



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

COMPORTAMIENTO DE GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO PASTANDO SITIOS CON COBERTURA ARBÓREA

VICTOR MANUEL PÉREZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ,
MÉXICO

2012

La presente tesis, titulada: **Comportamiento de ganado bovino de doble propósito pastando sitios con cobertura arbórea**, realizada por el alumno: **Víctor Manuel Pérez Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TRÓPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ

ASESOR:



DR. JESUS JARILLO RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR:



DR. MARIO MANUEL OSORIO ARCE

Tepetates, Veracruz, México, 23 de julio de 2012

COMPORTAMIENTO DEL GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO
PASTANDO SITIOS CON COBERTURA ARBÓREA

Víctor Manuel Pérez Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2012

El objetivo fue evaluar el comportamiento y fisiología de ganado bovino de doble propósito pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), en las épocas de lluvia y sequía. Se observaron vacas adultas durante 24 días en cada época, registrando la temperatura corporal y los tiempos que dedicaron a las distintas actividades durante el día. Las vacas dedicaron el mismo tiempo al consumo en las lluvias ($P > 0.05$), sin embargo, hubo mayor tiempo en CAB durante la sequía ($P < 0.0001$). Durante las lluvias, las vacas en pastoreo bajo CAA mostraron menor motivación de irse al descanso o iniciar la rumia ($P < 0.001$), y mayor hacia la exploración que en otros tratamientos ($P < 0.001$); durante la sequía, aquellas pastando en CAA y CAB también mostraron menor motivación a iniciar el descanso que en SCA ($P < 0.001$). También, bajo CAA hubo mayor motivación para pasar del pastoreo a la exploración y menor motivación de la rumia al descanso que en CAB y SCA ($P < 0.001$). La frecuencia en la toma de agua fue mayor en la sequía ($P < 0.001$), y siempre más alta en SCA ($P < 0.0001$). La temperatura corporal no difirió entre tratamientos durante las lluvias ($P = 0.261$), sin embargo, durante la sequía fue mayor en SCA ($P < 0.001$). La cobertura arbórea mejora el comportamiento del ganado, modificando positivamente la motivación para realizar el pastoreo y distribuir sus actividades durante el día, lo cual contribuye a disminuir su temperatura corporal durante la época de mayor temperatura.

Palabras clave: comportamiento, cobertura arbórea, ganado bovino, estrés calórico.

BEHAVIOR OF DUAL PURPOSE CATTLE GRAZING IN SITES WITH TREE COVER

Víctor Manuel Pérez Hernández, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2012

The objective was to evaluate the behavior and physiology of dual purpose cattle grazing in sites with high tree cover (HC), low tree cover (LC) and without tree cover (NC) during the rainy and dry seasons. Adult cows were observed over 24 days during each season, registering the body temperature and times dedicated to different activities during the day. Across treatments, the cows dedicated the same amount of time to consumption during the rainy season ($P > 0.05$), but cows in LC spent more time during the dry season ($P < 0.0001$). During the rainy season, the cows in HC showed less motivation to rest or to begin ruminating ($P < 0.001$), and more toward exploring than in other treatments ($P < 0.001$). During the dry season, cows in HC and LC also showed low motivation to initiate rest than in NC ($P < 0.001$). Cows in HC had greater motivation to transition from grazing to exploration and less motivation to pass from rumination to rest than cows in LC and NC ($P < 0.001$). The frequency of water consumption was greater during the dry season ($P < 0.001$), and always high in NC ($P < 0.0001$). Body temperature did not differ among treatments during the rainy season ($P = 0.261$), but during the dry season it was greater in NC ($P < 0.001$). Tree cover improves behavior of the cows, positively modifying the motivation to graze and distribute activities over the day, which contributes to reduced body temperature during hotter seasons of the year.

Keywords: Behavior, tree cover, cattle, heat stress.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a:

A mi Madre, Salustia Hernández Hernández, a quien admiro y llevo en lo más profundo de mi corazón, por su incansable fortaleza y por su incondicional y gran amor, y por estar siempre conmigo, pero sobre todo por ser mi madre, le dedico con mucho amor este nuevo éxito.

A mi padre Galo Pérez Santiago, que aunque ya no está con nosotros, en vida, siempre tuvo la firme intención de prepararnos para la vida. Me educó y contribuyó en muchas formas a mi formación y superación.

A mis hermanos, Francisco Javier, Norma Delia, Mario Abel, Alba Esther, Gloria Luz y David Ángel, que con gran certeza y orgullo, puedo decir que son los mejores hermanos que Dios me ha dado. Porque siempre he recibido de ellos todo su incondicional amor, apoyo, ánimos y confianza en mí. Por eso, les dedico esta obra con todo cariño.

A mis cuñados, Roberto del Ángel, Patricia Guerrero, Norma Gilma y Felipe Cruz, quienes siempre me apoyaron, pues sin duda alguna, también a ellos debo este logro.

A mis sobrinos Rocío Yarelí, Edmundo Javier, Cesar Emmanuel, Daniela Guadalupe, Jesús Felipe, José Roberto, Dipna Fernanda, Sebastián Emilio, Cristian Aarón y Ángel Emiliano

quienes siempre me han recibido con gran alegría y me demuestran su cariño, y sobre todo, porque todos son mis sobrinos preferidos.

A mis suegros, que siempre me demostraron su apoyo desinteresado y por los ánimos que siempre recibí de ellos.

Y finalmente para cerrar de forma muy especial, dedico la presente tesis a la mujer que forma parte muy importante en mi vida, que me ha sabido dar todo su cariño y amor... A mi esposa, Sheila Noemí, por su apoyo incondicional y por estar conmigo todo este tiempo, además, por darme esa gran dicha y fortuna de ser padre de una bebé hermosa, Karlita, a quién también dedico la presente con mucho amor, por ser mi bebé y por la gran alegría que trajo con su llegada. Las amo y por ello les dedico este nuevo logro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por prestarme vida y por la bendición que puso en mí al darme una gran familia de quien siempre he recibido apoyo incondicional; por poner en mi camino a personas que siempre me han tendido la mano y me han permitido lograr con éxito este nuevo proyecto en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico, que hizo posible la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al programa Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a esta gran familia y seguir preparándome profesionalmente.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, por facilitarme las instalaciones para llevar a cabo la investigación.

Al proyecto: “Manejo tradicional e intensivo de pasturas y silvopastoralismo como alternativas para la ganadería de doble propósito para el trópico húmedo” (responsable: Dr. Epigmenio Castillo Gallegos), que forma parte del megaproyecto: “Productividad sostenible en los hatos de cría en pastoreo” (responsable: Carlos Gutiérrez Aguilar), por las facilidades prestadas para el desarrollo de la presente investigación.

A mi consejera, Dra. Silvia López Ortiz, por aceptarme como su alumno aconsejado; y por toda su enseñanza, por compartir desinteresadamente sus conocimientos y sobre todo esa gran paciencia y confianza que siempre tuvo en mí.

A mis asesores, Dr. Jesús Jarillo Rodríguez, por su paciencia, enseñanza y su incondicional apoyo en la planeación y dirección del trabajo de campo. Por cada una de las asesorías que con gusto me proporcionó e hizo posible la realización de esta investigación.

Al Dr. Ponciano Pérez Hernández, por su apoyo en mi formación profesional, por sus consejos y confianza.

Al Dr. Sergio Pérez Elizalde, por su apoyo profesional en la parte estadística y por su asesoría brindada, que permitió la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Epigmenio Castillo Gallegos, por su enseñanza y asesoría tanto para la planeación del trabajo de campo, como en la parte estadística, que con gran profesionalismo y accesibilidad siempre tuve de él.

Al Dr. Héctor Basurto Camberos por su disponibilidad y accesibilidad que siempre mostró y quien contribuyó en mucho para la realización de este estudio.

A los trabajadores del CEIEGT, Don Julio, Don Mateo, Don Jaime, Don Pablo, Don Juan y demás trabajadores, quienes me apoyaron en la preparación de los potreros y el manejo del ganado.

A todos los profesores del Campus Veracruz, quienes en las aulas contribuyeron a mi crecimiento profesional y sobre todo por esa gran amistad que demostraron siempre.

Al personal administrativo del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por su gran apoyo en los trámites realizados para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A los alumnos de Zootecnia de la Benemérita Universidad de Puebla, quienes me apoyaron en las actividades de trabajo de campo.

