción extensiva se caracterizan por poseer monocultivo de gramíneas y la ausencia de árboles (Navas, 2010). Cajas-Giron y Sinclair (2001) reportan un rango de 3 a 50 árboles ha^{-1} en los predios ganaderos de la región Caribe, indicando una baja cobertura y oferta de sombrío para los animales, lo que predispone al animal a condiciones ambientales que alteren su homeostasis térmica.

El estrés calórico, definido como la incapacidad que tiene el animal para mantener en homeostasis su temperatura corporal (Broom and Molento, 2004), se genera como respuesta biológica cuando el individuo percibe un factor de amenaza que incrementa su temperatura corporal por encima de los registros normales (Morberg, 2000). En el entorno ambiental, los indicadores más relevantes para determinar estrés térmico en los animales son la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar (Arias, Mader, and Escobar, 2008; Collier y Zimbelman, 2007).

Basados en la definición de que el estrés calórico es producto de todas aquellas combinaciones de variables ambientales que puedan causar alteración en la zona termoneutral (Bañuelos-Valenzuela y Sánchez-Rodríguez, 2005), las alternativas para su medición deben ir enfocadas a determinar los parámetros ambientales que modifican la zona termoneutral y los indicadores que reflejen en el animal la alteración en su homeostasis y sus mecanismos de respuesta.

Los principales cambios metabólicos y fisiológicos ante situaciones de estrés calórico están representados en aumento de la temperatura corporal, en la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardiaca, la sudoración, la vasodilatación y la alteración en el estatus ácido-básico en el animal (West, 2003; Arias *et al.*, 2008; Nardone *et al.*, 2010). Estos cambios caracterizan la respuesta ante situaciones de estrés, sin embargo, pueden presentar efectos deletéreos en la capacidad productiva y el estatus fisiológico del animal (West, 2003).

Frente alteraciones homeostáticas en la temperatura del animal, generalmente motivadas por la radiación solar y la temperatura del aire (Armstrong, 1994; Kadzere; 2002; Brown-Brandl, *et al.*, 2005; Nardone *et al.*, 2010), se ponen en marcha respuestas sensibles para perder calor, tales respuesta son la radiación, conducción y convección (Arias *et al.*, 2008). Estas respuestas sensibles son dependientes de gradientes térmicos entre la temperatura ambiente y la temperatura del animal, motivo por el cual, pierden eficiencia en la medida que la temperatura ambiental sea mayor que la temperatura corporal (Ferreira *et al.*, 2006).

Bajo la pérdida de eficiencia en las respuestas sensibles, se activan mecanismos de respuesta insensibles. Se ha demostrado que el aumento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo eficiente para perder calor en situaciones de estrés calórico (Robertshaw, 2006; Ferreira *et al.*, 2006; Arias *et al.*, 2008). Sin embargo, este aumento en la frecuencia respiratoria, altera la condición ácido-básica de la sangre por pérdida de CO₂, reduciendo la concentración de ácido carbónico (H₂CO₃), con el consecuente aumento de la concentración de bicarbonato (HCO₃⁻), resultando en una alcalosis respiratoria, y posteriormente se desencadena una acidosis metabólica por sobre excreción de HCO₃⁻ (Nardone *et al.*, 2010; West, 2003), así como también acidosis ruminal, por disminución en la cantidad de bicarbonato disponible en la saliva y su flujo hacia el rumen (Nardone *et al.*, 2010).

Estudios relacionados con alternativas eficientes para disminuir el estrés calórico han demostrado que el empleo de sombra o sistemas de ventilación resultan eficientes en contrarrestar los efectos deletéreos del estrés en la fisiología del animal (Armstrong, 1994; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Schutz, Cox, and Matthews, 2008; Tucker, Rogers, and Schutz, 2008), sin embargo estas

tecnologías representan un alto costo económico (Roman-Ponce *et al.*, 1977; Collier y Zimbelman 2007).

La implementación de sistemas silvopastoriles, o de pastoreo en ambientes arbolados ha demostrado ser una alternativa eficiente para mitigar el efecto del ambiente sobre el animal, impactando positivamente la reducción de la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y la temperatura de piel (Souza 2002; Betacourt *et al.*, 2003; Britto 2010).

El presente trabajo tuvo como objetivo valorar cambios en parámetros fisiológicos y metabólicos como indicadores de estrés calórico de vacas pastoreando en tres modelos silvopastoriles y en una pradera sin árboles, bajo el sistema de producción bovino doble propósito en la región Caribe Colombiana.

Materiales y Métodos

Área de estudio y diseño del experimento

La evaluación se llevó a cabo en el centro de investigación Turipaná, adscrito a la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), localizado en Cereté, Córdoba, Colombia (8°51' N, 75°49' W, altitud de 18 m sobre el nivel del mar). La zona presenta dos periodos climáticos definidos, un periodo de lluvias de mayo a noviembre y un periodo seco de diciembre a abril. La precipitación, promedia anual es de 1380 mm, con una temperatura media anual de 28 °C. Se registra una evapotranspiración potencial anual de 1240 mm y humedad relativa de 81% (datos de la estación climatológica CORPOICA-Turipaná). Según la clasificación de Holdrige la zona se clasifica ecológicamente como bosque seco tropical (bs-T).

En el año 1998 se establecieron cuatro tipos de sistemas silvopastoriles de diferente estructura y complejidad más una pradera sin árboles (control). Para efectos de esta investigación solamente fueron usados 3 tratamientos silvopastoriles. Los tratamientos utilizados estuvieron compuestos por tres distintos estratos: pasturas, arbustos y árboles (productores de frutos). El tratamiento control (Pasto) estuvo conformado solo por pasturas (*Panicum maximum*, *Dichanthium aristatum* y *Cynodon nlemfuensis*), el primer sistema silvopastoril presentó solamente arbustos (p-Arbust), el segundo modelo incluyó un estrato de árboles (p-Arbor) y el último modelo silvopastoril (p-Arbust-Arbor), la combinación de pasturas, arbustos y árboles. Inicialmente las densidades utilizadas en el establecimiento fueron 625 y 159 arbustos ha⁻¹. en los modelos silvopastoriles p-Arbust y p-Arbor, respectivamente. Para el caso del sistema silvopastoril p-Arbust-Arbor, se utilizó un método de sustitución del 25% de la población de arbustos por árboles para obtener tres estratos, en ese orden de ideas, en este tratamiento la densidad de arbustos fue de 468 ha⁻¹, y la de árboles de 159 ha⁻¹. En el año 2004, se realizó una entresaca de especies

arbóreas, disminuyendo de 159 árboles ha⁻¹ (distancia de siembra de 8x8 metros) a 39 árboles ha⁻¹. (distancia de siembra 16 x 16 metros). Para el estrato arbustivo se utilizaron las especies *Leucaena leucocephala* y *Crecentia kujete*, y para el estrato arbóreo las especies fueron *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman* (Tabla 1). Cada tratamiento estuvo constituido de 2 hectáreas (100 metros de ancho por 200 metros de largo), para un total de 6 hectáreas efectivas para pastoreo en las tres repeticiones.

La Tabla 1 Complejidad estructural y diversidad vegetal para cada uno de los modelos silvopastoriles evaluados y para la pradera sin árboles.

Tratamiento	Descripción	Estratos	Especies (% composición herbácea)
Pasto	Pastura	1	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (40%), <i>Dichanthium aristatum</i> (34%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (13%), otras especies (5%) y leguminosas herbáceas (8%)
p-Arbust	Pastura + Arbustos productores de hojas	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (49%), <i>Dichanthium aristatum</i> (25%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (10), otras especies (10%) y leguminosas herbáceas (6%) Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Densidad de arbustos= 625 árboles ha ⁻¹ . Marco de siembra 4x4.
p-Arbor	Pasto + Árboles	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (68%), otras especies (19%) Estrato arbóreo= <i>Cassia grandis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> . Densidad de árboles= 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra= 16 x 16
p-Arbust-Arbor	Pasto + Arbustos + Árboles	3	Estrato herbáceo = <i>Panicum maximum</i> (60%), otras especies (15%). Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Estrato arbóreo= <i>Cassia grandis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> Densidad de arbustos = 468 arbustos ha ⁻¹ . Densidad de árboles = 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra arbustos= 4 x 4 metros. Distancia de siembra de árboles sustituidos por arbustos = 16 x 16 metros.

Animales evaluados

Se utilizaron 16 animales provenientes de un cruce Romosinuano (50%), Holstein (25%) y Cebú Comercial (25%) con un peso promedio de 436±64,2 kg, 56±28 días en lactancia, y una producción de leche entre 2.6 y 3.4 l vaca⁻¹ día⁻¹.

Los 16 animales fueron aleatorizados en los cuatro tratamientos evaluados, y fueron sometidos a un pastoreo rotacional en franjas de 4000 m², con 2 días de ocupación y 28 días de descanso. En cada uno de los tratamientos se ofertó sal mineralizada al 8% de fósforo y agua a voluntad.

Registro de la información

Durante tres días consecutivos, se colectaron datos a las 6:00 a.m. (evaluación AM) y en la tarde a la 1:00 p.m. (evaluación PM) para dos períodos de evaluación, comprendidos entre el 5 al 7 de mayo de 2011 (período 1), y del 24 al 26 de marzo de 2012 (período 2).

Se registró la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR) en las horas de la mañana (AM) y de la tarde (PM) empleando un termohigrómetro digital portátil (EXTECH® HD 500. TA $\pm 1^{\circ}\text{C}$; HR $\pm 2\%$). El registro de la TA y de la HR se realizó a una altura de 1.5 metros del suelo, y en la parte media del tratamiento, con la finalidad de evitar el efecto de borde. La observación de temperatura y humedad relativa registrada fue el promedio de tres lecturas aleatorias en cada tratamiento.

Con el objeto de realizar las mediciones sobre el animal conservando las características de cada uno de los tratamientos evaluados, se diseñaron 4 corrales de manejo en cada uno de los tratamientos; estos corrales fueron utilizados para confinar el animal para el registro de la información fisiológica y sanguínea al mismo tiempo. Cada corral de manejo presentó las siguientes dimensiones: 2 metros de largo, 1.5 metros de alto y 0.7 metros de amplitud (Figura 1).

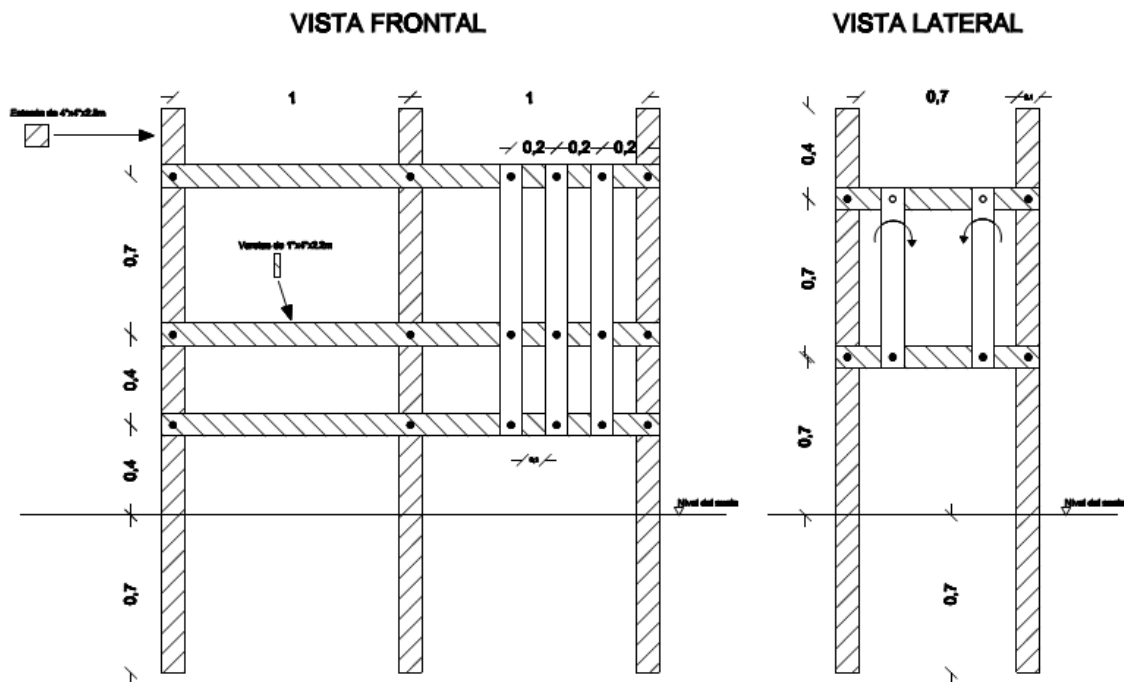


Figura 1. Esquema de corral de manejo en cada uno de los potreros para muestreo de los animales.

A cada animal se le registró la temperatura rectal (TR) empleado un termómetro clínico digital ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), la temperatura de la piel (TP) mediante el uso de un termómetro infrarrojo de doble laser (EXTECH® MODEL 42570 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$) a una distancia de 1.5 metros del animal, y la frecuencia respiratoria (FR), empleado un fonendoscopio y un cronómetro para registrar el número de respiraciones por minuto (rpm). La TP registrada fue el producto de la media aritmética de tres lecturas obtenidas del cuello, región dorsal y anca del animal.

Se realizó, en el horario AM/PM de manera paralela a la toma de información fisiológica, una colecta de sangre mediante punción venosa en la base de la cola con tubos vacutainer heparinizados (BD Franklin Lakes NJ USA). La sangre se analizó empleado un analizador de gases sanguíneos I-Stat 300i (Abott Point of Care Inc. 2010), con los cartuchos de muestreo CHEM8 y G3+ (Abott Point of Care Inc. 2010). Cada muestra de sangre fue introducida en el cartucho usando una única jeringa de 5 ml. En los análisis sanguíneos se registraron los valores de pH, pCO₂, HCO₃, sO₂, Na, K, Cl Hct y Hb para los horarios AM/PM. Cada muestra se analizó dentro de los 15 minutos después de su colecta.

De acuerdo a los procedimientos de control, cada cartucho fue almacenado en refrigeración (2-8°C), y solo fueron usados antes de su fecha de expiración. Todos los análisis realizados empleado el analizados de gases I-Stat 300i, se realizaron en ambiente controlado, con una temperatura entre 22 y 27 °C (Abott Point of Care Inc. 2010).

Análisis Estadístico

Los datos colectados fueron almacenados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel®. Para el diseño experimental se usó un arreglo de bloques completos al azar empleando los períodos de muestreo como factor de bloqueo (5 al 7 de mayo de 2011, y del 24 al 26 de marzo de 2012) y 4 animales como unidades experimentales en cada tratamiento. Se consideró como hipótesis alterna que los sistemas silvopastoriles pueden reducir el estrés calórico en los animales evaluado en la temperatura rectal, temperatura de piel, frecuencia respiratoria y estatus ácido-básico en los animales.

Para el análisis de los datos se empleó un DBCA con arreglo de medidas repetidas mediante el uso del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS versión. 9.2 (SAS inc., North Carolina, USA). El modelo estadístico consideró como variables aleatorias el efecto del período (factor de bloqueo período 1 y período 2), la interacción entre el período y el tratamiento, y el efecto del animal dentro de cada tratamiento, y como efectos fijos el tratamiento (Pasto, p-Arbust, P-Arbor y p-Arbust-Arbor) y la hora de muestreo (AM y PM). Se consideró el período como factor de bloqueo con la finalidad de aislar los posibles efectos de cada tiempo de evaluación en las respuestas observadas. En este proceso se utilizó la estructura de covarianzas que mejor explicó la posibilidad de correlación existente entre las medidas repetidas de un mismo animal, apoyado en los estadísticos AIC y BIC.

Tabla 2. Estructuras de varianza en el modelo mixto para las variables fisiológicas y metabólicas evaluadas a vacas trihíbridas en pastoreo bajo tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles.

Parámetro	Componentes de	Simetría	Autoregresiva de	No estructurada
-----------	----------------	----------	------------------	-----------------

	varianza		Compuesta		orden 1 Ar(1)			
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Temperatura rectal (°C)	212.8	207.5	214.6	208.1	214.7	208.2	221.0	209.2
Temperatura de Piel (°C)	532.5	528.6	524.6	520.7	525.4	521.5	514.4	505.3
Frecuencia respiratoria (rpm)	920.2	916.3	903.7	898.5	905.8	900.5	907.6	897.2
pH (Log)	-239.5	-244.7	-240.0	-246.5	-238.4	-244.9	-238.9	-250.7
pCO2 (mm Hg)	689.8	682.9	683.1	677.9	688.2	683.0	685.6	675.2
HCO3 (mmol/ml)	480.4	476.6	473.9	482.3	482.4	477.1	468.2	473.8
Na (mmol/ml)	600.6	596.6	601.0	597.7	601.9	596.7	598.7	589.5
K (mmol/ml)	147.2	143.3	145.7	148.8	145.6	141.7	148.6	138.1
Cl (mmol/ml)	571.3	567.4	570.8	565.6	570.5	564.0	572.9	561.1
Hemoglobina (g/dl)	261.4	257.4	257,6	252.4	258.5	253.3	261,7	251.3

Para todos los casos de significancia se consideró como error alfa 0.05 y como tendencia una probabilidad entre 0.05 y 0.1. Los efectos significativos se separaron utilizando la sentencia LSMEANS con el ajuste de TUKEY.

Resultados

No se registró efecto significativo del tratamiento sobre la temperatura ambiental (TA) y humedad relativa (HR) ($p > 0.05$). Sin embargo, se consideró una tendencia en el efecto del tratamiento sobre la TA ($p=0.0786$), registrando 5,1 y 4,6% menos temperatura en el tratamiento silvopastoril p-Arbust-Arbor y p-Arbor respectivamente, comparados con el tratamiento sin árboles (Tabla 3).

La hora de evaluación afectó significativamente ($<.0001$) la TA y la HR. La TA aumentó un 44% al pasar de 25.28 °C a las 0600, a 36.42 °C a las 1300 horas. Por su parte la HR se redujo de 79.25% a 63.98% en los mimos horarios.

Tabla 3. Temperatura ambiental y humedad relativa para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná.

Variable	Pasto	p-Arbust	p-Arbor	p-Arbust-Arbor	Error Estándar de la Media	p-valor Trat	p-valor Hora	p-valor Trat x Hora
Temperatura ambiental (°C)	31.53	31.86	30.08	29.93	1.809	0.0786	<.0001	0.1569

Humedad Relativa (%)	62.97	62.77	64.26	63.98	3.022	0.9796	<.0001	0.5504
-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------

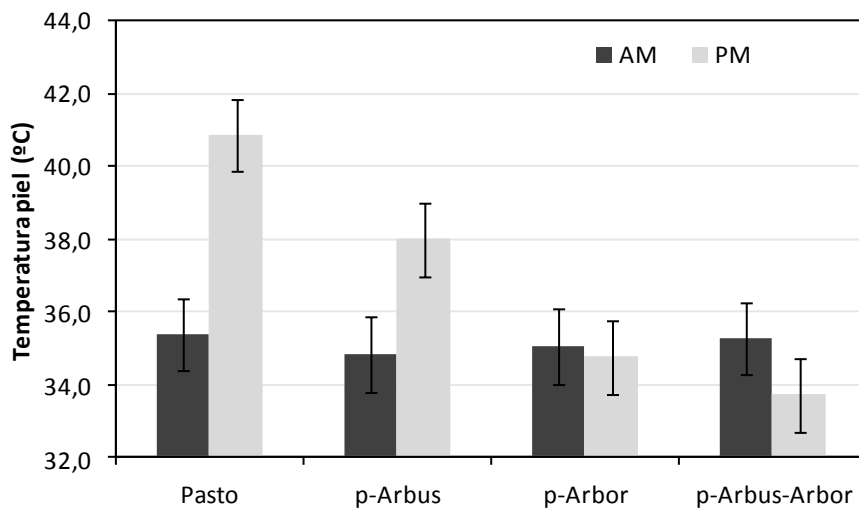
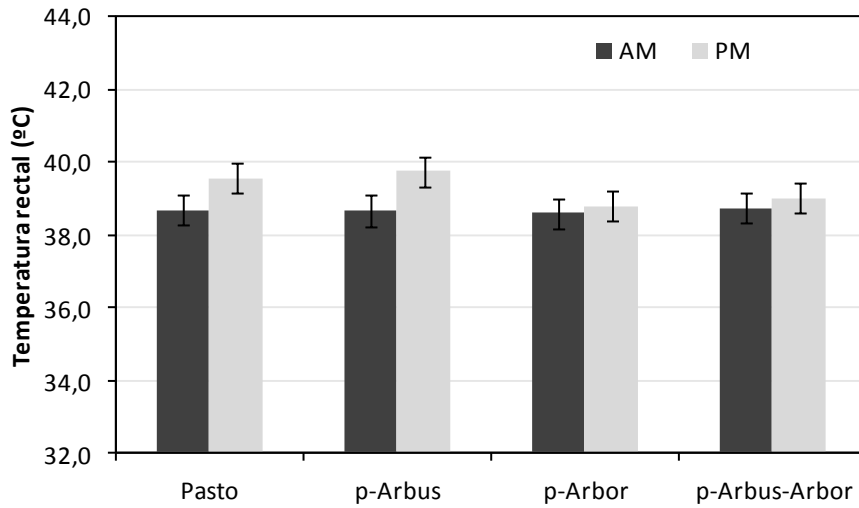
No se registraron efectos significativos del tratamiento sobre la temperatura rectal (TR), la temperatura de piel (TP), y la Frecuencia respiratoria (FR) ($p > 0.05$). Sin embargo, se consideró la existencia de una tendencia del efecto tratamiento sobre la FR ($p = 0.0632$), sugiriendo que los tratamientos p-Arbor y p-Arbus-Arbor registraron conjuntamente 21 y 16% menos frecuencia respiratoria que el sistema silvopastoril que incluye arbustos y el tratamiento control respectivamente. La hora de evaluación afectó significativamente ($p < .0001$) las tres variables descritas anteriormente. En todos los casos se registraron incrementos de la TR (2%; 38,66 vs 39,27 °C), TP (5%; 35.12 vs 36.82 °C) y FR (37%; 44.4 vs 60.80 rpm) al pasar de registro AM al PM (Tabla 4).

Tabla 4. Temperatura rectal, temperatura de piel y frecuencia respiratoria para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná

Variable	Pasto	p-Arbus	p-Arbor	p-Arbus-Arbor	Error Estándar de la Media	p-valor Trat	p-valor Hora	p-valor Trat x Hora
Temperatura Rectal (°C)	39.11	39.,20	38.68	38.67	0.40	0.2284	<.0001	<.0001
Temperatura de Piel (°C)	38.11	36.4	34.88	34.48	0.90	0,1796	<.0001	<.0001
Frecuencia respiratoria (rpm)	55.96	60.09	47.19	47.18	11.2	0.0632	<.0001	0.0036

La interacción de los efectos tratamiento y hora resultó significativa para las variables TR, TP y FR. Los incrementos en TR y TP fueron significativamente ($p < 0.05$) más evidentes en los tratamientos Pasto y p-Arbus. En la primera variable la temperatura rectal ascendió 0.9 °C el tratamiento pasto y 1.1 °C en el tratamiento p-Arbus al pasar de la evaluación AM a la PM, lo que representó un incremento de 2.3% y 2.8% respectivamente. En la TP el incremento fue del orden de 15.6 y 9.1% en los tratamientos Pasto y p-Arbus respectivamente. No se presentaron diferencias significativas para los incrementos de temperatura en los tratamientos p-Arbor y p-Arbus-Arbor (Figura 1).

Los incrementos registrados en la FR para los tratamientos Pasto y p-Arbus presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los registros AM y PM. En estos tratamientos, se observaron aumentos en FR de 42.5 y 62.4% respectivamente (Figura 1).



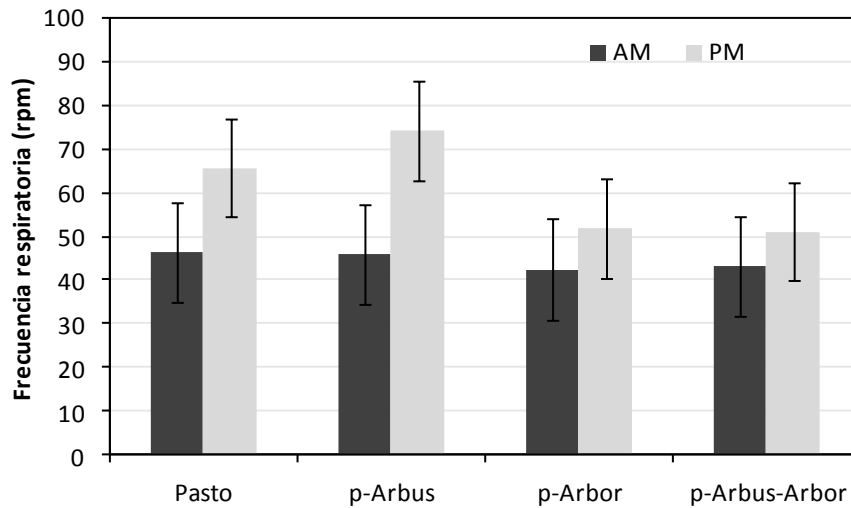


Figura 2. a) Temperatura rectal. b) Temperatura de piel. c) Frecuencia respiratoria en tres modelos silvopastoriles y en una pradera sin árboles. Las barras representan el error estándar.

El tratamiento no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) para los parámetros evaluados en condición ácido-básica (pH, $p\text{CO}_2$ y HCO_3), electrolitos sanguíneos (Na, K y Cl), y hemoglobina (Tabla 5).

Tabla 5. Valores en status ácido-básico, electrolitos y metabolitos sanguíneos para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná. En paréntesis error estándar de la media.

Variable	Pasto	p-Arbus	p-Arbor	p-Arbus-Arbor	p-valor Trat	p-valor Hora	p-valor Trat x hora
pH (Log)	7.49 (0.03)	7.49 (0.03)	7.50 (0.03)	7.47 (0.035)	0.7591	0.1419	0.0225
pCO2 (mm Hg)	35.41 (2.57)	35.88 (2.67)	36.39 (2.66)	37.35 (2.62)	0.6609	0.1119	0.0614
HCO3 (mmol/ml)	26.18 (0.56)	26.39 (0.63)	28.38 (0.61)	27.63 (0.58)	0.1456	0.8864	0.4539
Na (mmol/ml)	138.05 (1.84)	139.33 (1.87)	139.89 (1.86)	139.64 (1.85)	0.7386	<.0001	0.1293
K (mmol/ml)	4.448 (0.19)	4.48 (0.20)	4.34 (0.20)	4.57 (0.20)	0.4261	0.3856	0.6592
Cl (mmol/ml)	107.39 (1.73)	108.00 (1.76)	107.95 (1.75)	108.43 (1.74)	0.9772	<.0001	0.4412
Hemoglobina (g/dl)	6.97 (0.35)	7.00 (0.38)	7.09 (0,38)	6.42 (0.36)	0.4220	0.1269	0.7087

La variable pH, registró un interacción significativa ($p < 0.05$) de los factores tratamiento y hora, indicando aumentos entre el horario AM-PM en los niveles de pH para los tratamientos Pasto (7.47 vs 7.51 unidades de pH) y p-Arbor (7.48 vs 7.53 unidades de pH), lo cual representó un incremento relativo entre el 0.1 y el 0.6% (Figura 2).

La $p\text{CO}_2$ indicó una tendencia ($p = 0.0614$), sugiriendo disminución en la concentración de H_2CO_3^- como resultado del aumento en la frecuencia respiratoria en los tratamientos Pasto, p-Arbus y p-Arbor, con valores de 8, 3 y 9% respectivamente (Figura 2).

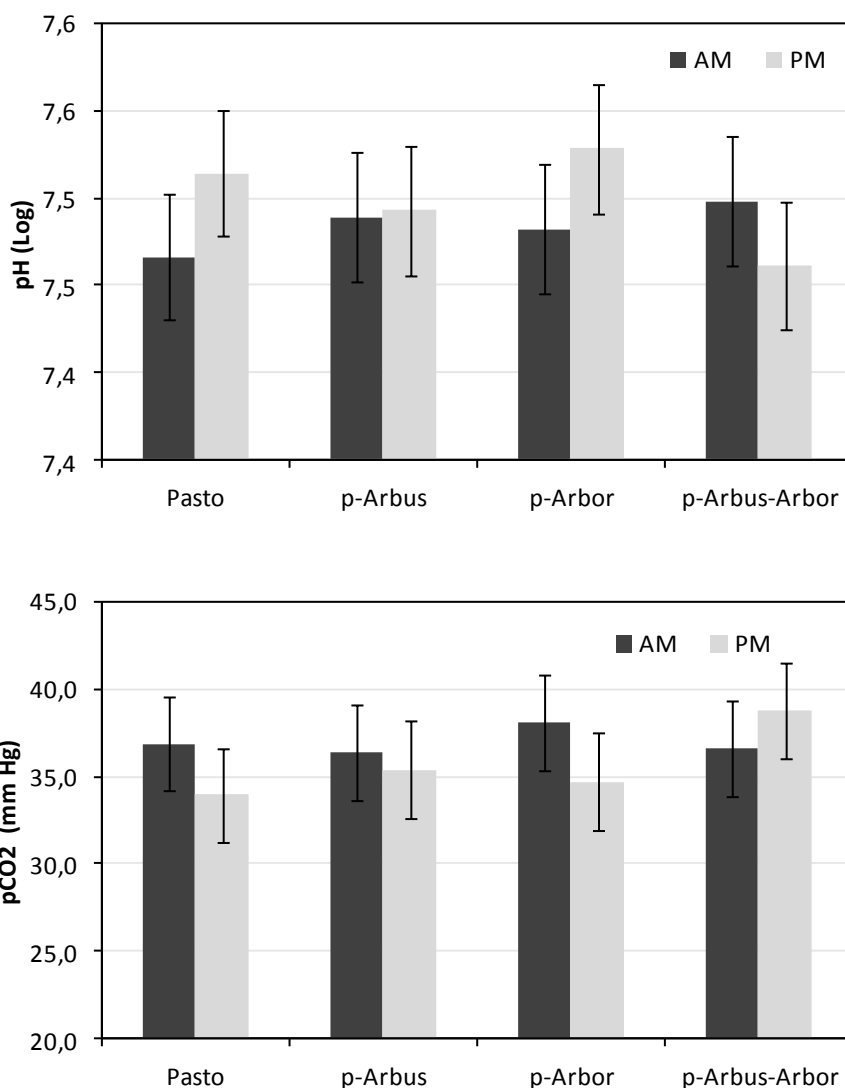


Figura 3. a) pH. b) presión parcial de CO_2 en tres modelos silvopastoriles y en una pradera sin árboles. Las barras representan el error estándar.

Discusión

Los resultados registrados en las variables ambientales y fisiológicas sugirieron un efecto del medio ambiente sobre el incremento de la temperatura rectal, temperatura de piel y frecuencia respiratoria del animal, específicamente en los tratamientos Pasto y p-Arbus. Sin embargo estas alteraciones no fueron lo suficientemente agudas para determinar cambios en el estatus ácido-básico y en los electrolitos sanguíneos, evidenciando respuestas homeostáticas en el animal sobre los factores de estrés ambiental (Collier y Zimbelman 2007).