A mis amigos y compañeros, Patricia Cruz, Lucero Medinilla, Pedro Cisneros, Maricela y Carlos, quienes me apoyaron en las actividades realizadas en campo.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. La ganadería de doble propósito en las regiones tropicales.....	4
2.2. Manejo de forrajes y pastoreo en sistemas de doble propósito.....	5
2.3. Estrés por calor en el ganado bovino.....	6
2.4. Los sistemas silvopastoriles y su efecto en el ganado.....	7
2.5. Factores que modifican el comportamiento del ganado en pastoreo...	8
2.5.1. Inherentes al animal.....	8
2.5.1.1. Raza.....	8
2.5.1.2. Estado fisiológico del animal.....	10
2.5.2. Ambientales.....	11
3. PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	12
4. HIPOTESIS Y OBJETIVOS.....	13
4.1. Hipótesis general.....	13
4.1.1. Hipótesis específicas.....	13
4.2. Objetivo general.....	14
4.2.1. Objetivos específicos.....	14
5. MARCO DE REFERENCIA.....	14
6. MATERIALES Y METODOS.....	16
6.1. Épocas y periodo del experimento.....	16
6.2. Sitio experimental y potreros.....	16
6.3. Condiciones climáticas durante el experimento.....	18
6.4. Animales experimentales y tratamientos.....	18
6.5. Características del dosel de los árboles.....	18
6.6. Composición botánica y cobertura de vegetación arbustiva.....	19
6.7. Disponibilidad de forraje herbáceo total.....	20
6.8. Composición botánica y componentes morfológicos de la biomasa forrajera.....	22
6.9. Comportamiento animal.....	22
6.10. Análisis estadístico.....	23

Página

6.10.1.	Respuesta conductual y fisiológica del ganado.....	23
6.10.2.	Horarios de las actividades de las vacas durante el día.....	24
6.10.3.	Probabilidades de transición en el comportamiento de los animales.....	24
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
7.1.	Características del dosel de los árboles.....	27
7.2.	Cobertura y composición botánica de la vegetación arbustiva.....	28
7.3.	Disponibilidad de materia seca, composición botánica y morfológica de la biomasa forrajera en el estrato herbáceo.....	29
7.4.	Condiciones climáticas durante el experimento.....	31
7.5.	Respuesta fisiológica del ganado.....	32
7.6.	Respuesta conductual del ganado.....	34
7.6.1.	Tiempos dedicados por el ganado a las distintas actividades.....	34
7.6.2.	Horarios de las actividades de las vacas durante el día.....	41
7.7.	Probabilidades de transición en el comportamiento durante la época de lluvias.....	47
7.8.	Probabilidades de transición en el comportamiento durante la época seca.....	52
8.	CONCLUSIONES.....	55
9.	LITERATURA CITADA.....	57

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Densidad de árboles dentro de los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.....	28
Cuadro 2. Composición botánica (%) del estrato arbustivo en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), pastoreado durante las épocas del año lluvias y sequía.....	29
Cuadro 3. Biomasa forrajera disponible del estrato herbáceo (media \pm DE) en los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados, durante las épocas de lluvias y sequía.....	29
Cuadro 4. Composición botánica del estrato herbáceo (%) en los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.....	30
Cuadro 5. Componentes morfológicos (%) en el estrato herbáceo en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.....	31

<p>Cuadro 6. Temperatura corporal de las vacas (Media \pm DE) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante las épocas de lluvias y sequía.....</p>	<p>33</p>
<p>Cuadro 7. Tiempos (horas/día) dedicados para el consumo, rumia y exploración (Media \pm DE) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), en las épocas de lluvias y sequía.....</p>	<p>35</p>
<p>Cuadro 8. Tiempos (horas/día) dedicados para el descanso y toma de agua (media \pm DE) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA).....</p>	<p>35</p>

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Arreglo y distribución de los potreros asignados a los tratamientos con cobertura arbórea, alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura arbórea (SCA), utilizados durante las épocas de lluvias y sequía.....	17
Figura 2. Representación esquemática del método de intercepción de la línea utilizado para determinar composición botánica y cobertura de vegetación arbustiva.....	20
Figura 3. Radiación solar, temperatura ambiental y humedad relativa en el sitio experimental durante la época de lluvias (a) y la época de sequía (b).....	32
Figura 4. Distribución diaria del tiempo dedicado al consumo (a), descanso (b) y rumia (c), de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de lluvias.....	43
Figura 5. Distribución diaria del tiempo dedicado a la exploración (a) y toma de agua (b) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de lluvias.....	44

Figura 6.	Distribución diaria del tiempo dedicado al consumo (a), descanso (b) y rumia (c) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de sequía.....	46
Figura 7.	Distribución diaria del tiempo dedicado a la exploración (a) y toma de agua (b), de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de sequía.....	47
Figura 8.	Probabilidades de transición del pastoreo al descanso (a), la rumia (b) o la exploración (c), y de la exploración al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de lluvias.....	49
Figura 9	Probabilidades de transición del descanso a la rumia (a), al pastoreo (b), y de la rumia al descanso (c) o al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de lluvias.....	51
Figura 10	Probabilidades de transición del pastoreo al descanso (a), la rumia (b) o la exploración (c), y de la exploración al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de sequía.....	53

<p>Figura 11 Probabilidades de transición del descanso a la rumia (a), al pastoreo (b), y de la rumia al descanso (c) o al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de sequía.....</p>	<p>55</p>
---	-----------

1. INTRODUCCIÓN

En las zonas de clima tropical, los sistemas de producción bovina dependen mayormente de los pastizales como fuente de forraje y esos pastizales generalmente son monocultivos que carecen de cobertura arbórea (Betancourt *et al.*, 2003; López–Ortiz *et al.*, 2009). En estas regiones, las temperaturas ambientales, el calor reflejado desde el suelo y las variaciones en la humedad relativa, con frecuencia rebasan la capacidad de los mecanismos que el ganado posee para disipar el calor corporal (Pérez *et al.*, 2008). Además, la temperatura de la piel de los animales expuestos a la radiación directa del sol aumenta considerablemente, de manera tal, que la disipación del calor podría disminuir e incluso acumularse, incrementando la temperatura corporal (Finch, 1986).

Las temperaturas ambientales mayores a 35 °C superan la capacidad del sistema de termorregulación de los animales, provocando aumento de su temperatura corporal y por consiguiente estrés por calor (Hall, 2000). El mayor efecto en la fisiología del ganado es el gasto de energía para disipar el calor. Esto conlleva a cambios en sus patrones de comportamiento al mover sus tiempos para el pastoreo a horas de la noche, cuando las temperaturas son más frescas (De Elia, 2002), reduciendo el consumo de alimento y de tiempo de búsqueda del mismo, afectando la producción (Fisher *et al.*, 2008) y los indicadores reproductivos de los animales (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Hall, 2000; Wheelock *et al.*, 2006), y además, aumentando la tasa de mortalidad del ganado (Hahn, 1999).

Los sistemas silvopastoriles se proponen como una opción tecnológica sustentable para la producción pecuaria (Torres, 1983; Suárez, 2003). En estos sistemas, interactúan árboles, las plantas herbáceas (gramíneas y otras) y el ganado, bajo un sistema de manejo integral y racional (Suárez, 2003).

Los árboles crean condiciones ambientales favorables al reducir el paso de los rayos solares a la superficie del suelo, lo cual disminuye la temperatura ambiente dentro del pastizal (Radrizzani y Renolfi, 2006). Estos cambios contribuyen a disminuir la temperatura corporal de los animales y por consiguiente el estrés provocado por las altas temperaturas (López-Ortiz *et al.*, 2009), lo que influye indirectamente sobre su comportamiento y la utilización de los potreros (Betancourt *et al.*, 2003).

La presencia de los árboles en los sistemas de pastoreo ha demostrado reducir el gasto energético ayudando a los mecanismos de regulación de la temperatura corporal, favoreciendo el desempeño normal en las actividades dentro del potrero y mejorando los patrones de comportamiento y uso de los mismos por las condiciones de confort que se generan, y que finalmente ayudan a mejorar los niveles productivos y reproductivos de los animales (Palma, 2006; Navas, 2007; López-Ortiz *et al.*, 2009).

Por otro lado, al mantener árboles cercanos a las fuentes de agua para beber, se reduce la velocidad del viento y proporciona sombra, manteniendo el agua fresca, ayudando a disminuir de 15 a 20 % las pérdidas de agua por evaporación (Velásquez *et al.*, 2009). El consumo de agua fresca también ayuda a reducir la temperatura corporal alta y la demanda

de este recurso, que es escaso y limitante en la producción ganadera (NCAT, 2004; Palma, 2006; Navas, 2007).

La disponibilidad de pasto bajo y fuera de la copa de los árboles, es muy similar, en las especies de copa liviana, al permitir entrada de luz suficiente para la fotosíntesis en el estrato herbáceo (Villanueva *et al.*, 2003). Esta sombra también favorece la producción de forraje de pastos nativos (Pérez *et al.*, 2008).

En este sentido, el uso de árboles en el contexto de los sistemas agrosilvopastoriles va tomando mayor relevancia por su potencial productivo y la mejora del valor nutritivo del forraje, disponibilidad de forraje en los períodos de escasez y los beneficios en el confort de los animales (Rosales, 1999). Sin embargo, el conocimiento alrededor de esta opción productiva es aún escaso debido a la poca información generada y a las pocas investigaciones desarrolladas sobre el tema.