Con base en los resultados de temperatura ambiental y humedad relativa, se generó (datos no presentados) el Índice de Temperatura Humedad (ITH) para cada tratamiento, siguiendo las indicaciones propuestas por Dikmen y Hensen (2009). Los resultados del ITH reafirmaron el efecto ambiental sobre la alteración fisiológica de los individuos, especialmente en los tratamientos Pasto y p-Arbu, donde los ITH alcanzaron valores de 81.6 y 81.8 respectivamente. De acuerdo a lo descrito por Armstrong (1994), St-Pierre *et al.*, (2003) y Collier *et al.*, (2011) para ganado Holstein, y a falta de información de referencia para la zona donde se realizó el estudio, un ITH > 72 indica condiciones de estrés calórico en los animales; no obstante, dada las características genéticas de los animales usados en el presente estudio (50% Romosinuano, 25% Holstein y 25% Cebú comercial) se puede hacer referencia al límite propuesto para ganado de carne (St-Pierre *et al.*, 2003; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Boonprong *et al.*, 2008), el cual indica condiciones de estrés calórico con un ITH de 75, ó el referenciado por Azevedo *et al.*, (2007) para animales ½ Holstein – ½ Cebú de 79 puntos en ITH. Sin embargo los límites propuestos tanto para ganado de leche como para ganado de carne, son generados en ambientes diferentes a los referidos en el estudio. Adicionalmente, los valores de referencia de ITH desarrollado para ganado bovino por Berry *et al.*, (1964) fueron estandarizados bajo cámaras térmicas con efectos ambientales constantes, lo cual no sucede en la práctica (Collier y Zimbelman, 2007).

El efecto ambiental sobre las características fisiológicas evaluadas fue altamente significativo en la interacción de los efectos tratamiento y hora, evidenciando las respuestas propuestas en el modelo de estrés citado en este trabajo. Estas respuestas demostraron marcadas diferencias entre los tratamientos durante los muestreos AM/PM, indicando un efecto positivo de los sistemas silvopastoriles como mitigadores del estrés calórico en los animales durante el horario de mayor temperatura ambiental.

Los resultados en reducción de estrés calórico observados en los tratamientos con cobertura arbórea p-Arbo y p-Arbo-Arbo, en las hora de mayor efecto ambiental (1 pm), fueron evidentes pese a registrarse valores de ITH que superan los límites críticos de desconfor ambiental descritos anteriormente, con valores de 80.3 y 80.1, respectivamente. Lo anterior puede ser atribuido al diseño de sistemas silvopastoriles con especies arbóreas de sombras “ralas”

como *Albizia saman*, *Guazuma ulmifolia* y *Cassia grandis*, lo cual garantiza el paso de radiación solar suficiente para el desarrollo del estrato herbáceo (Souza, 2002; Cajas-Giron, 2002).

Los resultados indicaron menores incrementos en la temperatura rectal, temperatura de piel y frecuencia respiratoria de animales que pastorearon los sistemas silvopastoriles p-Arbu y p-Arbu-Arbo, observados en la evaluación PM. En estos tratamientos, la temperatura rectal de los animales no superó el límite superior de 39.1 °C descrito por Hefez (1973) como inicio de alteración homeostática de la temperatura. Contrario a esto, se observó que los sistemas sin cobertura arbórea Pasto y p-Arbu, registraron incrementos de 0.4 y 0.6°C en la temperatura rectal, sobre el límite crítico superior.

La frecuencia respiratoria indicó evidencias de desconfor ambiental en los tratamientos Pasto y p-Arbus, con incrementos de 6 y 14 respiraciones por minuto respectivamente, con relación al límite (>60 rmp) descrito por Bianca (1965) y Arias *et al.*, (2008).

Estudios que relacionan el comportamiento fisiológico de animales que pastorean en sistemas silvopastoriles o ambientes con alta cobertura de árboles (potreros arbolados), registran disminución en la temperatura rectal y de piel con valores de 0.5 y 3°C respectivamente (Souza, 2002; Betacourt *et al.*, 2003; Britto, 2010). De igual forma, se ha demostrado que la sombra de los árboles contribuye a disminuir el impacto ambiental directo de la radiación solar sobre las respuestas fisiológicas insensibles, conservando parámetros como la frecuencia respiratoria dentro de los rangos normales (Souza, 2002).

Diferentes estudios citan el efecto de la sombra sintética (Armstrong, 1994; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Schutz, Cox, y Matthews, 2008; Tucker, Rogers, y Schutz, 2008) sobre la disminución de respuestas fisiológicas al estrés calórico. Así mismo, algunos autores citan que no existe diferencia entre la sombra de árboles y la sombra artificial (Valtorta *et al.*, 2007). Sin embargo, el uso de árboles en sistemas ganaderos acarrea otra serie de beneficios y “commodityties” que mejoran la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción (Cajas-Giron 2002; Gajas-Giron *et al.*, 2010).

La literatura no referencia trabajos que evalúen el efecto de ambientes silvopastoriles sobre el estrés calórico determinado por cambios en el estatus ácido-básico y electrolitos sanguíneos. En el presente trabajo no se reportaron efectos del tratamiento en el perfil ácido-básico y en los electrolitos sanguíneos, sin embargo se registraron algunos cambios como efecto de la interacción del tratamiento y la hora de muestreo sobre el pH y el pCO₂.

El aumento de la frecuencia respiratoria como mecanismo de pérdida de calor (Robertshaw, 2006), altera la homeostasis ácido-básica por aumento de la excreción de CO₂, con un consecuente cambio en el pH sanguíneo,

normalmente caracterizado como alcalosis respiratoria (West, 2003; Nardone *et al.*, 2010; Beatty *et al.*, 2011). La excreción de CO_2 , se produce por la hiperventilación generada en el aumento de la frecuencia respiratoria, y la disociación del H_2CO_3^- en H_2O y CO_2 (Srinkandakumar y Johnson, 2004), con lo cual se aumenta la relación $\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3^-$ generando un incremento del pH sanguíneo (Cunningham, 2003).

En el presente trabajo, se registraron cambios en la pCO_2 para los tratamientos Pasto y p-Arbor, con valores por debajo del parámetro normal (40 mm Hg) descrito para ganado bovino por Cunningham (2003). De igual forma, se evidenció un aumento en los valores de pH para estos tratamientos, sin embargo estos registros no llegaron a constituir una alcalosis respiratoria.

Beatty *et al.* (2011) sugieren que cuando se presentan cambios en el pH (sin llegar a cruzar los rangos de alcalosis y acidosis, promovidos por cambios en la pCO_2 , o en el HCO_3^- , se puede asegurar que la respuesta animal mediada por los mecanismos Buffer en el metabolismo, controlaron las alteraciones severas del pH. Uno de los mecanismos que regulan los procesos de alcalosis respiratoria es la excreción de HCO_3^- , en la orina mediada por la función renal (West, 2003; Cunningham, 2003), aumentando los valores de pH en la orina (Kadzere *et al.*, 2002; Nardone *et al.*, 2010; Beatty, 2011).

Estudios que evalúan cambios en la condición ácido-básica por efecto del calor, indicaron ausencia de efecto significativo entre las condiciones frías o calientes en las concentraciones de HCO_3^- sanguíneo en bovinos, evaluadas en un único período del día (Srinkandakumar y Johnson, 2004), tal como se reportó en este estudio.

La evidencia en los resultados obtenidos en las respuestas fisiológicas y ácido-básicas en el presente trabajo puede estar relacionada con la capacidad de tolerancia al estrés calórico del grupo genético utilizado en la evaluación. Está documentado que el grupo genético Romosinuano, a pesar de ser un animal *Bos taurus*, presenta alta tolerancia a las condiciones de estrés calórico (Johnson *et al.*, 2012) por poseer la piel suelta, las piernas más largas, orejas cortas y pelaje corto y brillante (Da Silva *et al.*, 2003) y baja tasa de crecimiento, lo que traduce en una baja tasa metabólica (Scharf *et al.*, 2010). De igual forma, Hansen (2004) reporta los animales Cebú, como individuos capacitados evolutivamente para afrontar ambientes calurosos, dada las características de la piel, la cantidad y distribución de las glándulas sudoríparas y la baja tasa metabólica.

Conclusión

Los resultados evidenciaron un efecto de los sistemas silvopastoriles con cobertura arbórea en la reducción de las respuestas fisiológicas ante condiciones de estrés calórico en las horas de mayor efecto negativo del ambiente sobre el animal.

Las respuestas de estrés calórico evidenciadas, no alcanzaron una fase aguda para desencadenar cambios tangibles en el estatus ácido-básico y en concentración de electrolitos sanguíneos, sugiriendo una alta eficiencia de los animales en mantener la homeostasis metabólica. Estos resultados también son reafirmados en la capacidad termoregulatoria del grupo genético usado en la evaluación, el cual posee amplia adaptación a las condiciones de trópico bajo.

Estudios futuros deberían considerar evaluaciones con grupos genéticos termotolerantes y termo-sensibles, y períodos más prolongados de muestreo con la finalidad de dar mayor claridad a la bondad de los sistemas silvopastoriles en la mitigación del efecto ambiental sobre la homeostasis térmica de los animales.

Revisión de literatura

Arias, R., Mader, T., and Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet* **40**, 7-22.

Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of dairy science* **77**(7), 2044-2050.

Azevedo M., et al., 2005. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em lactação. R. Bras. Zootec. vol.34, n.6, pp. 2000-2008

Beatty, D.T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, M. and Maloney, S.K. 2006 Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*, 84 (4). pp. 972-985.

Betancourt, K., Ibrahim, M., Harvey, C., and Vargas, B. (2003). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* **10**(39-40), 47-51.

Britto Ferreira, L. (2010). Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra *Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.* , 89.

Broom, D., and Molento, C. (2004). BEM-ESTAR ANIMAL: CONCEITO E QUESTÕES RELACIONADAS–REVISÃO (Animal welfare: concept and related issues–Review). *Archives of Veterinary Science* **9**(2), 1-11.

Brown-Brandl, T., Eigenberg, R., Nienaber, J., and Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems*

Brown-Brandl, T., Eigenberg, R., Nienaber, J., and Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* **90**(4), 451-462.

Cajas-Girón YS (2002) Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia. PhD thesis, University of Wales, Bangor. UK. 214 pp.

Cajas-Giron, Y., and Sinclair, F. (2001). Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry systems* **53**(2), 215-225.

Collier R.J., Zimbelman R.B., Rhoad R.P., Rhoad M.L, and Baumgard L.H. 2011. A Re-evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. Western Dairy Management Conference, Reno (Nevada) (consultado 10 de noviembre de 2013)

Collier, R. J. and R. B. Zimbelman 2007. Heat stress effects on cattle: What we know and what we don't know. 22nd Annual Southwest Nutrition & Management Conference . p 76-83.

Collier, R., Beede, D., Thatcher, W., Israel, L., and Wilcox, C. (1982). Influences of Environment and Its Modification on Dairy Animal Health and Production1. *Journal of dairy science* **65**(11), 2213-2227.

Cunningham J. 2003. Fisiología Veterinaria. Ed. Elsevier España.

Da Silva R., façanha D. e Guilhermino M 2007. Evaluation of thermal stress index for dairy cows in tropical regions. Rev. Bras. de Zootec. V 36 n4 p. 1192-1198.

Dikmen, S., and Hansen, P. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of dairy science* **92**(1), 109-116.

Ferreira, F., Pires, M., Martinez, M., Coelho, S., Carvalho, A., Ferreira, P., Facury Filho, E., and Campos, W. (2006). Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico; Physiologic parameters of crossbred cattle subjected to heat stress. *Arq. bras. med. vet. zootec* **58**(5), 732-738.

Hansen, P. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal reproduction science* **82**, 349-360.

Kadzere, C., Murphy, M., Silanikove, N., and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* **77**(1), 59-91.

MADR 2011. Encuesta nacional agropecuaria. p 150

Morberg, G. (2000). Biological Response to Stress: Implication for animal welfare *In* "The Biology of Animal Stress: Basic Principles and implications for Animal Welfare." (G. Morberg, and J. Mench, Eds.), pp. 1-19. Cabi Publishing.

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., and Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* **130**(1-3), 57-69.

Navas Panadero, A. (2010). Importance of silvopastoral systems on caloric stress reduction in tropical livestock productions. *Rev. Med. Vet*(19), 113-122.

Perez, J., Martínez, G., Albarado, L., and Ossa, G. (1998). Características Productivas, Reproductivas y Biofísicas de Cuatro Fincas en el Sistema Doble Propósito en el Departamento de Córdoba. *La Investigación Pecuaria*.

Robersshaw D. 2007. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. *J Appl Physiol* 101(2) p664.

Roman-Ponce, H., Thatcher, W., Buffington, D., Wilcox, C., and Van Horn, H. (1977). Physiological and Production Responses of Dairy Cattle to a Shade Structure in a Subtropical Environment¹. *Journal of dairy science* **60**(3), 424-430.

Santana A., Camacho C., Estevés L., Garcia G., Gómez M., Gutierrez J., Roza M., y Ballesteros H., 2009. Competir e innovar, la ruta de la industria bovina. FEDEGAN – MADR – CORPOICA p 234.

SAS, 2002. SAS/STAT User's Guide, v.64th edition (SAS Institute, Cary, NC

Scharf B, Carroll J.A., Riley D.G, Chase C.C., Coleman SW., Keisler D.H., Weaber R.L. and Spier D.E. 2010. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) Bos Taurus cattle during controlled heat challenge. *J Anim Sci.*88:2321-2336.

Schutz, K. E., Cox, N. R., and Matthews, L. R. (2008). How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science* **114**(3-4), 307-318.

Souza de Abreu, M. H. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Thesis. turrialba, CR, CATIE.

Srikandakumar A and Johnson E. 2004 . Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian Milking Zebú cows. *Tropical animal health and production.* 36. p 686 - 692

Tucker, C. B., Rogers, A. R., and Schutz, K. E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* **109**(2-4), 141-154.

Valtorta S.E., Leva P.E., y Gallardo M.R 1997. Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina. *Int J Biometeorol.* Nov;41(2):65-7.

West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science* **86**(6), 2131-44.

Capítulo III. Comportamiento ingestivo diurno como respuesta al estrés calórico en vacas sometidas al sistema de producción doble propósito bajo tres modelos silvopastoriles en condiciones de la región Caribe Colombiana.

Wilson Andrés Barragán-Hernandez¹, Liliana Mahecha-Ledesma², Yasmin Socorro Cajas-Girón¹.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Centro de Investigación Turipaná. Km 13 vía Montería - Cereté (Córd.) – Colombia.

**Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA)- Producción Animal Sostenible.*

Ciudadela de Robledo, Carrera 75 N° 65-87, Medellín (Ant) - Colombia

wbarraanh@corpoica.org.co

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de los sistemas silvopastoriles en las modificaciones del comportamiento ingestivo diurno como respuesta al estrés calórico, se evaluaron 12 animales de cruce RHC, con un peso promedio de $436 \pm 64,2$ kg y 56 ± 28 días en lactancia. Para determinar el comportamiento ingestivo diurno se utilizó la metodología de observación directa, registrando las actividades de pastoreo, rumia, caminata, descanso, consumo de agua y otras actividades con una frecuencia de 10 minutos de 9 am a 6 pm, totalizando 9 observaciones. Para determinar el efecto climático se registró la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR) a las 9, 12, 15 y 18 horas, mediante los cuales se estimó el Índice de Temperatura Humedad (ITH). Las variables TA y HR presentaron efecto de la interacción tratamiento por hora ($p < 0.05$). La temperatura ambiental en los tratamientos pasto y Pasto – Arbustos (p-Arbust), registró 36.23 y 36.69 °C respectivamente. El ITH estimado presentó efecto del tratamiento ($p < 0.05$) indicando que los sistemas silvopastoriles con cobertura arbórea registraron hasta 2.0 y 2.7 unidades de ITH por debajo de la pradera sin árboles y del sistemas silvopastoril que incluye arbustos respectivamente. Se observó efecto significativo ($p < 0.05$) del tratamiento sobre el tiempo dedicado al pastoreo y al descanso. El tratamiento sin árboles registró 1.86 horas menos de pastoreo que el tiempo de pastoreo observado en los tratamientos p-Árbor y p-Arbust-Arbo. De igual forma el tratamiento Pasto

evidenció el mayor tiempo dedicado al descanso (2.96 h), los que representó inactividad de los animales para no generar carga calórica. Se observó una tendencia ($p=0.0989$) en el tiempo dedicado al consumo de agua, indicando que los animales que pastorearon el tratamiento control, dedicaron mayor tiempo registrado en consumo de agua (0.30 h). Los resultados observados evidenciaron el efecto ambiental sobre las alteraciones conductuales ante el estrés calórico. Así mismo, se demostró el efecto positivo de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en los animales evaluados, observado en mayor tiempo de pastoreo, y menos evidencia conductuales de estrés (consumo de agua y tiempo de descanso).

Abstrac

In order to evaluate the effect of silvopastoral systems in the diurnal ingestive behavior modifications in response to heat stress, animals were evaluated 12 RHC crossing, with an average weight of 436 ± 64.2 kg and 56 ± 28 days in milk . To determine the diurnal ingestive behavior, the methodology of direct observation, recording the activities of grazing, ruminating, walk, rest, water consumption and other activities with a frequency of 10 minutes from 9 am to 6 pm, totaling 9 observations per treatment. To determine the effect climate recorded the ambient temperature (T_a) and relative humidity (RH) at 9, 12, 15 and 18 hours, which was estimated by the ITH. BP and HR variables showed interaction effects treatment time ($p < 0.05$). The ambient temperature in pasture treatments and p-Arbust, recorded 36.23 and 36.69 ° C respectively. The estimate presented ITH treatment effect ($p < 0.05$) indicating that silvopastoral systems with tree cover recorded up to 2.0 and 2.7 units below the ITH treeless prairie and shrubs including silvopastoral systems respectively. Significant effect was observed ($p < 0.05$) of treatment on time spent grazing and rest. Treatment treeless recorded 1.86 hours less time grazing than grazing treatments observed in p-and p-Arbust Arbor-Arbo. Similarly Pasto treatment showed more time spent at rest (2.96 h), which represented the inactivity of the animals in order to avoid caloric load. There was a trend ($p = 0.0989$) in the time devoted to water consumption indicating that animals grazed the control treatment, spent more time on the water consumption (0.30 h) compared with silvopastoral systems. The observed results showed the environmental effect

on behavior changes to heat stress. It also demonstrated the positive effect silvopastoral systems in reducing heat stress in the animals tested, the small variation observed in the diurnal behavior of animals that grazed silvopastoral systems with tree cover, compared to wide variations in observed behavior in unshaded systems

Introducción

El calentamiento global, se presenta como una de las principales amenazas contra el desarrollo de la actividad pecuaria en ambientes tropicales (Nardone, 2010). Según el IPCC (2007), se estima que el incremento en la temperatura ambiental entre el período comprendido entre el 2090 y el 2099, puede oscilar entre 1.8 y 4 °C, con intervalos de confianza para diferentes escenarios que tiene un valor mínimo de 1.1 y máximo de 6.4°C.

Existe amplia documentación del efecto de la temperatura ambiental sobre la alteración homeostática de los bovinos (Silanikove, 2000; West, 2003; Arias *et al.*, 2008; Nardone *et al.*, 2010).

Bajo condiciones ambientales adversas (incrementos en la temperatura y humedad), los animales entran en un estado de estrés calórico, considerado como la inhabilidad para mantener su temperatura corporal en homeostasis (Broom y Molento, 2004).

Las respuestas de los animales ante condiciones de estrés calórico siguen un patrón más o menos estable (Yokoyama-Kano *et al.*, 2004). Entre las que se encuentran los cambios conductuales como: aislamiento, cambios en la posición corporal, búsqueda de superficies frías (Yokoyama-Kano *et al.*, 2004) disminución del consumo de materia seca (Kadzere *et al.*, 2002; Nardone *et al.*, 2010; Silanikove, 2000; West, 2003) y la búsqueda de sombra (Pires, de Campos, y Novaes, 2001; Silanikove, 2000), son la primera línea de defensa contra el incremento calórico, por ser respuestas de bajo costo energético (Yokoyama-Kano *et al.*, 2004).

El comportamiento ingestivo, como uno de los principales cambios conductuales ante el estrés calórico, se define como todas aquellas actividades fenotípicas que el animal puede modificar con la finalidad de disminuir la carga

calórica en el cuerpo (Damasceno *et al.*, 1999). Entre estas actividades, las más importantes son las que conforman el comportamiento en pastoreo, descrito como la secuencia de eventos (ingesta, rumia, bebida, etc.) que realizan los animales en la obtención de nutrientes para su mantenimiento y productividad (Martínez, Pulido, y Latrille, 2002).

Desde el punto de vista ambiental, el comportamiento en pastoreo refleja una respuesta ante la carga calórica (Hahn, 1999) motivo por el cual puede ser empleado como un indicador de estrés calórico e indirectamente de bienestar animal (Britto Ferreira, 2010). El cese en esta actividad, está fuertemente relacionado con la disminución en el CMS, el cual depende del tiempo que dedique el animal a cosechar forraje.

El animal afecta su comportamiento cambiando los patrones de consumo de alimento y actividades si la necesidad de disminuir la carga calórica es mayor que la necesidad de alimentarse (Paranhos da Costa, 2000). Estudios realizados bajo condiciones de sol y sombra, han demostrado que el tiempo de consumo de alimento se reduce cuando el animal está sometido a la radiación directa, ya sea bajo condiciones de estabulación (Brown-Brandl *et al.*, 2005; Fernandes, 2005), o en pastoreo (Britto Ferreira, 2010; Pires, de Campos, y Novaes, 2001). Esta reducción en el consumo de materia seca puede estar acompañada en la modificación de la dieta consumida, alterando la proporción de nutrientes ingeridos con la finalidad de minimizar la producción de calor metabólico (Fernandes, 2005).

El uso de barreras físicas contra la radiación solar, ha sido una alternativa eficiente para contrarrestar la vulnerabilidad de los animales ante condiciones ambientales adversas, y de esta manera, reducir el estrés calórico (Armstrong, 1994; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Tucker, Rogers, y Schutz, 2008). Como alternativa física en la actividad ganadera, se encuentra el establecimiento de sistemas silvopastoriles, los cuales además de ofertar sombra a través de los árboles, también ofertan una serie de servicios ambientales que conducen a aumentar la sostenibilidad del sistema de producción.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar cambios en los patrones diurnos de comportamiento ingestivo como respuesta al estrés calórico en vacas bajo

el sistemas de producción bovino doble proposito pastoreando en 3 modelos silvopastoriles y en una pradera sin árboles.

Materiales y Métodos

Área de estudio y diseño del experimento

La evaluación se llevó a cabo en el centro de investigación Turipaná, adscrito a la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), localizado en Cereté, Córdoba, Colombia (8°51' N, 75°49' W, altitud de 18 m sobre el nivel del mar). La zona presenta dos periodos climáticos definidos, un periodo de lluvias de mayo a noviembre y un periodo seco de diciembre a abril. La precipitación, promedia anual es de 1380 mm, con una temperatura media anual de 28 °C. Se registra una evapotranspiración potencial anual de 1240 mm y humedad relativa de 81% (datos de la estación climatológica CORPOICA-Turipaná). Según la clasificación de Holdrige la zona se clasifica ecológicamente como bosque seco tropical (bs-T).

En el año 1998 se establecieron cuatro tipos de sistemas silvopastoriles de diferente estructura y complejidad más una pradera sin árboles (control). Para efectos de esta investigación solamente fueron usados 3 tratamientos silvopastoriles. Los tratamientos utilizados estuvieron compuestos por tres distintos estratos: pasturas, arbustos y árboles (productores de frutos). El tratamiento control (Pasto) estuvo conformado solo por pasturas (*Panicum maximum*, *Dichanthium aristatum* y *Cynodon nlemfuensis*), el primer sistema silvopastoril presentó solamente arbustos (p-Arbust), el segundo modelo incluyó un estrato de árboles (p-Arbor) y el último modelo silvopastoril (p-Arbust-Arbor), la combinación de pasturas, arbustos y árboles. Inicialmente las densidades utilizadas en el establecimiento fueron 625 y 159 arbustos ha⁻¹. en los modelos silvopastoriles p-Arbust y p-Arbor, respectivamente. Para el caso del sistema silvopastoril p-Arbust-Abror, se utilizó un método de sustitución del 25% de la población de arbustos por árboles para obtener tres estratos, en ese orden de ideas, en este tratamiento la densidad de arbustos fue de 468 ha⁻¹., y la de árboles de 159 ha⁻¹. En el año 2004, se realizó una entresaca de especies arbóreas, disminuyendo de 159 árboles ha⁻¹ (distancia de siembra de 8x8 metros) a 39 árboles ha⁻¹ (distancia de siembra 16 x 16 metros). Para el estrato arbustivo se utilizaron las especies *Leucaena leucocephala* y *Crecentia kujete*, y para el estrato arbóreo las especies fueron *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman* (Tabla 1). Cada tratamiento estuvo constituido de 2 hectáreas (100 metros de ancho por 200 metros de largo), para un total de 6 hectáreas efectivas para pastoreo en las tres repeticiones.

La Tabla 1 Complejidad estructural y diversidad vegetal para cada uno de los modelos silvopastoriles evaluados y para la pradera sin árboles.

Tratamiento	Descripción	Estratos	Especies (% composición herbácea)
Pasto	Pastura	1	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (40%), <i>Dichanthium aristatum</i> (34%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (13%), otras especies (5%) y leguminosas herbáceas (8%)
p-Arbust	Pastura + Arbustos productores de hojas	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (49%), <i>Dichanthium aristatum</i> (25%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (10), otras especies (10%) y leguminosas herbáceas (6%) Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Densidad de arbustos= 625 árboles ha ⁻¹ . Marco de siembra 4x4.
p-Arbor	Pasto + Árboles	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (68%), otras especies (19%) Estrato arbóreo= <i>Cassia gradis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> . Densidad de árboles= 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra= 16 x 16
p-Arbust-Arbor	Pasto + Arbustos + Árboles	3	Estrato herbáceo = <i>Panicum maximum</i> (60%), otras especies (15%). Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Estrato arbóreo= <i>Cassia gradis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> Densidad de arbustos = 468 arbustos ha ⁻¹ . Densidad de árboles = 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra arbustos= 4 x 4 metros. Distancia de siembra de árboles sustituidos por arbustos = 16 x 16 metros.

Los sistemas silvopastoriles evaluados presentaron un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada tratamiento estuvo constituido por 2 hectáreas (100 metros de ancho por 200 metros de largo), generando un área efectiva de pastoreo por tratamiento de 6 hectáreas.

Animales evaluados

Se emplearon 12 animales provenientes de un cruce Romosinuano (50%), Holstein (25%) y Cebú Comercial (25%) con un peso promedio de 436±64,2 kg y 56±28 días en lactancia. Fueron aleatorizados 3 animales en cada uno de los tratamientos evaluados.

Los animales estuvieron sometidos a una rutina diaria de ordeño mecánico iniciada a las 6 AM, regresando al potrero a las 8 AM. Se realizó pastoreo rotacional (mediante cinta eléctrica) con 5 franjas por tratamiento y un área de pastoreo de 4000 m² por cada franja. Cada franja de pastoreo tuvo un periodo de ocupación y descanso de 2 y 28 días respectivamente.

Registro de la información

El comportamiento ingestivo diurno se evaluó utilizando la metodología propuesta por Patiño (2003). Esta metodología consiste en registrar las actividades realizadas por el animal con una frecuencia de observación a intervalos de 10 minutos (asumiendo la actividad observada como la realizada durante ese lapso de tiempo), entre las 9 AM y las 6 PM. Las actividades registradas fueron: pastoreo (período en que el animal está aprehendiendo el pasto), rumia (período en que el animal está re-masticando el bolo alimenticio retornado del rumen), caminata (búsqueda de alimento y desplazamiento), descanso (período en que el animal no pastorea ni rumia), consumo de agua y otras actividades (actividades no categorizadas anteriormente y observadas en campo).

En cada tratamiento se observaron 3 animales focales. Con ayuda de un cronómetro digital, cada 10 minutos se anotó la actividad realizada por el animal evaluado y se registró en un formato de campo. El formato de campo estuvo constituido por una matriz organizada de filas y columnas, en las cuales se registró cada actividad realizada por el animal focal y el número de animales que estaban realizando la misma actividad, con el fin de restar la individualidad del comportamiento y generar información que caracterice el comportamiento grupal. Al finalizar la evaluación, se realizó una sumatoria de las frecuencias registradas por actividad y esta a su vez, se multiplicó por diez (factor de evaluación de tiempo en minutos), para así tener el total de tiempo diurno dedicado a cada una de las actividades evaluadas. Los registros de tiempo dedicado a cada actividad fueron presentados en horas.

En cada una de las observaciones se registró la temperatura ambiental (TA) y la humedad relativa (HR) a las 9, 12, 15 y 18 horas, empleando un termohígrometro digital portátil (EXTECH® HD 500. TA $\pm 1^{\circ}\text{C}$; HR $\pm 2\%$). Con los datos registrados se generó el índice de temperatura humedad según lo descrito por Dikmen y Hensen (2009).

En total, fueron realizadas tres evaluaciones por tratamiento en cada uno de los bloques, para un total de 9 observaciones por tratamiento desde las 6 hasta las 18 horas.

Análisis Estadístico

Los datos colectados fueron almacenados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® para su procesamiento y análisis. Para el diseño experimental se usó un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. El factor de bloqueo se consideró por variaciones en la capacidad de drenaje del área utilizada, categorizándola en mal drenado, moderadamente drenado y bien drenado. Se consideró como hipótesis alterna que los sistemas silvopastoriles pueden reducir el estrés calórico y modificar las respuestas conductuales en el comportamiento ingestivo, mitigando el impacto directo del ambiente sobre el animal.

Para el análisis de los datos se empleó un DBCA con arreglo de medidas repetidas mediante el uso del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS inc., North Carolina, USA). El modelo estadístico consideró como variables aleatorias el efecto del bloque (bien drenado, mal drenado y moderadamente drenado), la interacción entre el bloque y el tratamiento, y el efecto del animal dentro de cada tratamiento, y como efectos fijos el tratamiento (Pasto, p-Arbust, P-Arbor y p-Arbust-Arbor) y la hora de evaluación (de las 9 a las 18 horas). En este proceso se utilizó la estructura de covarianzas que mejor explicó la posibilidad de correlación existente entre las medidas repetidas de un mismo animal, apoyado en los estadísticos AIC y BIC (Tabla 2).

Tabla 2. Estructuras de varianza en el modelo mixto para las variables de comportamiento ingestivo en vacas trihíbridas en pastoreo bajo tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles.

Parámetro	Componentes de varianza		Simetría Compuesta		Autoregresiva de orden 1 Ar(1)		No estructurada	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Pastoreo	252.2	249.5	254.2	250.6	252.8	249.1	257.1	249.9
Rumia	164.3	162.5	165.3	161.7	165.3	162.6	167.1	159.9
Descanso	243.3	239.7	245.3	240.8	241.6	237.4	235.3	229.0
Des. Parado	221.2	217.5	223.2	218.6	220.5	216.9	225.7	218.4
Des. Acostado	195.0	193.2	197.0	194.3	196.8	194.1	176.6	168.8

Caminata	-6.6	-8.4	-6.6	-10.2	-8.6	-11.3	-6.6	-13.8
Consumo Agua	-22.4	-24.2	-24.4	-28.0	-21.6	-24.4	-23.0	-30.2
Otras actividades	-84.8	-86.6	-81.1	-84.7	-84.8	-88.4	-	-

Para todos los casos de significancia se consideró como error alfa 0.05 y como tendencia una probabilidad entre 0.05 y 0.1. Los efectos significativos se separaron utilizando la sentencia LSMEANS con el ajuste de TUKEY mediante la opción ADJUST.

Resultados

Los resultados indicaron efecto significativo del tratamiento, la hora y la interacción de estos factores sobre la temperatura (TA) y la humedad relativa (HR). Por su parte, el ITH, solo registró efecto del tratamiento y la hora de evaluación (Tabla 3).