La presente investigación tuvo como objetivo, generar conocimiento sobre el comportamiento del ganado bovino de doble propósito utilizando pastizales con vegetación arbórea bajo condiciones de altas temperaturas y humedad relativa, que permita tomar decisiones sobre el manejo del ganado en el ambiente con clima cálido.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La ganadería de doble propósito en las regiones tropicales

La ganadería en México es una actividad agropecuaria importante que ocupa más del 50 % del territorio nacional. La población actualmente asciende a 32 millones de cabezas, que producen 10 549 038 litros de leche y 1 700 000 t de carne al año. Esta actividad está en constante crecimiento, siendo el aumento anual en producción de leche del 2.9 % y 2.7 % en producción de carne (SAGARPA, 2010). Sin embargo, la eficiencia productiva de estos sistemas es baja, ya que si bien el volumen de leche producido se ha incrementado, esto se ha debido al aumento del número de cabezas en producción más que a incrementos en su productividad (SAGARPA, 2009; 2010).

La ganadería tradicional de doble propósito en zonas tropicales se caracteriza por producir carne y leche combinando el ordeño con el amamantamiento de los becerros hasta el destete (Pérez-Hernández y Díaz Rivera, 2008). Es una ganadería de bajos insumos con escaso uso de tecnología, por lo que se ha considerado sencilla, pero con estabilidad, flexibilidad y liquidez diaria, lo cual le ha permitido mantenerse aun bajo condiciones climáticas, económicas y sociales difíciles (Pérez-Hernández y Díaz Rivera, 2008).

En México, este sistema de producción es de especial importancia, ya que la superficie con clima tropical abarca 51.3 millones de hectáreas, equivalentes al 26.2 % del territorio nacional (INEGI, 2010), y cuentan con abundantes recursos para apoyar a satisfacer la demanda local de leche y carne (SAGARPA, 2009; 2010).

2.2. Manejo de forrajes y pastoreo en sistemas de doble propósito

En las zonas de clima tropical, la alimentación del ganado bovino para producción de carne, leche o ambos, depende en gran medida de los pastos manejados bajo un sistema extensivo (Pérez–Hernández y Díaz–Rivera, 2008). Dicho sistema se basa principalmente en el uso y manejo de grandes extensiones de pastizales, integrados en su mayoría por especies gramíneas nativas e introducidas tales como *Megathyrsus maximus* (Jacq) B. K. Simón & S. W. L. Jacobs y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst (Aguilar-Pérez *et al.*, 2011), con poca o nula presencia de especies arbustivas y arbóreas (monocultivo) (Pérez *et al.*, 2008).

Sin embargo, los niveles de productividad animal bajo este sistema de manejo se ven afectados en gran medida por la producción y calidad de las gramíneas adaptadas a estas condiciones. Además, estas gramíneas tienen una densidad menor de hojas verdes, lo cual afecta la eficiencia de cosecha por parte del animal, contribuyendo a un menor consumo de proteína y energía digestible (Pérez–Hernández y Díaz–Rivera, 2008). A esto se suma la baja fertilidad de los suelos tropicales que disminuye la productividad de las gramíneas. Esta condición, además de tener repercusiones en la disponibilidad del forraje, también actúa en las carencias de minerales en la dieta basada únicamente en el pastoreo, que al final repercute también en la producción y reproducción del ganado (Berman, 2005).

Toda esta situación se debe principalmente al poco interés en el manejo y uso racional de los pastizales (rotación de potreros, fertilización, control de la carga animal, etc.), y al

desconocimiento de los beneficios de la diversidad forrajera en la dieta y de la integración de componentes arbóreos en sus pastizales (sistemas silvopastoriles), sobre todo de los beneficios en el confort y bienestar de los animales (López–Ortiz *et al.*, 2009).

2.3. Estrés por calor en el ganado bovino

El ganado tiene un rango de temperatura dentro del cual mantiene su estado metabólico estable (16 a 27 °C) (García y Wright, 2007). Cuando la temperatura supera los límites superior e inferior de la zona termoneutral de los animales, la respuesta fisiológica para mantener su temperatura corporal normal empieza a alterar su tasa metabólica basal (Navas, 2008). De ahí, se desencadenan mecanismos fisiológicos que afectan el metabolismo normal del animal y su capacidad productiva (Fisher *et al.*, 2008) y reproductiva (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Hall, 2000; Wheelock *et al.*, 2006). Cuando la combinación de los factores ambientales adversos (temperaturas bajas o altas y alta humedad relativa) y de manejo persisten por períodos prolongados, la habilidad del animal de termoregularse se reduce, por lo que se genera un estado de respuestas fisiológicas y de comportamiento conocido como estrés (Blackshaw & Blackshaw, 1994). Esto influye indirectamente sobre el comportamiento del ganado y la utilización de los potreros (Bergerón y Lewis, 2002), y provoca que los animales modifiquen sus tiempos para pastorear a horas de la noche cuando las temperaturas son más frescas (De Elia, 2002).

2.4. Los sistemas silvopastoriles y su efecto en el ganado

Los sistemas silvopastoriles son formas de producción en las que se integran árboles con distintas funciones en los pastizales (Torres, 1983). Estos tienen un enorme potencial para contrarrestar los efectos de las condiciones ambientales y mejorar la productividad forrajera. Pezo e Ibraim (1999) mencionan que la presencia de árboles que proporcionan forraje en los sistemas silvopastoriles tiene efectos positivos sobre el consumo voluntario, la producción de carne y/o leche, la reproducción en el hato y la sobrevivencia de los animales.

La presencia de los árboles también tiene una función importante en la reducción del estrés calórico en los animales al generar un microclima más confortable en las áreas de pastoreo, ya que interfiere parcialmente en el paso de la radiación solar hacia los animales reduciendo el incremento calórico (Navas, 2008), y disminuye la temperatura del aire, todo esto en conjunto permite a los animales mantenerse en un ambiente con temperaturas dentro o cerca de la zona de termoneutralidad (Pérez *et al.*, 2008).

Todo esto contribuye para mantener un ambiente de confort para el ganado, reduciendo el estrés al mejorar la regulación de la temperatura corporal y por lo tanto produce un menor gasto energético por parte del animal y mejora la actividad productiva y reproductiva del mismo (López-Ortiz *et al.*, 2009).

Las ventajas de la cobertura arbórea en los sistemas silvopastoriles se han identificado a través de diversos estudios científicos y por el conocimiento local de los productores (Pezo

e Ibrahim, 1999; Villanueva *et al.*, 2003). Aunque su aplicación no es de uso generalizado, con el paso de los años ha crecido el interés por dichos sistemas, debido a los beneficios que se han demostrado. Además, permiten diversificar los productos generados en las fincas (madera, postes, leña y frutos), mejoran la productividad animal y proveen alimento variado y de alto valor nutritivo, especialmente durante la época de seca (Ibrahim y Harvey, 2003).

2.5. Factores que modifican el comportamiento del ganado en pastoreo

2.5.1. Inherentes al animal

Los animales poseen diferentes patrones de comportamientos que usan para adaptarse a las condiciones adversas del sitio en el que se encuentran (De Elia, 2002). El ganado bovino en pastoreo sigue patrones de comportamiento determinados, como una serie de actividades organizadas (pastoreo, rumia, descanso y toma de agua) que realizan de manera cíclica, en horarios relativamente similares cada día (Curtis, 1981), y que generalmente son una respuesta a las condiciones ambientales (Pérez *et al.*, 2008). Sin embargo, esta respuesta de comportamiento varía de acuerdo con la raza y estado fisiológico (Curtis, 1981).

2.5.1.1. Raza

Los principales factores condicionantes del comportamiento en los bovinos son por lo general los relacionados con las condiciones del ambiente extremas, sin embargo, aún en las mismas condiciones ambientales, individuos de distintas razas reaccionan de manera diferente (Curtis, 1981). Esto es debido a que no todos los bovinos tienen el mismo rango

de temperatura de confort (Córdova-Izquierdo, 2009). La habilidad que posee una raza para adaptarse y soportar las condiciones adversas del ambiente le confiere la posibilidad de reducir las condiciones de estrés por calor, y que le permita seguir estratégicamente ciertos patrones de comportamiento (pastoreo, descanso rumia, exploración y toma de agua), y así aprovechar de manera eficiente los potreros y por consiguiente mejorar los niveles productivos y reproductivos (Curtis, 1981).