Tabla 3. Temperatura ambiental, humedad relativa e Índice de Temperatura Humedad para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná

	Pasto	p-Arbo	p-Arbo	p-Arbo-Arbo	Erro Estándar de la Media	Valor de p Trat.	Valor de p Hora	Valor de p Trata x Hora
Temperatura	36.23 a	36.69 a	33.57 c	34.70 b	0.22	0.0001	0.0001	0.0001
Humedad	56.54 a	54.98 a	61.03 b	57.51 a	0.53	0.0029	0.0001	0.0336
ITH	87.86 a	87.96 a	85.10 bc	85.82 ac	0.40	0.0257	0.0082	0.1508

Letras diferentes entre promedios de tratamiento indican diferencias significativas $p < 0.05$

Los tratamientos Pasto y p-Arbus, registraron la mayor temperatura ambiental ($p < 0.05$) desde las 9 hasta las 15 horas, con valores que oscilaron entre 34.7 y 40.8 °C para el tratamiento Pasto, y de 36.3 a 39.8 °C para el tratamiento p-Arbus. Contrario a esto, los sistemas silvopastoriles P-Arbor y P-Arbust-Arbor alcanzaron temperaturas máximas de 35.8 y 37.1 °C respectivamente.

La humedad relativa registró una tendencia opuesta a la temperatura ambiental. Los resultados presentados en la Figura 1, indican que los registros obtenidos a las 9 horas presentaron la mayor variación con un valor de HR para el tratamiento P-Arbor de 68%, con diferencias significativa del valor observado en los tratamientos P-Arbus-Arbor, Pasto y P-Arbust los cuales registraron 64.4, 64,2 y 56.1%.

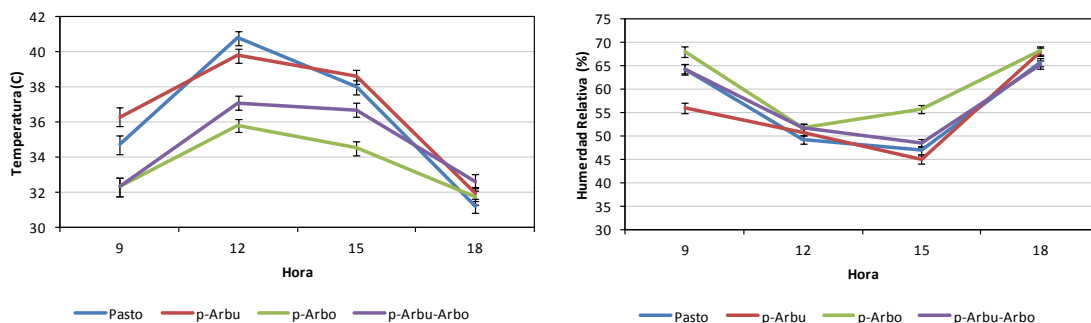


Figura 1. Evaluación de la temperatura ambiental (derecha) y la humedad relativa (izquierda) en cuatro horarios durante el día para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná

El ITH registró su valor máximo en el tratamiento p-Arbus y Pasto, con valores que alcanzaron 87.8 y 87.9 unidades. Estos tratamientos superaron significativamente en 2.76 y 2.04 unidades de ITH, el registro observado en los tratamientos p-Arbo y p-Arbus-Arbo respectivamente.

Los registros más elevados de ITH se observaron a las 12 horas del día, con un valor que alcanzó 90 unidades de este indicador de estrés calórico en el animal. El valor registrado a las 12 horas difirió significativamente del observado a las 9 y a las 18 horas, con 4 y 6 unidades de diferencia en ITH respectivamente, a las registradas en el horario de mayor intensidad. No se presentaron diferencias significativas de los registros de ITH a las 12 y 15 horas (Figura 2).

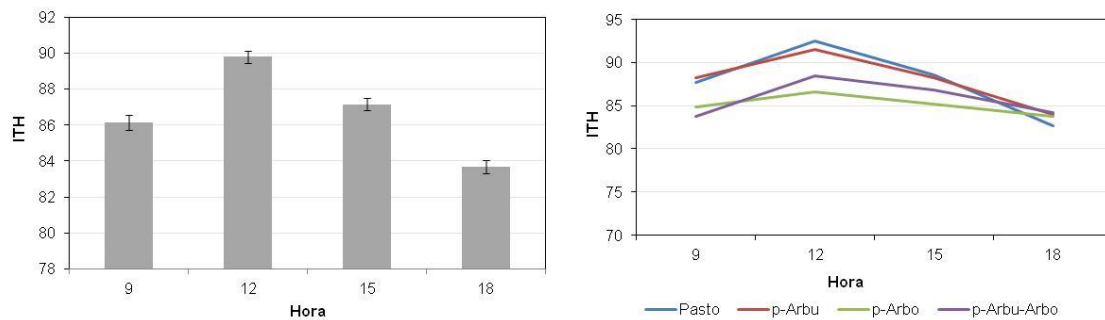


Figura 2. Registros de ITH bajo tres modelos silvopastoriles y en una pradera sin árboles.

Los resultados para el comportamiento ingestivo diario indicaron efecto del tratamiento ($p < 0.05$) sobre el tiempo total de pastoreo, el tiempo total dedicado al descanso y al tiempo de descanso en pie. Se observó que el sistema silvopastoril p-Arbo registró el mayor tiempo diario de pastoreo (6,48 horas), superando significativamente en 1.86 y 1.75 horas los registros de pastoreo hallados en los tratamientos Pasto y p-Arbo, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en el tiempo dedicado al pastoreo entre los tratamientos p-Arbo y p-Arbo-Arbo, y p-Arbo con p-Arbo-Arbo (Tabla 4).

El tiempo dedicado al descanso fue significativamente mayor en el tratamiento control. En este tratamiento los animales dedicaron 2.92 horas de actividad diaria, lo cual representó significativamente 41 y 60% más tiempo en descanso que el registrado en los tratamientos p-Arbo-Arbo y p-Arbo respectivamente. No se registraron diferencias significativas entre el tiempo dedicado al descanso para los tratamientos Pasto y p-Arbo.

Los resultados hallados en el total de tiempo dedicado al descanso parado, registraron diferencias significativa entre los tratamientos Pasto y p-Arbo contra el registro de tiempo de descanso parado en los tratamientos p-Arbo-Arbo y p-Arbo ($p < 0.05$). En todos los casos, las diferencias oscilaron entre 42 y 68% mayor gasto de tiempo para descanso en pie a favor de los tratamientos Pasto y p-Arbo, comparados con los tratamientos p-Arbo y p-Arbo-Arbo.

La separación en la forma como descansan los animales, evidenció una clara preferencia al descanso de pie en el tratamiento Pasto. En este tratamiento, los animales invierten el 81% (2.36 horas) del tiempo total de descanso a estar

parados, y solo el 19% restante de tiempo descansan acostados. En el tratamiento p-Arbusto, se observó la misma tendencia en el comportamiento de descanso; en este caso los animales dedicaron 68% (1.73 horas) de su tiempo a descansar parados, y el porcentaje restante lo hicieron acostados.

Se observaron tendencias estadísticas ($p=0.0983$) en el comportamiento de descanso acostado, y en el consumo de agua ($p=0.0989$). En la primera variable, el comportamiento sugirió que los animales del tratamiento p-Arbu dedicaron más tiempo a descansar acostados (0.82 horas), seguido del tratamiento Pasto (0.56 horas), y por último los sistemas silvopastoriles con estrato alto P-Arbor y P-Arbust-Arbor, con una dedicación de 0.37 y 0.38 horas respectivamente. En el caso de la segunda variable, la tendencia estadística evidenció que el tratamiento control registró el mayor tiempo dedicado al consumo de agua (0.30 horas), lo cual representó un 30, 50 y 53% más tiempo que el observado en los tratamientos p-Arbu, p-Arbo y p-Arbu-Arbo, respectivamente.

No se registraron diferencias significativas ($p>0.1$) en el tiempo dedicado a las actividades de rumia, caminata y otras actividades.

Tabla 4. Comportamiento ingestivo diurno en horas para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná

	Pasto	p-Arbu	p-Arbo	p-Arbu-Arbo	Error Estándar de la Media	p-valor Tratamiento
Pastoreo	4.62 a	4.73 ac	6.48 b	5.58 bc	0.236	0.0014
Rumia	1.47	1.78	1.52	1.53	0.150	0.5059
Descanso	2.92 a	2.56 a	1.14 b	1.75 b	0.178	0.0001
Des. Parado	2.36 a	1.73 ac	0.76 b	1.37 bc	0.191	0.0024
Des. Acostado	0.56	0.82	0.37	0.38	0.120	0.0983
Caminata	0.18	0.20	0.22	0.32	0.054	0.1350
Consumo Agua	0.30	0.21	0.15	0.14	0.044	0.0989
Otras actividades	0.04	0.03	0.04	0.14	0.041	0.3072

Letras diferentes entre promedios de tratamiento indican diferencias significativas $p < 0.05$

Se observaron tendencias estadísticas en el porcentaje de animales en las actividades pastoreo ($p=0.0701$) y descanso parado ($p=0.0920$). Los tratamientos silvopastoriles p-Arbo y p-Arbu-Arbo registraron 60 y 68% de sus animales pastoreando durante las evaluaciones realizadas, lo cual tiene una relación directa con ser los tratamientos que mayor tiempo dedicaron a la actividad de pastoreo. Por el contrario, los tratamientos Pasto y p-Arbu, solamente registraron 49 y 48% de sus animales pastoreando, lo que ratifica que los animales en estos tratamientos dedicaron menor tiempo a la actividad de pastoreo diurno.

La tendencia estadística en la variable número de animales en descanso de pie, sugirió que el tratamiento Pasto presentó mayor porcentaje de animales en esta actividad, registrando un valor de 26% de la población de animales en pastoreo para ese tratamiento (Tabla 4), lo cual indicó que fue una respuesta conductual en grupo, probablemente influenciada por factores ambientales en ese tratamiento.

Tabla 4. Porcentaje de animales en la actividad de comportamiento ingestivo para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el centro de investigación Turipaná

	Past o	p- Arbu	p- Arbo	p-Arbu- Arbo	Error Estándar de la Media	p-valor Tratamient o	p-valor Hora	p-valor Trata x Hora
Pastoreo	49%	48%	60%	68%	4%	0.0701	0.0001	0.1854
Descanso	32%	17%	18%	19%	5%	0.1216	0.0001	0.3307
Des. Parado	26%	18%	14%	14%	4%	0.0920	0.0001	0.4153

La hora de evaluación representó un efecto altamente significativo (<0.0001) en el porcentaje de animales en pastoreo, descanso y descanso en pie (Figura 3). Los mayores porcentajes de animales en la actividad de pastoreo se registraron entre las 9 y las 11 horas, y entre las 16 y las 18 horas, con registros entre 80 y 46%, y entre 66 y 71% respectivamente. Las horas de mayor radiación solar (entre las 12 y las 14 horas), limitaron la actividad de pastoreo, registrando entre 32 y 23% de animales en esta actividad. Las

actividades de descanso y descanso parado registraron una dinámica similar a través del día, observándose mayor porcentaje de animales en estas actividades a las 13 horas, con observaciones de 37% de los animales en descanso y 33% descansando en pie.

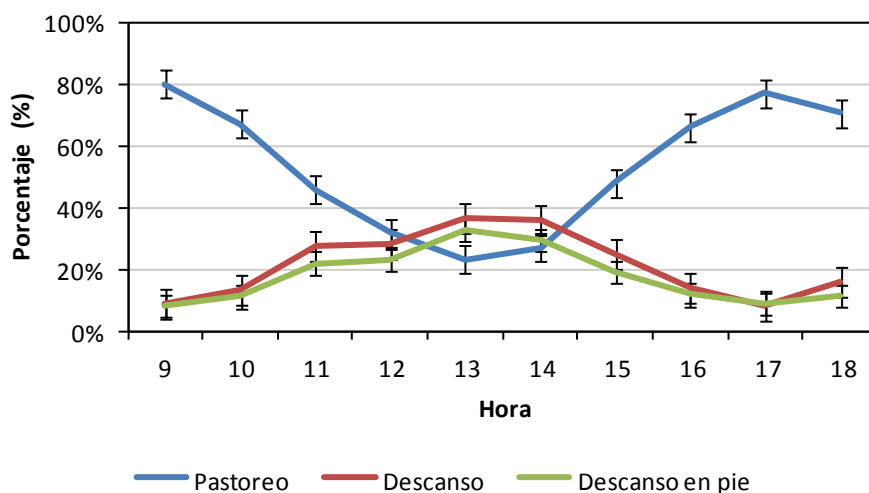


Figura 3. Porcentaje de animales en la actividad de Pastoreo, descanso y descanso en pie a través del día.

Discusión

Los resultados registrados para TA, HR e ITH alcanzaron valores que pueden ser considerados como factores de amenaza para la homeostasis y el normal comportamiento de los animales. Varios autores citan para vacas de raza holandesa que el valor crítico para el ITH es 72 unidades, reportando que por encima de este registro, se considera que estos animales experimentan estrés por calor (Amstromg, 1994; St-Pierre *et al.*, 2003; Collier *et al.*, 2011). Dada las características genéticas de los animales utilizados en este trabajo, se puede considerar como límite máximo un valor de 79 puntos en ITH, descrito para animales $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Gyr (Azevedo *et al.*, 2007) considerados más termotolerantes. Sin embargo, en todos los casos los registros de ITH reportados en el presente estudio sobrepasaron los valores de referencia, reafirmando que las condiciones ambientales pudieron tener un efecto decisivo en las conductas ingestivas registradas para cada tratamiento.

Los registros en temperatura ambiental, humedad relativa e ITH para los tratamientos silvopastoriles con cobertura arborea evidenciaron las ventajas

comparativas de este tipo de sistemas contra los sistemas a pastoreo abierto. Está determinado que el aporte de sombra incide significativamente sobre la reducción de los efectos adversos de la radiación directa en las alteraciones fisiológicas del animal. Estudios realizados bajo ambientes tropicales, informan que bajo la sombra de los árboles se observaron reducciones en temperatura rectal y de piel de 0.5 y 3 °C comparados con animales en pastoreo a cielo abierto (Souza, 2002; Betacourt *et al.*, 2003; Britto, 2010). Estas ventajas también han sido reportadas para la conducta de pastoreo en animales.

En el presente estudio, se evidenció que los animales en sistemas silvopastoriles con cobertura arbórea, lograron pastorear hasta 1.8 horas más, comparado con los animales que estuvieron expuestos a la radiación solar directa. Estudios desarrollados por Betacourt *et al.* (2003), bajo ambientes arbolados en condiciones de bosque húmedo, identificaron que los animales bajo condiciones de sombra, pastorearon 4.7% más tiempo que aquellos que se hallaban en praderas con cobertura arbórea baja. De igual forma, García (2010), en iguales condiciones a las reportadas anteriormente con animales de cruces *Bos taurus* x *Bos indicus*, informa un incremento de 5 y 50% de tiempo en pastoreo de potreros con cobertura arbórea mayor al 23% del área durante el período lluvioso y seco respectivamente, comparado con pastoreo en potreros con cobertura arbórea menor al 8%. Así mismo, Ceballos *et al.* (2011) bajo condiciones de la región caribe Colombiana informan incrementos de 4% en el tiempo de pastoreo registrados en bovinos bajo SSP_i, comparados con praderas mejoradas sin sombra.

Una de las causas a la disminución del tiempo de pastoreo en ambientes sin sombra, puede estar asociadas a las respuestas conductuales evidenciadas en bovinos bajo condiciones de estrés calorico. Estas respuestas están caracterizadas por búsqueda de sombra (Silanikove, 2000; Yokoyama-Kano *et al.*, 2004; Toker *et al.*, 2008; Pires *et al.*, 2011) y reducción del consumo de materia seca (Kadzere *et al.*, 2002; Beatty *et al.*, 2006 Nardone *et al.*, 2010; Silanikove, 2000; West, 2003), las cuales pueden, en cierta medida, ser complementaria. En el presente estudio no se evaluó la búsqueda de sombra ni el consumo de materia seca. Sin embargo, dada las condiciones de ITH en los tratamientos Pasto y p-Arbus en las horas de mayor radiación solar (93 y 92

unidades de ITH respectivamente), se puede asegurar que hubo un efecto directo del ambiente sobre el comportamiento ingestivo, disminuyendo el tiempo de pastoreo diurno, probablemente dando mayor participación a actividades de respuesta al estrés.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo evidenciaron mayor tiempo de descanso en los animales que pastorearon los tratamientos Pasto y p-Arbus. El tiempo de descanso u ocio, se ha asociado a respuestas conductuales ante el estrés calórico, denotando una inactividad que considera una baja generación de calor por actividad física, e incluso por baja ingestión de alimento (Damasceno *et al.*, 1999; Beatty, 2005; Britto, 2010; Pires *et al.*, 2011). Así mismo, Yokoyama-Kano *et al.*, (2004) afirma que esta inactividad es uno de los primeros comportamientos observados por ser de menor gasto energético, considerando que de no ser eficiente la pérdida de calor, continúan en marcha las respuestas sensibles e insensibles. Diferentes autores (Betacourt *et al.*, 2003; García, 2010; Britto, 2010) han reportado el incremento del tiempo de ocio bajo condiciones sin sombra.

En este trabajo, al igual que lo registrado por Britto (2010) y García (2011), se observó una clara preferencia a descansar de pie en los animales bajo el sistema Pasto, el cual presentó mayor efecto ambiental del ITH (87,86). La modificación conductual a descansar parado, está motivada por la capacidad de pérdida de calor por convección (Yokoyama-Kano *et al.*, 2004; Frazzi *et al.*, 2000), favoreciendo la circulación del viento por encima y por debajo del animal, cuando este se encuentra de pie. Contrario al comportamiento anterior, en el sistema silvopastoril con arbustos (p-Arbus), el cual presentó un valor de ITH (87,96) similar al del tratamiento Pasto, la tendencia de descanso acostado fue mayor que la de descanso parado, lo cual puede ser un efecto directo de la posibilidad de sombra ofertada por los arbustos, indicando que los animales permanecieron más tiempo acostados cerca al árbol, lo que evidenció un comportamiento de búsqueda de sombra como respuesta al estrés.

Las evaluaciones registradas sobre la conducta de consumo de agua indicaron una tendencia a mayor gasto de tiempo de bebida en el tratamiento Pasto. El consumo de agua se describe como una estrategia para contrarrestar lo

efectos adversos del estrés calórico (Arias *et al.*, 2008). En este sentido, Gonzalez-Pereyra *et al.*, (2009) indican que el consumo de agua en vacas holandesas se incrementa hasta en 22 litros cuando el animal es sometido a estrés calórico (ITH>80). Lo anterior puede indicar, que pese a no evaluar la ingesta total de agua, se puede considerar que el consumo de agua en el tratamiento Pasto, como respuesta ante el estrés calórico, fue mayor comparado con los sistemas silvopastoriles, dado los valores elevados de ITH en el tratamiento sin sombra.

Conclusiones

Los resultados observados en este trabajo evidenciaron el efecto ambiental sobre las alteraciones conductuales ante el estrés calórico. Así mismo, se observó el efecto positivo de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en los animales evaluados, brindando la posibilidad de pastorear por más tiempo como producto del menor ITH registrados en los sistemas silvopastoriles con cobertura arbórea.

Pese a trabajar con animales termo-tolerantes adaptados a condiciones de trópico (romosinuano y cebú), se evidenció que el ambiente afectó el comportamiento, indicado que a pesar de estar adaptados, hay posibilidades de mejorar las conductas de pastoreo ofertando sombra natural .

Referencias Bibliográficas

- Arias, R., Mader, T., and Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet* **40**, 7-22.
- Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of dairy science* **77**(7), 2044-2050.
- Betancourt, K., Ibrahim, M., Harvey, C., and Vargas, B. (2003). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* **10**(39-40), 47-51.
- Britto Ferreira, L. (2010). Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra *Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós- Graduação em Agroecossistemas.* , 89.
- Broom, D., and Molento, C. (2004). BEM-ESTAR ANIMAL: CONCEITO E QUESTÕES RELACIONADAS–REVISÃO (Animal welfare: concept and related issues–Review). *Archives of Veterinary Science* **9**(2), 1-11.

- Brown-Brandl, T., Eigenberg, R., Nienaber, J., and Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* **90**(4), 451-462.
- Cajas-Girón, Y. S. (2002). University of Wales, Bangor. UK.
- Damasceno, J. C., Baccari Jr, F., and Targa, L. A. (1999). Respostas comportamentais de vacas holandesas com acesso a sombra constante ou limitada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **34**(4), 709-715.
- Dikmen, S., and Hansen, P. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of dairy science* **92**(1), 109-116.
- Fernandes, A. C. (2005). Efeito do estresse térmico sobre a seleção de dieta por bovinos. *Efeito do estresse térmico sobre a seleção de dieta por bovinos*.
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of animal science* **77 Suppl 2**, 10-20.
- Kadzere, C., Murphy, M., Silanikove, N., and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* **77**(1), 59-91.
- Martínez, E., Pulido, R., and Latrille, L. (2002). Efecto de la paja de trigo tratada con alcali sobre el consumo de alimento y comportamiento ingestivo de vacas lecheras. *Archivos de medicina veterinaria* **34**(2), 199-212.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., and Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* **130**(1-3), 57-69.
- Paranhos da Costa, M. (2000). Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. *Anais de Teologia* **18**, 26-42.
- Pires, M. F. Á., de Campos, A. T., and Novaes, L. P. (2001). Razas lecheras: ambiente y comportamiento animal en los trópicos.
- Pires, M. F. Á., de Campos, A. T., and Novaes, L. P. (2001). Razas lecheras: ambiente y comportamiento animal en los trópicos.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* **67**(1-2), 1-18.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* **67**(1-2), 1-18.
- Tucker, C. B., Rogers, A. R., and Schutz, K. E. (2008). Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* **109**(2-4), 141-154.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science* **86**(6), 2131-44.
- Yokoyama, K. J. S., Alzina-López Alejandro, Farfán-Escalante Jorge C., Valencia-Heredia Eduardo R. (2004). Respuestas conductuales termorregulatorias de búsqueda de sombra en bovinos cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* criados en la zona costera y oriente del estado de Yucatán. *Rev Biomed* **15**, 17-26.

Capítulo IV. Efecto de tres modelos silvopastoriles en la producción y composición de la leche en el sistema de producción doble propósito bajo condiciones de la Región Caribe Colombiano.

Wilson Andrés Barragán-Hernandez¹, Liliana Mahecha-Ledesma², Yasmin Socorro Cajas-Girón¹.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Centro de Investigación Turipaná. Km 13 vía Montería - Cereté (Córd.) – Colombia.

**Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA)- Producción Animal Sostenible.*

Ciudadela de Robledo, Carrera 75 N° 65-87, Medellín (Ant) - Colombia

wbarraganh@corpoica.org.co

Resumen

La ganadería doble propósito en la Región Caribe representa un renglón importante de la economía regional, sin embargo presenta limitaciones como la degradación de suelos y praderas que contribuyen a la baja eficiencia biológica y económica del sistema productivo. El uso de sistemas silvopastoriles puede constituirse en una herramienta valiosa para combatir la degradación y para aumentar los parámetros técnicos en el sistema bovino doble propósito, en ese sentido, el presente trabajo evaluó el efecto de tres modelos silvopastoriles conformados por Pasto-Arbusto, Pasto-Arbóreas y Pasto-Arbusto-Arbóreas, en la producción y calidad composicional de la leche, comparados con una pradera sin árboles. Se emplearon animales provenientes de un cruce RHC con un peso promedio de 436 ± 64.2 kg y 56 ± 28 días en lactancia. Los animales fueron sometidos a una rutina diaria de ordeño en la cual se registró la producción de leche y se tomaban muestras para análisis de calidad composicional de la misma. La producción de materia seca se determinó mediante el método de disponibilidad por frecuencia y se tomaron muestras para calidad composicional del forraje consumido por los animales. Los resultados no indicaron efecto del tratamiento en la producción de materia seca ($p > 0.05$), contrario a esto, se registró efecto del tratamiento en el porcentaje de PC para la gramínea P. maximum, indicando que a medida que aumenta la cobertura arbórea se incrementó la PC hasta 12.6%, comprada con 10% en el

tratamiento sin árboles. No se registraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para los parámetros de modelo de Wood, producción al pico y tiempo al pico de producción, sin embargo se presentó efecto significativo ($p < 0.05$) de la producción de leche por ha, indicando que el tratamiento silvopastoril que incluye especies arbustivas, registró la mayor producción de leche ha⁻¹ día⁻¹ con un valor de 12.8 l. No se presentaron efectos significativos del tratamiento sobre la calidad composicional de la leche. Los resultados obtenidos indicaron que el modelo silvopastoril que incluye arbustos resultó en mayor eficiencia de la capacidad de producción por unidad de superficie, lo cual pudo estar influenciado por la mejor calidad de la dieta ofertada y mayor capacidad de carga.

Abstrac

The dual purpose cattle in the Caribbean Region represent an important line of the regional economy, but have limitations as the prairie soil degradation and contributing to its low biological and economic efficiency. The use of silvopastoral systems can become a valuable tool to combat land degradation and increase the technical parameters in dual purpose cattle system, in that sense, this study evaluated the effect of three silvopastoral models in production and compositional quality of milk, compared with a treeless prairie. Animals were used from a cross RHC with an average weight of 436 ± 64.2 kg and 56 ± 28 days in milk. The animals were subjected to a daily routine of milking in which production was recorded and samples were taken for analysis of compositional quality of milk. Dry matter production was determined by the method of frequency availability and sampled for compositional quality of forage consumed by animals. The results indicated no treatment effect on dry matter production ($p > 0.05$), contrary to this, the treatment effect was recorded in the percentage of PC for the grass P. maximum, indicating that with increasing tree cover increased to 12.6% PC, bought with 10% in the treatment without trees. There were no significant differences ($p > 0.05$) between treatments for Wood model parameters, and time to peak production at peak production, but appeared significant ($p < 0.05$) in milk production per ha, indicating that treatment silvopastoral including shrubs, recorded the highest milk yield ha⁻¹ day⁻¹ with a value of 12.8 l. No significant effect of treatment on milk

compositional quality assessed. The results indicated that the model that includes shrubs silvopastoral resulted in increased efficiency of production capacity per unit area, which was influenced by increased forage production and higher load capacity.

Introducción

La ganadería en la región Caribe representa un renglón importante en la economía regional (Observatorio de Caribe Colombiano, 2006), aportando el 55% del volumen de leche fresca y el 60% del volumen de carne que se comercializa en el país (Tatis y Botero, 2005). Sin embargo, pese a la importancia de la actividad en la región, el sistema de producción doble propósito evidencia bajos indicadores productivos y reproductivos (Pérez *et al.*, 1998).

Estudios desarrollados por Cajas-Girón (2002) identificaron que bajo la Región Caribe, la ganadería enfrenta serios limitantes para su eficiencia como lo son la disminución en la producción y calidad del forraje durante el período seco, los cuales pueden ser hasta del 50 y 70% respectivamente. Adicionalmente, la degradación de suelos y praderas ha ganado espacios en las áreas bajo uso en ganadería, con niveles de 73, 69 y 94% para los departamentos de Córdoba, Sucre y Atlántico respectivamente (Cajas-Girón *et al.*, 2010), lo cual se constituye en otro factor para la ineficiencia técnica y biológica en el sistema de producción.

Diferentes autores han documentado los efectos de los sistemas silvopastoriles en la relación suelo-planta-animal, incrementando el contenido de nutrientes en el suelo (Nair *et al.*, 1999; Schroth, 2003), afectando las características bromatológicas y estructurales de las gramíneas (Wilson, 1996; Wong, 1991) y mejorando la calidad de la dieta consumida (Pezo e Ibrahim, 1998; Cajas-Girón *et al.*, 2002; Pinto *et al.*, 2004), así como también, reduciendo el efecto del estrés calórico en los animales (Betancourt *et al.*, 2003; García, 2010), por lo que se considera que este tipo de sistemas de producción puede ser un componente importante del desarrollo productivo de la ganadería bajo condiciones de trópico.

Estudios que relacionan el efecto de los sistemas silvopastoriles en la producción de leche han reportado que este tipo de sistemas de producción incrementa el volumen en litros por animal (Souza 2002; Cajas-Giron, 2002; Betancourt *et al.*, 2003; Hernández y Ponce, 2004; Roncallo *et al.*, 2009), así como también, mejora la calidad composicional de la leche (Hernández y Ponce, 2004; Roncallo *et al.*, 2009).

El objetivo del presente trabajo fue valorar el efecto de 3 modelos silvopastoriles en la producción y composición de la leche, comparado con una pradera sin árboles.

Materiales y Métodos

Área de estudio y diseño del experimento

La evaluación se llevó a cabo en el centro de investigación Turipaná, adscrito a la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), localizado en Cereté, Córdoba, Colombia (8°51' N, 75°49' W, altitud de 18 m sobre el nivel del mar). La zona presenta dos periodos climáticos definidos, un periodo de lluvias de mayo a noviembre y un periodo seco de diciembre a abril. La precipitación, promedia anual es de 1380 mm, con una temperatura media anual de 28 °C. Se registra una evapotranspiración potencial anual de 1240 mm y humedad relativa de 81% (datos de la estación climatológica CORPOICA-Turipaná). Según la clasificación de Holdrige la zona se clasifica ecológicamente como bosque seco tropical (bs-T).

En el año 1998 se establecieron cuatro tipos de sistemas silvopastoriles de diferente estructura y complejidad más una pradera sin árboles (control). Para efectos de esta investigación solamente fueron usados 3 tratamientos silvopastoriles. Los tratamientos utilizados estuvieron compuestos por tres distintos estratos: pasturas, arbustos y árboles (productores de frutos). El tratamiento control (Pasto) estuvo conformado solo por pasturas (*Panicum maximum*, *Dichanthium aristatum* y *Cynodon nlemfuensis*), el primer sistema silvopastoril presentó solamente arbustos (p-Arbust), el segundo modelo incluyó un estrato de árboles (p-Arbor) y el último modelo silvopastoril (p-Arbust-Arbor), la combinación de pasturas, arbustos y árboles. Inicialmente las densidades utilizadas en el establecimiento fueron 625 y 159 arbustos ha⁻¹. en los modelos silvopastoriles p-Arbust y p-Arbor, respectivamente. Para el caso del sistema silvopastoril p-Arbust-Arbor, se utilizó un método de sustitución del 25% de la población de arbustos por árboles para obtener tres estratos, en ese

orden de ideas, en este tratamiento la densidad de arbustos fue de 468 ha⁻¹., y la de árboles de 159 ha⁻¹.. En el año 2004, se realizó una entresaca de especies arbóreas, disminuyendo de 159 árboles ha⁻¹ (distancia de siembra de 8x8 metros) a 39 árboles ha⁻¹. (distancia de siembra 16 x 16 metros). Para el estrato arbustivo se utilizaron las especies *Leucaena leucocephala* y *Crecentia kujete*, y para el estrato arbóreo las especies fueron *Guazuma ulmifolia*, *Cassia grandis* y *Albizia saman* (Tabla 1). Cada tratamiento estuvo constituido de 2 hectáreas (100 metros de ancho por 200 metros de largo), para un total de 6 hectáreas efectivas para pastoreo en las tres repeticiones.

La Tabla 1 Complejidad estructural y diversidad vegetal para cada uno de los modelos silvopastoriles evaluados y para la pradera sin árboles.

Tratamiento	Descripción	Estratos	Especies (% composición herbácea)
Pasto	Pastura	1	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (40%), <i>Dichanthium aristatum</i> (34%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (13%), otras especies (5%) y leguminosas herbáceas (8%)
p-Arbust	Pastura + Arbustos productores de hojas	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (49%), <i>Dichanthium aristatum</i> (25%), <i>Cynodon nlemfuensis</i> (10), otras especies (10%) y leguminosas herbáceas (6%) Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Densidad de arbustos= 625 árboles ha ⁻¹ . Marco de siembra 4x4.
p-Arbor	Pasto + Árboles	2	Estrato herbáceo= <i>Panicum maximum</i> (68%), otras especies (19%) Estrato arbóreo= <i>Cassia gradis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> . Densidad de árboles= 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra= 16 x 16
p-Arbust-Arbor	Pasto + Arbustos + Árboles	3	Estrato herbáceo = <i>Panicum maximum</i> (60%), otras especies (15%). Estrato arbustivo= <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>Crecentia kujete</i> . Estrato arbóreo= <i>Cassia gradis</i> , <i>Albizia saman</i> y <i>Guazuma ulmifolia</i> Densidad de arbustos = 468 arbustos ha ⁻¹ . Densidad de árboles = 39 árboles ha ⁻¹ . Distancia de siembra arbustos= 4 x 4 metros. Distancia de siembra de árboles sustituidos por arbustos = 16 x 16 metros.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada tratamiento estuvo constituido por 2 hectáreas, generando un área efectiva de pastoreo por tratamiento de 6 hectáreas.