El ganado de la raza cebú (*Bos indicus*) posee en su genética la habilidad de adaptarse y soportar condiciones ambientales extremas, en respuesta a las fluctuaciones de la temperatura ambiente, lo que lo convierte en una raza “rústica” en clima tropical (Hansen, 2004). Por el contrario, los bovinos de razas europeas (*Bos taurus*) tales como la Holstein, Suizo Pardo y Jersey genéticamente no están capacitados para soportar altas temperaturas (Hansen, 2004), por lo que si se mantuvieran bajo condiciones de clima cálido, sufrirían altos niveles de estrés por calor (Armstrong, 1994), lo cual modificaría su fisiología y por tanto su comportamiento natural en los pastizales, reduciendo principalmente el tiempo de pastoreo y consumo voluntario, provocando en gran escala la disminución de su capacidad productiva (Fisher *et al.*, 2008) y reproductiva (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Hall, 2000; Wheelock *et al.*, 2006).

En las zonas con clima tropical de México, se implementa la estrategia de cruzar dos razas distintas de bovinos (*Bos taurus x Bos indicus*), orientados principalmente para la producción de doble propósito (carne y leche). En condiciones de clima cálido, la raza cebú encastada con algunas razas europeas productoras de leche, permite obtener cruces

con mayor capacidad para adaptarse a las condiciones climáticas extremas (Hansen, 2004) y mejorar su comportamiento en pastoreo y a su vez los índices productivos y reproductivos (Navas, 2007).

2.5.1.2. Estado fisiológico del animal

Cualquier actividad que los animales realizan dentro de los sitios de pastoreo involucra funciones fisiológicas (Pérez *et al.*, 2008). Estas funciones son la respuesta a los estímulos recibidos a través de los sentidos, transformando este estímulo en actividad neural a través de la acción integrada del sistema nervioso y finalmente la actividad de varios órganos motores externos e internos. Para estos mecanismos fisiológicos, cada patrón especial de comportamiento puede tener su propia fisiología especial, la cual es activada por estímulos externos particulares los cuales se transforman y transmiten a través de una vía neural particular (Blackshaw & Blackshaw, 1994).

Por ejemplo, durante el estado fisiológico de gestación la demanda de nutrientes induce a un aumento sustancial del apetito (Bines, 1979). Las vacas en el último mes de gestación pasan menos tiempo comiendo que las vacas al inicio de la gestación o las vacas vacías, y el consumo voluntario declina durante el último mes de preñez (Forbes, 1986). Además, durante la lactancia las vacas son más susceptible al estrés debido a que consumen más alimento (forraje), produciendo más calor interno que sumado a la temperatura del ambiente, provoca aumentos en su temperatura corporal, afectando su estado de confort. Estas condiciones conducen a un cambio en los patrones de comportamiento de las vacas

dentro de los pastizales, que finalmente repercute en los niveles de producción (Córdova-Izquierdo, 2009)

2.5.2. Ambientales

Los bovinos mantienen su temperatura corporal casi constante ante las amplias fluctuaciones de las condiciones ambientales (homeotermos), y por lo tanto son sensibles a los factores climáticos del ambiente en el que viven (Betancourt *et al.*, 2003). Cuando el animal empieza a jadear por exceso de temperatura, disminuye el consumo de alimentos, aumenta en forma relativa el gasto energético de mantenimiento y disminuye la eficiencia de conversión del pasto a carne (Beede y Collier, 1986; Lacetera *et al.*, 2003).

Los elementos climáticos más importantes que afectan el desempeño de los animales en pastoreo son principalmente la temperatura ambiental, humedad relativa y radiación solar (Córdova-Izquierdo, 2009). Las zonas con clima cálido húmedo o subhúmedo se caracterizan por presentar altas temperaturas, humedad relativa y radiación solar que de forma directa o indirecta afectan diferentes procesos fisiológicos del ganado (Deinum *et al.*, 1968), disminuyendo significativamente el consumo de forraje, la eficiencia de la utilización de alimento, además retarda el crecimiento, disminuye la producción de leche y la eficiencia reproductiva (Blackshaw & Blackshaw, 1994). El efecto de la radiación solar sobre los animales debe tomarse con la debida importancia, ya que durante la mayor parte del año la radiación solar es perpendicular a ellos. Se ha demostrado que la producción de leche y la fertilidad del ganado lechero se mejoran cuando las vacas se protegen contra los rayos solares durante las horas de mayor calor durante el día (Betancourt *et al.*, 2003).

3. PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

La ganadería de las regiones tropicales de México generalmente se maneja bajo pastoreo y su productividad y rentabilidad son bajas (Pérez *et al.*, 2008). Los pastizales en su mayoría son inducidos y están constituidos por gramíneas introducidas y gramas nativas, literalmente desprovistos de vegetación arbórea (Pérez–Hernández y Díaz–Rivera, 2008). La ausencia de sombra natural en pastizales y praderas permite condiciones ambientales extremas (frío-calor) en los potreros, que afectan negativamente las funciones fisiológicas de los animales. Las variables más influyentes son la temperatura y la humedad relativa, que al provocar el estrés por calor, modifican los patrones de comportamiento del ganado, afectando el consumo de forraje y el uso adecuado de los potreros, y esto a su vez afecta directa e indirectamente la producción y reproducción del ganado (Berman, 2005).

Por lo anterior, se plantearon las siguientes preguntas de investigación

1.- ¿Las vacas de doble propósito que pastan en sitios con cobertura arbórea modifican los tiempos de consumo (pastoreo-ramoneo), descanso, rumia, exploración y toma de agua en comparación con animales en pastizales sin cobertura arbórea?

2.- ¿Las vacas de doble propósito modifican la distribución de las actividades de consumo (pastoreo-ramoneo), descanso, rumia, exploración y toma de agua durante el día, cuando pastan en un sistema con cobertura arbórea?

3.- ¿La temperatura corporal de las vacas de doble propósito disminuye cuando pastan en sitios con cobertura arbórea?

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

4.1. Hipótesis general

La cobertura arbórea en los pastizales afecta positivamente la fisiología y el comportamiento del ganado bovino de doble propósito, comparado a un pastizal sin cobertura de la misma forma en dos épocas del año.

4.1.1. Hipótesis Específicas

H1: Los tiempos dedicados diariamente a las actividades de consumo (pastoreo-ramoneo), descanso, rumia, exploración y toma de agua de vacas de doble propósito que pastan en sitios con cobertura arbórea son diferentes a aquellos que no tienen cobertura arbórea.

H2: La motivación del ganado para distribuir y realizar las actividades de pastoreo, ramoneo, descanso, rumia, exploración y toma de agua durante el día se modifica cuando pastorean en un sistema con cobertura arbórea.

H3: La cobertura arbórea en los pastizales contribuye a disminuir la temperatura corporal de las vacas en producción.

4.2. Objetivo general

Determinar el efecto de la cobertura arbórea en la fisiología y el comportamiento del ganado de doble propósito en dos épocas del año que se diferencian por la precipitación y las temperaturas ambientales.

4.2.1. Objetivos específicos

Determinar las modificaciones en los tiempos de consumo (pastoreo-ramoneo), descanso, rumia, exploración y toma de agua en vacas de doble propósito por efecto de la cobertura arbórea.

Conocer la motivación del ganado para distribuir y realizar las actividades de consumo (pastoreo-ramoneo), rumia, descanso, exploración y toma de agua durante el día cuando pastorean en un sistema con cobertura arbórea.

Determinar la temperatura corporal de vacas lactantes de doble propósito durante el pastoreo de sitios con cobertura arbórea.

5. MARCO DE REFERENCIA

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México (CEIEGT-FMVZ-UNAM), localizado en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz, en la Carretera Federal Martínez de la Torre –

Tlapacoyan, a 20° 02' Latitud N y 97° 06' Longitud O, a 151 msnm (INEGI, 2008). El área de estudio se localiza en una zona de transición climática, entre la zona costera sub-húmeda (de menor precipitación) al oeste y la zona húmeda hacia la Sierra Madre Oriental, al este, en la región cálido húmeda Af(m)w”(e), donde la temperatura media anual es 23.5 °C, y 1991 mm de precipitación anual (García, 1981). En esta zona se distinguen tres épocas del año marcadas: lluvias (julio-octubre), nortes (noviembre-febrero) y seca (marzo-junio). Los suelos son ácidos e infértiles y de color café rojizo, clasificados como Ultisoles; asimismo, presentan una capa subterránea semipermeable al agua, por lo que presentan encharcamientos temporales (INEGI, 2008).

El sitio experimental se ubicó en términos agroecológicos dentro de un bosque sub-tropical semi-siempre verde (Gómez-Pompa, 1978), donde predominan árboles que alcanzan hasta 40 metros de altura. Estos ecosistemas llegan a presentar de dos o tres estratos arbóreos y otros tantos arbustivos y herbáceos.