Animales evaluados

Se emplearon animales provenientes de un cruce Romosinuano (50%), Holstein (25%) y Cebú Comercial (25%) con un peso promedio de 436±64.2 kg y 56±28 días en lactancia.

Los animales estuvieron sometidos a una rutina diaria de ordeño mecánico iniciada a las 6 AM (ordeño único), regresando al potrero a las 8 AM. Se realizó pastoreo rotacional (mediante cinta eléctrica) con 5 franjas por tratamiento y un área de pastoreo de 4000 m² por cada franja. Cada franja de pastoreo tuvo un periodo de ocupación y descanso de 2 y 28 días respectivamente.

Los terneros fueron manejados mediante amamantamiento restringido. La cría permanecía con la madre durante el ordeño para realizar el apoyo posteriormente se encuentra con la madre para tomar la leche residual. Después de este proceso, el ternero es apartado a un potrero con disponibilidad de forraje, sal y agua a voluntad, y solo se encuentra con la madre las horas de la tarde (2:00 PM) para ser amamantado, ingiriendo el volumen total de leche producido desde la mañana. Las crías mayores a cuatro meses solo consumían la leche residual después del ordeño.

Registro de la información

En cada tratamiento se determinó la producción de materia seca por hectárea con una frecuencia mensual (desde febrero de 2011 a Diciembre de 2012) empleando la metodología de disponibilidad por frecuencia descrita por Hoyos *et al.* (1995), de igual forma se tomó una muestra de la gramínea *Panicum maximum* cv. Mombasa, por tener mayor participación en la composición herbácea de la pradera, y de las arbustivas *Leucaena leucocephala* y *Cresceta cujete* en cada tratamiento, con la cual se determinó la composición bromatológica siguiendo los lineamientos descritos por la AOAC (1990), para cuantificar proteína (Kjendal), Grasa (Soxhlet) y ceniza (combustión completa), las estimaciones de FDN y FDA según lo descrito por Van Soest y Robertson (1981) y la digestibilidad a través de la técnica de la bolsa de nylon.

Con los resultados obtenidos en la estimación de la materia seca, se determinó la carga animal, la cual se ajustó con el uso de animales volantes durante todo el experimento.

Los datos de producción de leche se colectaron de forma continua desde Marzo de 2010 hasta Diciembre de 2011, mediante ordeño mecánico (Alfamatic

VP-76, con capacidad para 12 puestos). A cada animal se le registró la producción individual del volumen de leche en litros, en un único ordeño.

La evaluación de la calidad composicional de la leche se realizó en un periodo de 5 meses (Agosto a Diciembre de 2012), con una frecuencia de registro de tres veces por semana. Esta variable se determinó mediante muestreo individual a cada animal y posterior análisis en laboratorio CORPOLAC (CORPOICA), utilizando un Analizador de Leche (Milkoscan FT 120), Marca FOSS.

Análisis Estadístico

Los datos colectados fueron almacenados en una hoja de cálculos de Microsoft Excel® para su organización y análisis. En el caso de los registros obtenidos para la producción de forraje y calidad bromatológica de la gramínea *P. maximum* y arbustivas *L. leucocephala* y *C. kujete* se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 4 tratamientos (Pasto, p-Arbust, p-Arbor y p-Arbust-Arbor) y 3 repeticiones. El factor de bloqueo se consideró por variaciones en la capacidad de drenaje del área utilizada, la cual se caracterizó con buen drenaje, drenaje moderado y mal drenaje. La hipótesis alterna esperada fue obtener efecto de los sistemas silvopastoriles en la producción de forraje por hectárea y cambios en la calidad bromatológica del componente herbáceo y arbustivo.

Los resultados obtenidos en producción de leche de manera individual, fueron analizados empleado el modelo de curva de lactancia de Wood (1967) mediante modelo de regresión no lineal empleando el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS. En el procedimiento anterior, fueron obtenidos los parámetros de tiempo al pico de lactancia, producción en el pico y producción total, los cuales fueron analizados empleando un ANOVA, que consideró como unidades experimentales las vacas asignadas a cada tratamiento, y el tratamiento evaluado como efecto fijo en el modelo. Para este análisis se empleó el procedimiento GLM del paquete estadísticos SAS, considerando como error alfa 0.05 y el test TUKEY para comparación de medias.

Modelo de Wood

$$y_t = \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t)$$

y_t = Producción de leche en un tiempo determinado.

β_0 = Producción de leche al inicio de la lactancia.

β_1 = Parámetro que explica la pendiente de la curva.

β_2 = Parámetro que explica la desaceleración de la curva de lactancia.

Para el análisis de los datos obtenidos en la evaluación en la calidad bromatológica de la pastura se utilizó un ANOVA mediante el procedimiento MIXED, considerando como efectos fijos el tratamiento, y como efectos aleatorios el factor de bloqueo y el error experimental. En el caso de la producción de forraje (kg de MS ha⁻¹) y leche (l ha⁻¹), se empleó un modelo mixto con arreglo de medidas repetidas, el cual consideró como efectos fijos el tratamiento evaluado y el tiempo de evaluación (mes de muestreo), y como efectos aleatorios, el factor de bloqueo y el error asociado al diseño experimental. Para esta evaluación, se modeló la estructura de varianzas que mejor explicó la posible correlación entre las observaciones, con base en el estadístico BIC. Para todos los casos se empleó el paquete estadístico SAS versión. 9.2 (SAS inc., North Carolina, USA), considerando como error alfa 0.05.

Resultados

Los resultados no indicaron efecto significativo ($p > 0.05$) del tratamiento y de la interacción tratamiento por mes de evaluación en la producción de materia seca, sin embargo se observó efecto significativo ($p < 0.05$) del mes de evaluación en esta variable (Figura 1).

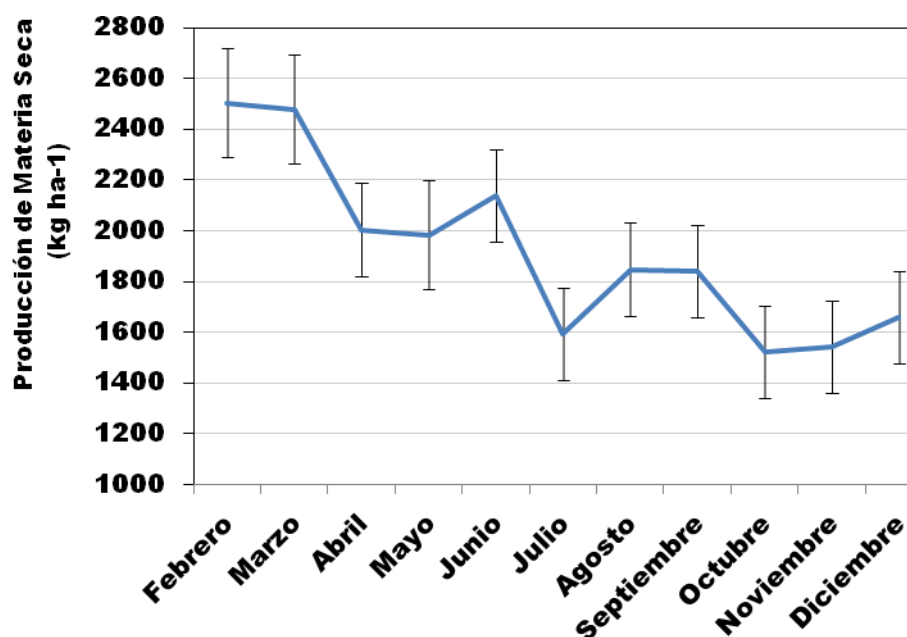


Figura 1. Efecto del tiempo en la producción de materia seca en los 3 modelos silvopastoriles y en la pradera control..

En términos de calidad bromatológica se observó efecto significativo ($p < 0.05$) del tratamiento en el porcentaje de proteína cruda (PC) de la gramínea *Panicum maximum*. El tratamiento p-Arbu-Arbo presentó el mayor registro de PC, con un valor de 12.6%, seguido del tratamiento p-Arbo con 11%, p-Arbus con 10% y por último el tratamiento sin árboles con un registro de 9.7% de PC. No se observaron efectos significativos del tratamiento en la proporción de FDN, FDA y DIVMS en la gramínea *P. maximum* (Tabla 2).

Tabla 2. Composición bromatológica de *P. maximum* bajo 3 modelos silvopastoriles y bajo una pradera sin árboles

Tratamiento	PC	FDN	FDA	DIVMS
Pasto	9.70	78.66	43.90	54.60
P-Arbu	10.00	78.55	43.31	56.13
P-Arbo	11.93	79.28	44.02	57.67
P-Arbu-Arbo	12.59	79.12	42.74	59.61
Error Estándar de la Media	1.49	1.07	0.72	1.80
Valor de P	0.0151	0.5211	0.880	0.1904

Los datos bromatológicos obtenidos de las especies arbustivas *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*, en los tratamientos p-Arbust y p-Arbust-Arbor, no registraron efecto del tratamiento ($p>0.05$) en las variables evaluadas (Tabla 3).

Tabla 3. Composición bromatológica de L leucocephala y C. Cujete bajo 2 modelos silvopastoriles.

Tratamiento	PC		FDN		FDA		DIVMS	
	LI	Cc	LI	Cc	LI	Cc	LI	Cc
P-Arbu	30.25	14.58	55.81	62.,43	24.01	48.36	56.82	53.77
P-Arbu-Arbo	32.62	15.66	52.89	63.64	23.75	52.53	65.89	50.78
Error Estándar de la Media	1.02	0.46	2.51	1.82	3.82	1.,75	2.33	1.63
Valor de P	0.2426	0.219	0.3572	0.5990	0.9660	0.2352	0.1113	0.2757

LI: *Leucaena leucocephala*.

Cc: *Crescentia cujete*

Los resultados obtenidos en la carga animal registraron efecto del tratamiento, del mes de evaluación y de la interacción entre estos factores. El tratamiento p-Arbus registró la mayor carga, con un valor de 3.6 animales ha^{-1} , el cual superó 14, 27 y 39% los resultados obtenidos en los tratamientos Pasto, p-Arbu-Arbo y p-Arbo, respectivamente (Figura 2).

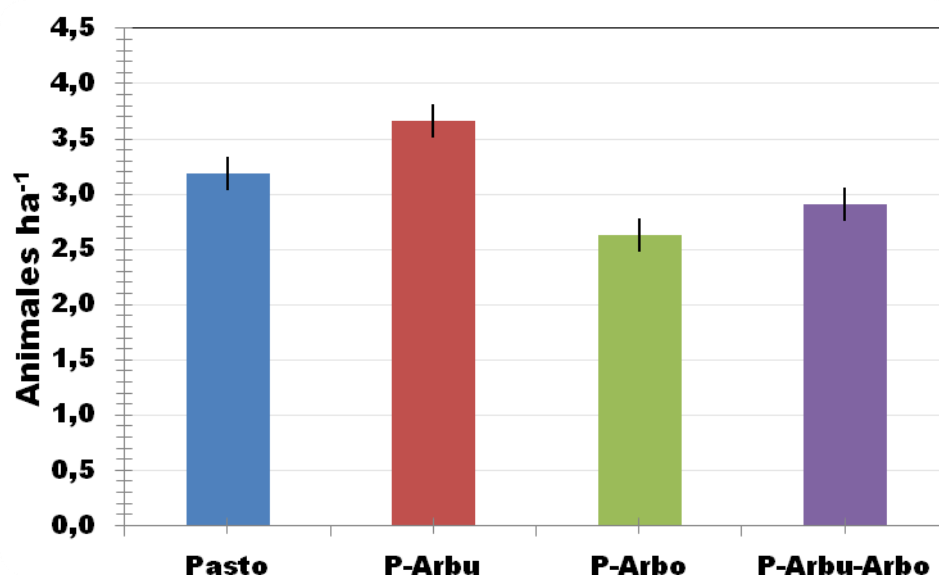


Figura 2. Carga en animales ha⁻¹, para 3 modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles.

La dinámica de la carga en el tiempo evidenció que durante los meses de mayor precipitación (Mayo – Octubre) los tratamientos Pasto y p-Abus registraron los mayores valores de carga animal con oscilaciones entre 3 y 4 animales ha⁻¹ para el primero y entre 3 y 5 animales ha⁻¹ para el segundo tratamiento. Contrario a esto, las cargas animales en estos tratamientos se vieron afectadas hasta en un 50% durante el período seco.

Los sistemas silvopastoriles p-Arbo y p-Arbu-Arbo, presentaron una dinámica contraria a la descrita anteriormente. Durante el período seco se observaron cargas más altas en estos tratamientos, con valores que oscilaron entre 2 y 4 animales ha⁻¹ para el tratamiento p-Arbo y entre 3 y 5 animales ha⁻¹ en el p-Arbu-Arbo (Figura 2).

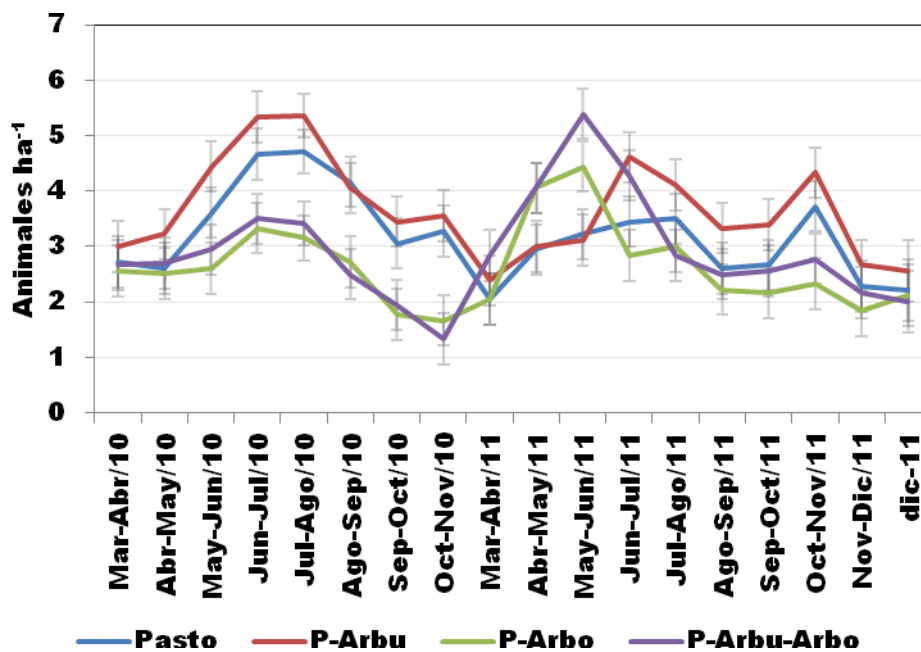


Figura 3. Dinámica de la carga en animales ha^{-1} , para 3 modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles.

Los resultados obtenidos para el desempeño individual medido a través de la curva de lactancia empleando el modelo de Wood (Figura 3), indicaron que el tratamiento no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) en el tiempo al pico de lactancia, la producción de leche al pico y producción total en la lactancia (Tabla 4).