Actualmente, la vegetación natural solo es visible principalmente en las cañadas de los ríos y en algunas áreas de barranca que circundan hacia el Sureste y Noroeste de la zona que aún no están intervenidas, donde aún existen especies como el jinicuil (*Inga jinicuil* G. Don.), el ojite (*Brosimum alicastrum* Swartz.), palo mulato (*Bursera simaruba* [L.] Sarg.), chijol (*Piscidia piscipula* [L.] Sarg.), guásimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), ocotillo (*Fouquieria splendens* Engelm) y jonote (*Heliocarpus pallidus* Rose), entre otros (INEGI, 2008). Ahí se encuentra una gran variedad de especies, formas de crecimiento variadas

como las epífitas, trepadoras, leñosas, y líquenes, y en el estrato inferior, palmas de diferentes tipos y herbáceas de hojas grandes (Gómez-Pompa, 1978).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Épocas y periodo del experimento

Se realizó un experimento con ganado bovino de doble propósito a libre pastoreo, para analizar la respuesta del ganado a la presencia de cobertura arbórea en el pastizal. Este se realizó durante dos épocas del año; la primera fue en el invierno (lluvias), del 26 de octubre al 18 de noviembre de 2010 y la segunda en el verano (sequía), del 13 de mayo al 05 de junio de 2011, con una duración de 24 días cada una.

6.2. Sitio experimental y potreros

Se seleccionó un sitio de pastizal de aproximadamente 15 ha, cubierta por mezclas de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea. La vegetación herbácea compuesta principalmente por gramas nativas (*Paspalum virgatum* Lam. y *Axonopus scoparius* [Flügge] Hitchc), gramíneas introducidas como *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, leguminosas nativas del género *Desmodium* y otras arvenses de hoja ancha y angosta. Todas estas especies se extendían de manera casi uniforme en todo el sitio experimental. Las especies arbustivas y arbóreas (mezclada con la herbácea) se localizaron solo en algunas secciones del pastizal.

Se formaron tres potreros de 5 ha cada uno, un potrero compuesto sólo por vegetación herbácea, sin cobertura arbórea (con algunos árboles solo en las cercas y en la parte de las entradas), otro con vegetación herbácea y baja densidad de vegetación arbórea y un tercero con vegetación herbácea y arbustiva y alta densidad arbórea. Cada potrero se dividió en dos repeticiones y cada una se subdividió en tres secciones, dos grandes con superficie de 1 ha y uno pequeño con superficie de 0.5 ha que no se utilizó. Todos los potreros se manejaron bajo un sistema de pastoreo rotacional con periodos de ocupación de 12 y 18 días de recuperación (Figura 1).

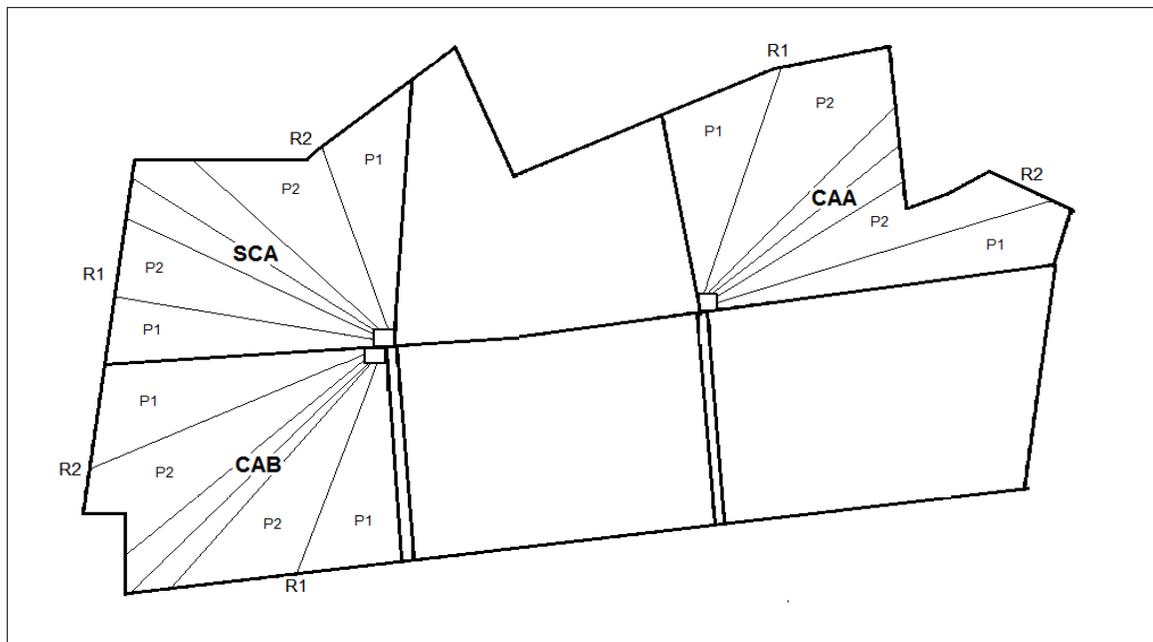


Figura 1. Arreglo y distribución de los potreros asignados a los tratamientos con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura arbórea (SCA), utilizados durante las épocas de lluvias y sequía.

6.3. Condiciones climáticas durante el experimento

Se realizaron lecturas de temperatura ambiental, humedad relativa y radiación solar dentro del área de estudio, tomadas directamente de la estación climatológica del CEIEGT. Estas mediciones se realizaron diariamente (excepto en la variable humedad relativa del 04/11/2010 al 06/11/2010 del periodo de lluvias, por problemas de lecturas en la estación climatológica), dentro de cada periodo experimental y en las horas del día de mayor calor (12:00 – 14:00 h).

6.4. Animales experimentales y tratamientos

Se utilizaron 24 vacas (holstein x cebú) adultas con 555.4 ± 77.6 kg PV y producción de leche de 7.3 ± 4.2 l/día. Estos animales se asignaron de forma aleatoria a uno de tres tratamientos de pastoreo ($n = 8$ vacas/tratamiento): cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB), y sin cobertura arbórea (SCA); a su vez, cada grupo se dividió en dos subgrupos para formar dos repeticiones por tratamiento ($n = 4$ vacas). Todos los animales se sometieron a una etapa de acostumbramiento de 10 días (principalmente para acostumbrarlas a la luz de las lámparas en las noches y así reducir sesgos en el comportamiento por efecto de la luz). Todas las vacas se mantuvieron en los potreros las 24 horas del día, excepto durante la ordeña (9:00 a 12:00 h), bajo las mismas condiciones de manejo, pero de manera independiente.

6.5. Características del dosel de los árboles

Al inicio de cada periodo del experimento (Lluvias y Sequía) se caracterizó la vegetación arbórea identificando las especies existentes y su densidad en los tratamientos CAA y

CAB. Para el conteo de especies dentro de cada potrero, se realizó un recorrido por cada potrero (por división), identificando las especies de árboles (mayores de 3 m de altura), así como el número de cada especie localizada. El índice de densidad del dosel de los árboles en estos mismos tratamientos se determinó utilizando el equipo LAI-2000 (LI-COR Biosciences, Nebraska, USA), para así conocer la cantidad de sombra que se creaba en los potreros. Para esto, se eligió aleatoriamente una división por repetición de los tratamientos CAA y CAB, y posteriormente, se realizaron 24 lecturas a lo largo del potrero (12 lecturas de ida y 12 de vuelta), localizadas cada 15 m. Las lecturas se realizaron entre las 12:00 y 14:00 h, por la mayor presencia de luz.

6.6. Composición botánica y cobertura de vegetación arbustiva

Se determinó la composición botánica de la vegetación arbustiva en el estrato de 0.70 a 1.5 m de altura en cada tratamiento, al inicio de cada periodo del experimento. Se utilizó el método de intercepción de la línea (Canfield, 1941), para lo cual en cada división (de 1 ha) se trazaron cuatro líneas imaginarias a lo ancho del potrero y se sumó la longitud de estas para posicionar seis transectos sistemáticamente a lo largo de las líneas. Una vez posicionados los transectos, se determinó de manera aleatoria la dirección de cada uno, se tiró una cuerda (20 m de longitud) y se midió la longitud interceptada por cada especie de arbusto (Figura 2).

Para calcular la composición botánica se utilizó la siguiente ecuación: $CB = \frac{\sum ie}{l} * 100$;

Donde: CB = composición botánica; $\sum ie$ = sumatoria de las intercepciones de cada especie y l = longitud total de la línea interceptada de todas las especies. Para el cálculo de la

cobertura se utilizó la siguiente ecuación: $CA = \frac{\sum it}{L} * 100$; Donde: CA = cobertura arbustiva; $\sum it$ = sumatoria de las intercepciones de todas las especies y L = longitud total de todos los transectos.



Figura 2. Representación esquemática del método de intercepción de la línea utilizado para determinar composición botánica y cobertura de vegetación arbustiva.