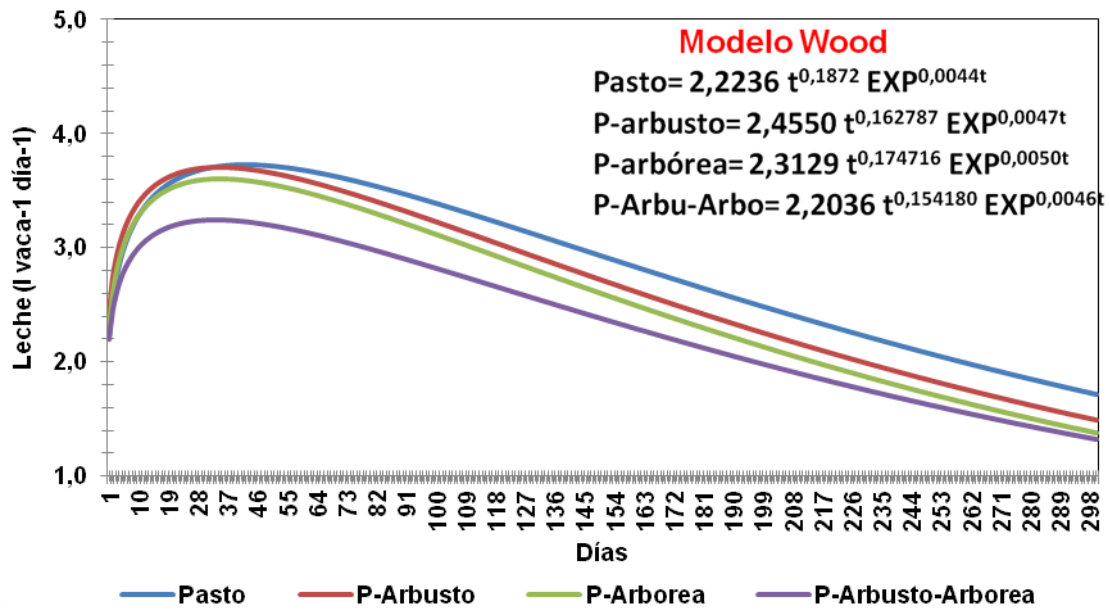


Figura 4. Curva de lactancia aplicando el modelo de Wood para 3 sistemas silvopastoriles y una pradera sin árboles.

Tabla 4. Tiempo al pico de producción, producción de leche al pico y producción total en la lactancia para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el CI Turipaná.

Tratamiento	Tiempo al pico de producción (días)	Producción de leche al pico (litros)	Producción total en la lactancia (litros)
Pasto	39,26 (13,93)	3,67 (0,64)	812,17 (121,3)
P-Arbu	36,04 (11,63)	3,71 (0,86)	830,23 (282,7)
P-Arbo	37,01 (14,56)	3,82 (1,06)	729,2 (208,3)
P-Arbu-Arbo	34,98 (10,76)	3,29 (0,36)	718,6 (184,2)
Valor P	0.8574	0.8237	0.7158

La producción de leche por unidad de superficie presentó efecto significativo del tratamiento ($p < 0.05$), sin embargo, no se observaron efectos ($p > 0.05$) del mes de evaluación ni de la interacción entre el tratamiento y el mes.

El tratamiento que incluye especies arbustivas presentó la mayor producción de leche por unidad de superficie, alcanzando un valor de 12.8 l ha^{-1} . Este registro superó en 3 l la producción observada en el tratamiento sin árboles y 4.3 y 5 l el volumen de leche producido en los tratamientos p-Arbo y p-Arbu-Arbo, respectivamente.

Los resultados obtenidos en la calidad composicional no indicaron efecto del tratamiento ($p > 0.05$) en la modificación de la Grasa, Proteína o Sólidos No Grasos de la leche. La Tabla 5 indica los resultados obtenidos en cada caso.

Tabla 5. Parámetros composicionales de leche asociada a 3 modelos silvopastoriles y a una pradera sin árboles.

Parámetro	Pasto	P-Arbu	P-Arbo	P-Arbu-Arbo	Error Estándar de la Media	p-Valor
Proteína	3.93	3.67	4.13	3.91	0.21	0.4852
Grasa	3.91	3.85	4.19	4.11	0.35	0.8718
Sólidos No Grasos	9.57	9.29	9.86	9.67	0.19	0.2400

Discusión

Los resultados indicaron la capacidad de adaptación de la gramínea *P. maximum* a ambientes silvopastoriles y la influencia que ejercen este tipo de sistemas en la modificación de las proporciones proteicas en la composición de la materia seca.

Diferentes estudios han reportado efectos de ambientes silvopastoriles en la reducción de la producción de materia seca para especies del género *Brachiaria* (Villanueva *et al.*, 2008; Paciullo *et al.*, 2010) y *Panicum* (Durr y Rangel, 2000; Obispo *et al.*, 2008; Viafara *et al.*, 1997); pese a que ambas son catalogadas como medianamente tolerantes al sombreado (Wong, 1991). Durr y Rangel (2000) afirman, para la especie *P. máximo* que, reducciones en

la biomasa de esta gramínea bajo condiciones de sombra, indican que el factor luz es absolutamente limitante para la fotosíntesis y acumulación de carbohidratos, reportando rangos de 12-28% de luminosidad como críticos. En el presente trabajo no se registraron efectos del tratamiento en la producción de materia seca, lo que puede sugerir que los sistemas silvopastoriles no han limitado la producción de materia seca por competencia de luz.

Las modificaciones bromatológicas de la gramínea *P. maximum* en ambientes bajo sombra han sido reportadas para la cantidad de proteína en la materia seca (Wilson y Willd, 1990; Wong y Wilson, 1985; Benjamin *et al.*, 1991) y en menor medida para parámetros como digestibilidad, FDN y FDA (Ladyman *et al.*, 2003). Estos cambios en la composición proteica del forraje por efecto de la sombra han sido reportados por el desarrollo de gramíneas bajo árboles leguminosos, los cuales están asociados a mayor ciclaje de nutrientes (aporte de hojarasca) y disponibilidad de nitrógeno en el suelo. (Wilson y Willd, 1990; Treydet *et al.*, 2007).

No se reportan estudios que refieran el uso de modelos de curvas de lactancia en ambientes silvopastoriles y mucho menos en animales de las características genéticas a los utilizados en este trabajo. Sin embargo, diferentes autores han reportado el uso de otros modelos para describir la curva de lactancia en bovinos doble propósito, aplicando modelos cuadráticos (Ossa *et al.*, 1997) y Polinomial inverso (Botero y Vertel, 2006) con resultados que logran simular el fenómeno biológico. En este estudio, el modelo de Wood describió el fenómeno biológico de la curva de lactancia en animales de cruces RHC. Sin embargo, no se registraron diferencias estadísticas en las variables evaluadas para cada uno de los tratamientos.

Estudios realizados por Cajas-Girón (2002) en el mismo sistema silvopastoril sobre el cual se realizó este trabajo, pero usando animales F1 de cruce Holstein x Cebú, reportan producción por hectárea que superan el volumen de leche registrado en el presente trabajo. El mismo autor reporta producciones de leche en los sistemas silvopastoriles que superan hasta en un 50% el volumen por hectárea registrado en la pradera sin árboles. Lo anterior sugiere que la producción de leche por hectárea en el presente estudio estuvo limitada

por el potencial genético de los animales empleados, los cuales tiene un componente importante de Romosinuano caracterizado como animal para producir carne (Montes *et al*, 2009).

Pese a las limitaciones productivas de los animales evaluados para producción de leche, se observó que el sistema silvopastoril que incluyó arbustos, superó significativamente la producción de leche por hectárea registrada en el tratamiento sin árboles. Lo anterior indica que si bien no se tiene animales altamente productivos, se observa un mayor potencial de producción en leche $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en el modelo silvopastoril con especies arbustivas, comparado con el tratamiento control, lo que puede estar atribuido a la mejor calidad nutricional de la dieta ofertada.

Estudios realizados por Cajas-Girón (2002) indicaron que este modelo silvopastoril produjo 74% más leche $\text{ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ durante el periodo seco, atribuyendo este resultado a la participación de las especies arbustivas *C. kujete*, *L. leucocephala* y *G. sepium* en la dieta de los animales medida a través de n-Alkanos, la cual fue del orden del 50% de la materia seca consumida.

En el presente trabajo no se registraron efectos significativos de los sistemas silvopastoriles sobre la calidad composicional de la leche, sin embargo está referenciado en la literatura que los ambientes silvopastoriles ofertan una dieta diversificada con mayor aporte proteico (Cajas-Girón, 2002), lo cual impacta positivamente la calidad composicional de leche (Souza 2002; Betancourt *et al.*, 2003; Hernández y Ponce, 2004; Roncallo *et al.*, 2009). La ausencia de efecto significativo sobre la calidad de la leche de las dietas silvopastoriles en el presente trabajo, pudieron estar influenciadas por la características genéticas de las vacas usadas en el estudio, las cuales pudieron limitar la capacidad de la dieta consumida en los cambios de la composición de la leche.

Conclusión

Fueron evidentes los efectos de los modelos silvopastoriles en la modificación de la calidad proteica de la gramínea *Panicum máximum*. Sin embargo, las mejoras en la dieta no se reflejaron tangiblemente en el aumento individual de la producción ni en las modificaciones de los componentes nutricionales de la leche.

El modelo silvopastoril que incluye arbustos resultó en mayor eficiencia de la capacidad de producción de leche por unidad de superficie, lo cual pudo estar influenciado una mejor calidad de forraje ofertado y mayor capacidad de carga.

El grupo genético utilizado en el trabajo se constituyó en un limitante para evidenciar las bondades de los sistemas silvopastoriles referenciadas en la literatura y registradas en pasadas experiencias bajo los mismos modelos.

Referencias Bibliográficas

OBSERVATORIO DEL CARIBE COLOMBIANO. 2006. Indicadores Económicos y Sociales de la Región Caribe Colombiana

Tatis R y Botero L 2005. Genesis y Consolidación del sistema vacuno doble propósito. ASODOBLE, Bogotá, Colombia, 282 p.

Perez, J., Martínez, G., Albarado, L., and Ossa, G. (1998). Características Productivas, Reproductivas y Biofísicas de Cuatro Fincas en el Sistema Doble Propósito en el Departamento de Córdoba. *La Investigación Pecuaria*.

Cajas-Girón YS (2002) Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia. PhD thesis, University of Wales, Bangor. UK. 214 pp.

Cajas-Girón YS, Martínez JC, Panza BD, Mogollón A, Barragan WA et al., Valoración integral de los beneficios de Sistemas Silvopastoriles de estratos múltiples sobre la sostenibilidad del suelo y la productividad animal en el Sistema doble propósito de la región Caribe. CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA. 191 p.

Nair PKR, Buresh RJ, Mugendi DN and Latt CR (1999) Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: Myths and science. In: Agroforestry in sustainable agricultural systems (Buck LE, Lassoie JP and Fernandes ECM, eds.). Boca Raton, FL., CRC Press pp 1-31.

Schroth G. 2003. Decomposition and Nutrient Supply from Biomass. G Schroth and F.L. Sinclair (Eds.) CABI publishing. ISBN 0-85 199-593-4. 437 pp.

Wilson, J.R. 1996. Shade simulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. Australian Journal of Agricultural Research 47:1075-1095.

Wong CC 1991. Shade tolerance of tropical forages: A review. In: Shelton HM, Stür WW (ed). Forages for plantation crops. Canaberra: ACIAR 1991. P 64-69.

Betancourt, K., Ibrahim, M., Harvey, C., and Vargas, B. (2003). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40), 47-51.

García, F 2010. Efecto de la cobertura arbórea en potreros y el estado de lactancia, sobre el comportamiento diurno de ganado doble propósito manejado bajo pastoreo en el trópico sub-húmedo. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115p.

Pezo, D y Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. CATIE. 2 ed. Turrialba, CR. 276 p. (Colección Módulos de Enseñanza No. 2).

Sauza, MH, de. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 52, 47 p.

Hernández R. y Ponce P. 2004. Efecto del silvopastoreo como sistema sostenible de explotación bovina sobre la composición de la leche. *LRRD*, 16(6).

Roncallo B, Henriquez J, Bonilla R, Murillo J y Del Toro R. 2009. Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles en explotaciones ganaderas de la microrregión Bajo Magdalena. *Revista Corpoica*, 10 (1). p 60-69.

Villanueva C, Ibrahim M, Rios J, Suarez J. Disponibilidad de *Brachiaria brizatha* en potreros con diferentes niveles de cobertura arbórea en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Zootecnia Trop*. 2008; 26:293-296.

Paciullo DS, Castro CR, Gomide CA, Fernandez P, Rocha W, Müller M, Rosiello RO. Soil bulk density and biomass partition of *Brachiaria decumbens* in silvopastoral systems. *Sci. Agric*. 2010; 67: 598-603.

Durr PA, Rangel J. The response of *Panicum maximum* to a stimulate subcanopy environment. *Tropical Grassland* 2000;34:110-117.

Obispo NE, Espinoza Y, Gil JL, Ovalles F, Rodriguez MF. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum máximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Trop*. 2008;26:285-288.

Viafara B, Clavero T, Araujo-Ferbes O. Efecto del sombreado de Saman (*Pithecelobium saman* JACQ. (BENTH)) sobre el desarrollo y crecimiento del pasto guinea. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 1997; 5: 39-34.

Ladyman KP., Kallenbach RL., Garrett HE., Van Sambeek JW., Navarrete-Tindall NE 2003. Quality and Quantity Evaluations of Shade Grown Forages. AFTA 2003 Conf. Proceeding.

Wilson JR. y Wild DWM 1990. Improvement of Nitrogen Nutrition and Grass Growth under Shading. In: Stur, WW and Shelton HM (eds) Forage in plantation crops: Proceeding of international workshop held at denpasar, Indonesia, 27-29 Jun (in press).

Ossa G, Torregrosa L y Alvarado L 1997. Determinación de la curva de lactancia en vacas mestizas de un hato de doble propósito en la Región Caribe de Colombia. Revista CORPOICA 2(1). p 54 – 57.

Botero L. y Vertel M 2006. Modelo matemático aplicado a la curva de lactancia en ganado vacuno doble propósito. Revista MVZ, 11(1). p 759 – 765.

Montes D. Barragan W. Vergara O 2009. Parametros genéticos de características productivas y reproductivas para ganado tipo carne en colombia. Rev. Colombiana cienc. Anim. 1(2).p 302 – 318.

Treydet A. Heitkonig I. Prins H and Ludwig F. 2007. Trees improve grass quality for herbivores in African savannas. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 8. p 197–205.

Conclusiones Generales

Los resultados obtenidos demostraron que los sistemas silvopastoriles, especialmente los que presentan un estrato alto, logran mitigar el efecto de la radiación solar directa en la alteración de las respuestas fisiológicas y metabólicas de los animales ante situaciones de estrés calórico, principalmente en las horas de mayor efecto ambiental (medio día). Así mismo, se logró determinar que los animales modifican su conducta de pastoreo bajo condiciones ambientales adversas (alta temperatura ambiental), restringiendo el tiempo de pastoreo diurno y modificando su postura de descanso, con la finalidad de perder calor con mayor facilidad.

Los sistemas silvopastoriles con estrato alto (p-Arbor y p-Arbust-Abor), lograron ofertar mayor confort ambiental a los animales evaluados, lo que permitió que estos pastorearan por más tiempo durante el día, comparado con aquellos animales que se encontraban en los sistemas sin sombra.

No se observaron respuestas relevantes en la producción y en la calidad de la leche. Sin embargo, se demostró que el sistema silvopastoril que incluye arbustos, logró producir mayor cantidad de leche por unidad de superficie, comparado con los demás tratamientos evaluados. Los resultados obtenidos tanto en productividad animal, como en respuesta ante estrés calórico, pudieron estar limitados por el grupo genético utilizado, el cual posee perfil para producir carne y tolerancia al estrés.

Se hace necesario realizar más evaluaciones en aspectos productivos y de estrés calórico, con animales más especializados en producción de leche (cruces F1 *Bos indicus* y *Bos taurus*), con la finalidad de identificar si las bondades en mitigación de estrés calórico de los sistemas silvopastoriles logran potencializar la producción de leche en este cruce genético, considerado termo-susceptible y por ende con limitaciones para su uso en trópico bajo