6.7. Disponibilidad de forraje herbáceo total

Para caracterizar las condiciones experimentales de los potreros de cada tratamiento, se determinó la cantidad de biomasa forrajera disponible (MS) en el estrato herbáceo, utilizando el método de rendimiento comparativo (Haydock y Shaw, 1975). Los muestreos se realizaron antes del cambio de los animales de un potrero a otro.

Para calcular la disponibilidad se utilizó la siguiente ecuación: $D = y + B1 (Xv - Xm)$; Donde: D = disponibilidad en el potrero; y = promedio de disponibilidad de materia seca en las muestras reales (cuadros de 0.25 m²); $B1$ = coeficiente de regresión entre las notas

asignadas a las muestras reales y el peso respectivo; Xv = promedio de notas asignadas a las muestras visuales y Xm = promedio a las notas asignadas a las muestras reales (1 - 5).

Debido a los ciclos largos de ocupación (12 días), se estimó el crecimiento del estrato herbáceo durante este periodo, y se sumó a la disponibilidad obtenida al inicio de cada ciclo de ocupación para obtener la disponibilidad de forraje total. Para esto se realizaron muestreos posteriores a la salida de los animales de cada sitio de pastoreo.

Por cada muestra de referencia de los muestreos de entrada (1-5) se localizó otra muestra en similares condiciones, a la cual se protegió con jaulas de exclusión (jaulas metálicas de 0.25 m² x 1 m de altura), manteniendo intactas las muestras del consumo de las vacas, y al final de cada ciclo de ocupación se cortaron.

Para estimar el crecimiento de la biomasa forrajera se utilizó la siguiente fórmula: $C = pf + (pf_2 - Pi) - Pi$; donde; C es el Índice de crecimiento de la biomasa forrajera; Pi = Peso Inicial, es el peso en verde de cada muestra de referencia (1-5) de los muestreos de entrada; pf = Peso Final, es el peso en verde de cada muestra de referencia (1-5) de los muestreos al final de cada ciclo de ocupación; y pf_2 = Peso Final₂, obtenido del pesaje en verde de las muestras excluidas (Jaulas).

Para calcular de la biomasa forrajera total disponible, se siguió el siguiente procedimiento: $D_{total} = D_{inicial} + C$. Donde D_{total} = disponibilidad total de forraje en el estrato herbáceo;

$D_{inicial}$ = Disponibilidad de forraje obtenido a la entrada de los animales en cada sitio de pastoreo y C = crecimiento obtenido en cada sitio de pastoreo en los 12 días de ocupación.

6.8. Composición botánica y componentes morfológicos de la biomasa forrajera

También se determinó la composición botánica y los componentes morfológicos de la materia seca (hoja, tallo y material muerto) de la vegetación herbácea, en todos los potreros ($n = 4$) de cada tratamiento. Para esto, se utilizaron las cinco muestras colectadas en el muestreo de rendimiento comparativo, que se mezclaron homogéneamente para obtener muestras compuestas, una de 400 g utilizada para determinar composición botánica, y otra de 300 g para determinar componentes morfológicos. Esto se realizó en cada potrero de todos los tratamientos.

Las muestras de 400 g de forraje fresco se separaron por especie, se identificaron, pesaron por separado, se secaron en una estufa de aire forzado (a 60° C por 72 h), y finalmente se pesaron para determinar la composición botánica en base al peso seco. Las muestras de 300 g se separaron en hojas, tallos y material muerto; se pesó cada componente por separado y se secó en la estufa, a la misma temperatura y tiempo que las otras muestras, y se pesaron al final del secado. Posteriormente, se realizaron los cálculos en porcentajes.

6.9. Comportamiento animal

Durante los dos periodos de observaciones (Lluvias y Sequía), se tomó la temperatura corporal a cada vaca, utilizando un termómetro infrarrojo (Raytek, Modelo MT4; Perfoparts S.A. de C.V. México D.F.), colocándolo a una distancia aproximada entre 10 a

20 cm de la vaca. Estas mediciones se realizaron cada tercer día entre las 12:00 y 14:00 h, cuando las temperaturas son más altas (Pérez *et al.*, 2008).

Se estudió el comportamiento del ganado durante los 12 días noches dentro de los periodos de 24 días de cada etapa experimental. Se cuantificó el tiempo y los horarios que las vacas dedicaron al consumo (pastoreo-ramoneo), descanso (animal parado o echado mientras no rumia), rumia (parada o echada mientras rumia), exploración (caminata) y toma de agua. Para esto, se realizaron observaciones focales por animal cada 10 minutos, durante las 24 horas del día (Gary *et al.*, 1970); en cada escaneo se registró la actividad que cada vaca estaba realizando. Cada escaneo se convirtió a periodos de 10 minutos para después sumar los tiempos por día y horarios que cada vaca empleó para cada actividad (Penning y Rutter, 2004). Además, en los tratamientos de pastoreo con cobertura arbórea se anotó el uso de las áreas con sombra, registrando si se encontraba en la sombra o en el sol en cada observación.

6.10. Análisis estadístico

6.10.1. Respuesta conductual y fisiológica del ganado

Las variables de consumo (ramoneo - pastoreo), descanso, rumia, exploración y toma de agua, así como temperatura corporal de las vacas se analizaron con un diseño completamente al azar con dos repeticiones utilizando el procedimiento MIXED de Statistical Analysis System versión 4.3.0 (SAS Inc., 2010) con medidas repetidas en el tiempo; la época se consideró como la medida repetida, y la estructura de covarianza que mejor se ajustó fue la de componentes simétricos para las variables mencionadas (Littel *et*

al., 1998). Los efectos del modelo y las diferencias entre medias se consideraron significativos si $P < 0.05$.

6.10.2. Horarios de las actividades de las vacas durante el día

Los datos de consumo, descanso, rumia, exploración y toma de agua, se analizaron utilizando estadística descriptiva a través del uso de gráficos, elaborados con el programa STATISTICA versión 6 (STATISTICA Ink, 2010), para obtener una mejor conceptualización de la distribución de las actividades por las vacas durante el día (24 horas).

6.10.3. Probabilidades de transición en el comportamiento de los animales

Los datos de comportamiento también se analizaron utilizando modelos multi-estado, utilizados para analizar de fenómenos que ocurren en el tiempo y que pueden ser caracterizados por un conjunto discreto de estados. Tales estructuras de datos surgen de manera natural cuando se observa una respuesta discreta por varios individuos a lo largo de un periodo de tiempo.

Un modelo multi-estado está completamente determinado por un conjunto de tasas de riesgo $\lambda_{hi}(t)$ donde $h, h = 1, \dots, k$, indiza el tipo de transición e $i, i = 1, \dots, n$ indiza a los individuos. Estas tasas de riesgo describen la duración entre transiciones (entre comportamientos), por lo que se modelan de forma multiplicativa como

$$\lambda_{hi}(t) = \exp(\eta_{hi}(t))$$

Donde $\eta_{hi}(t)$ es un predictor aditivo que en este trabajo consistió de los siguientes componentes:

- Un efecto base no paramétrico común a todas las observaciones denotado por $g_0^{(h)}(t)$ y que depende del tiempo.
- Efectos paramétricos de los tratamientos CAA, CAB y SCA denotados por $\gamma_{CAA}^{(h)} = 0$, $\gamma_{CAB}^{(h)}$ y $\gamma_{SCA}^{(h)}$, respectivamente. Nótese que el CAA se toma como referencia para la comparación, de modo que, $\gamma_{CAB}^{(h)}$ y $\gamma_{SCA}^{(h)}$ se interpretan como desviaciones con respecto al efecto del tratamiento de referencia.
- Un efecto aleatorio $b_i^{(h)}$ para considerar implícitamente la correlación entre las observaciones sobre un mismo individuo.

Para modelar el efecto base $g_0^{(h)}(t)$ se utilizaron *splines* penalizados, que es un enfoque parsimonioso y flexible para representar funciones suaves (Eilers y Marx, 1996).

El comportamiento de los animales bajo estudio puede clasificarse por las actividades que realizan en cuatro estados, que son el pastoreo, descanso, rumia y exploración, los cuales en adelante se denotan como P, D, R y E, respectivamente. Las transiciones consideradas entre estos estados fueron PD, PR, PE, DP, DR, RP, RD y EP, de modo que, por ejemplo, PD significa la transición del estado pastoreo al estado descanso. Las observaciones se realizaron cada 10 minutos, pero se asume que el proceso es continuo en el tiempo. El objetivo es obtener una descripción de la dinámica del comportamiento de los animales.

Sobre algunas transiciones entre estados no se tuvieron suficientes observaciones durante el estudio, de modo que se asume que no hay transición entre los estados correspondientes.

Así, los predictores que se estimaron fueron:

$$\eta_{PDi}(t) = \gamma_0^{(PD)} + \gamma_{CAB}^{(PD)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(PD)} I_{SCA} + g_0^{(PD)}(t) + b_{1i}^{(PD)}$$

$$\eta_{PRi}(t) = \gamma_0^{(PR)} + \gamma_{CAB}^{(PR)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(PR)} I_{SCA} + g_0^{(PR)}(t) + b_{1i}^{(PR)}$$

$$\eta_{PEi}(t) = \gamma_0^{(PE)} + \gamma_{CAB}^{(PE)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(PE)} I_{SCA} + g_0^{(PE)}(t) + b_{1i}^{(PE)}$$

$$\eta_{DPi}(t) = \gamma_0^{(DP)} + \gamma_{CAB}^{(DP)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(DP)} I_{SCA} + g_0^{(DP)}(t) + b_{1i}^{(DP)}$$

$$\eta_{DRi}(t) = \gamma_0^{(DR)} + \gamma_{CAB}^{(DR)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(DR)} I_{SCA} + g_0^{(DR)}(t) + b_{1i}^{(DR)}$$

$$\eta_{RPi}(t) = \gamma_0^{(RP)} + \gamma_{CAB}^{(RP)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(RP)} I_{SCA} + g_0^{(RP)}(t) + b_{1i}^{(RP)}$$

$$\eta_{RDi}(t) = \gamma_0^{(RD)} + \gamma_{CAB}^{(RD)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(RD)} I_{SCA} + g_0^{(RD)}(t) + b_{1i}^{(RD)}$$

$$\eta_{EPi}(t) = \gamma_0^{(EP)} + \gamma_{CAB}^{(EP)} I_{CAB} + \gamma_{SCA}^{(EP)} I_{SCA} + g_0^{(EP)}(t) + b_{1i}^{(EP)}$$

Las estimaciones de los predictores anteriores se transformaron en probabilidades de transición estimadas tomado el antilogaritmo.

Para la estimación de los efectos no paramétricos y paramétricos se utilizó la metodología propuesta por Kneib y Hennerfeind (2006) y el software estadístico BayesX (2012).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Características del dosel de los árboles

Los potreros de los tratamientos con cobertura arbórea (CAA y CAB) tenían vegetación constituida principalmente por especies nativas, donde predominaron *Quercus rugosa* Née, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Ficus carica* Lam., *Croton draco* Schlechtendal. y *Gliricidia sepium* Jacq., este último localizado principalmente en los límites de los potreros, como cercos vivos (Cuadro 1).

En el tratamiento con cobertura arbórea alta (CAA) se encontraron 65 árboles (13 árboles/ha) dispersos dentro del potrero, mientras que en el tratamiento con cobertura arbórea baja (CAB) solo había 9 (2.3 árboles/ha) distribuidos dentro y en la cerca, y en el tratamiento sin cobertura arbórea (SCA) se identificaron 13 árboles (3.3 árboles/ha). La densidad en los últimos dos era muy parecida, sin embargo, en el potrero sin cobertura arbórea, los árboles dentro del potrero estaban agregados en la entrada y algunos otros en la cerca, mientras que en los de cobertura arbórea baja, estaban dispersos dentro del potrero y pocos en la cerca.

La densidad del dosel (sombra en el potrero) durante las lluvias fue 1.0 y 0.2 m²/m² en cobertura arbórea alta y baja, respectivamente; mientras que en el periodo de sequía la densidad fue 0.7 y 0.3 m²/m² en potreros con cobertura arbórea alta y baja, respectivamente.

Cuadro 1. Densidad de árboles dentro de los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.

Nombre común	Nombre científico	Número de árboles		
		CAA	CAB	SCA
Encino	<i>Quercus rugosa</i> Née	23	6	12
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	10	2	0
Higuera	<i>Ficus carica</i> Lam.	5	0	0
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Lam.	5	0	0
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> Lam.	2	1	0
Sangregado	<i>Croton draco</i> Schlechtendal	17	0	0
Mandarino	<i>Citrus nobilis</i> Lour	1	0	0
Cocuile	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	1	0	0
Chote	<i>Parmentiera aculeata</i> Kunth	1	0	1

7.2. Cobertura y composición botánica de la vegetación arbustiva

Durante el experimento se observó vegetación arbustiva únicamente en los potreros con CAA (Cuadro 2). La cobertura de este estrato en estos potreros fue 12.23 % durante las lluvias, y 6.22 % en la época de sequía. En el potrero SCA hubo vegetación arbustiva junto a la cerca en el fondo del potrero, pero por su extensión y aglomeración junto a la cerca, no se consideró importante y no se midió; en el potrero CAB no se observó este estrato.

Las especies que predominaron durante las lluvias fueron *Mimosa pigra* Lam., *Scoparia dulcis* Lam., *Uncaria tomentosa* (Willd., ex Schult.) DC y el resto compuesta por otras especies menos abundantes. En la época de sequía, la composición cambió ligeramente, ya que las especies más predominantes fueron *M. pigra* y *S. dulcis*, con menor presencia que en la época de lluvias.

Cuadro 2. Composición botánica (%) del estrato arbustivo en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), pastoreado durante las épocas del año lluvias y sequía.

Nombre común	Nombre científico	Lluvias	Sequía
Cojón de gato	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i> (Rose ex Donn. SM.) Woodson	10.7	5.4
Epazote de monte	<i>Scoparia dulcis</i> Lam.	16.6	23.6
Uña de gato	<i>Uncaria tomentosa</i> (Willd., ex Schult.) DC	14.0	12.9
Pinahuixtle	<i>Mimosa pigra</i> Lam.	36.6	40.9
Capulín	<i>Prunus salicifolia</i> Kunth	5.7	3.6
Bambú	<i>Bambusa vulgaris</i> (Schrad. ex J.C.) Wendl	11.2	13.9
Cornezuelo	<i>Acacia collinsii</i> Safford	5.3	0.0

7.3. Disponibilidad de materia seca, composición botánica y morfológica de la biomasa forrajera en el estrato herbáceo

Durante las lluvias, la disponibilidad de forraje en los potreros asignados a los diferentes tratamientos osciló entre 5 083 y 8 853 kg MS/ha, mientras que durante la época de seca, la precipitación pluvial disminuyó y la disponibilidad también, y osciló entre 1 479 y 4 980 kg MS/ha (Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa forrajera disponible del estrato herbáceo (media \pm DE) en los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados, durante las épocas de lluvias y sequía.

Año	CAA	CAB	SCA
..... Lluvias, kg MS/ha			
2010	7255 \pm 1233	5083 \pm 1159	8853 \pm 284
..... Sequía, kg MS/ha			
2011	2086 \pm 709	1479 \pm 452	4980 \pm 2572

Las especies forrajeras predominantes durante ambas épocas fueron *Paspalum virgatum* Lam. y *Axonopus scoparius* (Flügge) Hitchc; sin embargo, durante la época de lluvias en el potrero de CAB también predominó *Arachis pintoii* Krapov. & W.C. Greg. El resto de la composición la constituyeron otras especies con menor abundancia (Cuadro 4). En la época de sequía, la diversidad de especies cambió ligeramente y la composición de las especies dominantes se incrementó con respecto a las lluvias.

Cuadro 4. Composición botánica del estrato herbáceo (%) en los potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.

Especies herbáceas	Lluvias			Sequia		
	CAA	CAB	SCA	CAA	CAB	SCA
<i>Paspalum virgatum</i> Lam.	26.9	16.7	30.2	56.0	41.0	60.0
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	0.0	0.3	3.0	0.0	1.1	0.0
<i>Axonopus scoparius</i> (Flügge) Hitchc	71.1	64.1	65.0	43.0	56.0	38.0
<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & W. C Greg	0.0	18.7	1.8	0.5	1.7	1.9
<i>Desmodium motorium</i> (Houtt.) Merrill	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Mimosa pudica</i> Lam.	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Durante las lluvias, la composición morfológica en los potreros osciló entre 28.9 y 30.6 % de hojas, 22.7 y 32.0 % de tallos y 22.7 y 48.4 % de material muerto. Esta composición cambió durante la sequía, en esta época se encontró entre 5.1 y 7.7 % de hoja, 8.6 y 13.5 % de tallo y 78.8 y 86.22 % de material muerto (Cuadro 5).

Cuadro 5. Componentes morfológicos (%) en el estrato herbáceo en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), pastoreados durante las épocas de lluvias y sequía.

Tratamiento	Lluvias			Sequía		
	Hoja	Tallo	Material muerto	Hoja	Tallo	Material muerto
CAA	28.9	22.7	48.4	7.7	13.5	78.8
CAB	30.6	32.0	37.4	5.5	8.9	85.6
SCA	29.3	26.8	43.9	5.1	8.6	86.2

Estos cambios entre las dos épocas se atribuyen principalmente a los cambios en las condiciones del clima (Figura 3); durante la sequía se registró una menor precipitación pluvial, que generó un envejecimiento de las gramíneas.

7.4. Condiciones climáticas durante el experimento

Durante las lluvias, la temperatura ambiente media en el área experimental fue 28.5 °C, con humedad relativa media de 48.7 %, mientras que la radiación solar fue 840 wat/m². Durante la sequía, la temperatura ambiental media fue 35.3 °C, con humedad relativa media de 43.6 % y radiación solar de 1 037.4 wat/m². Durante la sequía, las condiciones climáticas fueron más extremas (alta), en comparación a las condiciones de la época de lluvias (Figura 3).

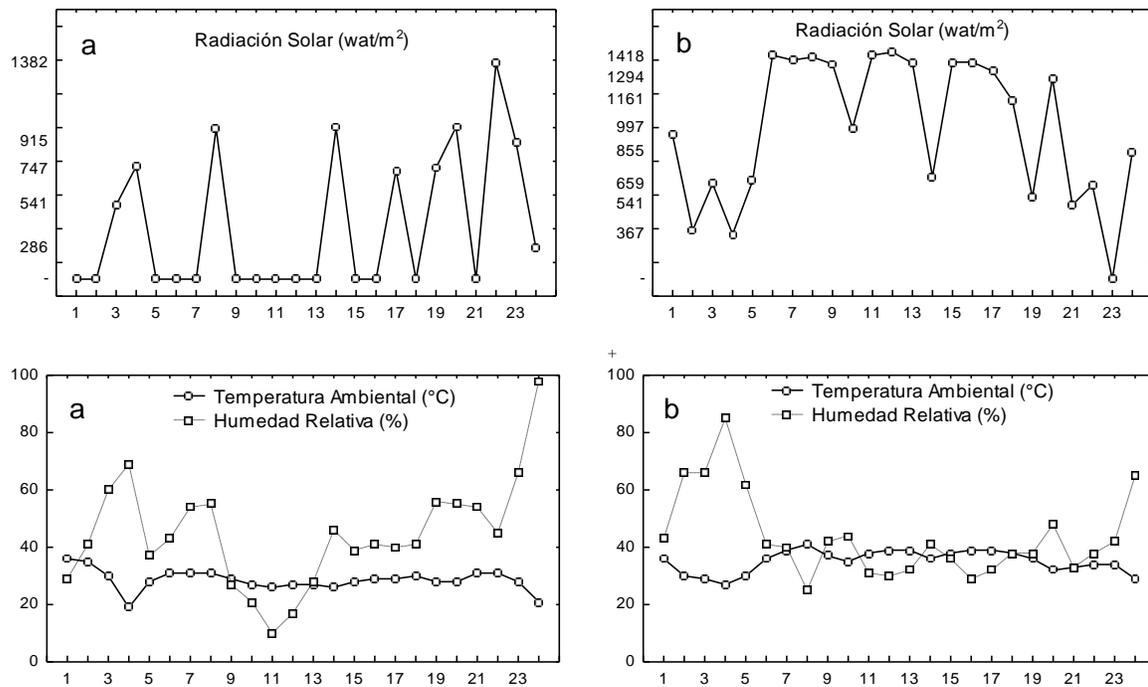


Figura 3. Radiación solar, temperatura ambiental y humedad relativa en el sitio experimental durante la época de lluvias (a) y la época de sequía (b).

7.5. Respuesta fisiológica del ganado

Durante las lluvias, la temperatura corporal de las vacas no fue diferente entre tratamientos ($P=0.261$, Cuadro 6). Sin embargo, durante la época de sequía la temperatura disminuyó conforme la cobertura aumentó ($P=0.001$), siendo menor en CAA (Cuadro 6).

La temperatura corporal de las vacas en los distintos tratamientos durante la época de lluvias se mantuvo por debajo de la temperatura corporal normal, y posiblemente se debió a la combinación de las condiciones del ambiente con el efecto de la cobertura arbórea durante este periodo de observaciones. Sin embargo, las vacas bajo CAA y CAB mantuvieron una tendencia hacia temperaturas más cercanas a la normal, lo cual puede significar que los árboles no solo tienen efecto en la reducción de temperaturas altas, sino

también permiten que estas no se encuentren muy por debajo de la temperatura corporal normal de los animales. No obstante, durante la sequía el beneficio de la cobertura arbórea, permitió reducir el paso de los rayos solares al suelo y a la superficie de la piel del animal, mejorando la capacidad de intercambio de calor del animal con el medio ambiente, lo cual evita el aumento de la temperatura corporal en el ganado (Finch, 1986; Navas, 2007). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Betancourt *et al.* (2003) en vacas en producción de cruce de razas Brahaman – Pardo suizo, manejados en pastizales con cobertura arbórea baja de 0 a 7 % y alta de 22 a 30 % bajo pastoreo continuo.

Con estos resultados se fortalece la hipótesis de que la cobertura de árboles dispersos en potreros disminuye la temperatura corporal del ganado; además, se corrobora que es durante la época de mayor impacto en el mecanismo de homeostasis del ganado, como es la época seca, cuando se observa más claramente el beneficio de la cobertura arbórea en los animales.

Cuadro 6. Temperatura corporal de las vacas (media \pm DE) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante las épocas de lluvias y sequía.

Época	CAA (°C)	CAB (°C)	SCA (°C)
Lluvias	30.3 \pm 0.7 ^a	30.9 \pm 1.1 ^a	29.4 \pm 0.3 ^a
Sequia	38.1 \pm 0.2 ^a	39.0 \pm 0.1 ^b	39.5 \pm 0.1 ^c

Medias con distinta literal entre fila indican diferencia estadística, P<0.05.

7.6. Respuesta conductual del ganado

7.6.1 Tiempos dedicados por el ganado a las distintas actividades

Los tiempos dedicados al consumo, rumia y exploración difirieron entre los animales de los tres tratamientos en función de la época ($P < 0.0001$). Durante las lluvias, las vacas dedicaron al consumo entre 8.9 y 9.2 h diarias sin diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$; Cuadro 7), mientras que en la sequía, aquellas en los potreros con CAB y SCA dedicaron el mismo tiempo al consumo ($P = 0.699$, Cuadro 7) pero mayor con respecto al tratamiento CAA ($P < 0.0001$).

Durante las lluvias, las vacas en CAB dedicaron más tiempo a la rumia y el menor tiempo en SCA ($P < 0.05$, Cuadro 7). A su vez, durante la sequía, los tiempos de rumia fueron más largos en CAB y SCA, que no difirieron entre sí ($P = 0.206$), sin embargo, los tiempos en CAA fueron marginalmente iguales a SCA ($P = 0.092$).

Los animales en CAA también exploraron mayor tiempo durante las lluvias ($P < 0.0001$, Cuadro 7), en contraste con CAB y SCA que no difirieron ($P = 0.075$, Cuadro 7), mientras que durante la sequía, en CAA y CAB las vacas dedicaron tiempos iguales de exploración ($P = 0.430$, Cuadro 7), y al mismo tiempo mayores que en los potreros SCA ($P < 0.05$).

Cuadro 7. Tiempos (horas/día) dedicados para el consumo, rumia y exploración (media \pm DE) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), en las épocas de lluvias y sequía.

Tratamientos	Consumo	Rumia	Exploración
.....Lluvias.....			
CAA	9.1 \pm 3.2 ^a	8.1 \pm 0.5 ^b	0.5 \pm 0.2 ^a
CAB	8.9 \pm 0.4 ^a	8.8 \pm 0.4 ^a	0.2 \pm 0.1 ^b
SCA	9.2 \pm 0.4 ^a	6.9 \pm 0.4 ^c	0.3 \pm 0.1 ^b
.....Sequía.....			
CAA	6.1 \pm 0.6 ^b	6.1 \pm 0.8 ^b	0.3 \pm 0.1 ^a
CAB	8.4 \pm 0.4 ^a	7.0 \pm 0.4 ^a	0.3 \pm 0.1 ^a
SCA	8.5 \pm 0.5 ^a	6.6 \pm 0.4 ^{ab}	0.1 \pm 0.1 ^b

Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística, P<0.05.

El descanso difirió únicamente por el efecto del tratamiento (P<0.0001). Durante ambas épocas las vacas en SCA pasaron más tiempo descansando y disminuyó conforme la cobertura aumentó (P < 0.0001, Cuadro 8). Por otro lado, la toma de agua durante las lluvias fue 0.09 \pm 0.03 y durante la sequía 0.30 \pm 0.06, siendo mayor en la época de seca (P < 0.0001) y los animales pastando sin cobertura arbórea tendieron a tomar agua con mayor frecuencia (P = 0.0001, Cuadro 8).

Cuadro 8. Tiempos (horas/día) dedicados para el descanso y toma de agua (media \pm DE) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA).

Tratamientos	Descanso	Toma de agua
CAA	3.39 \pm 0.46 ^c	0.16 \pm 0.04 ^c
CAB	4.31 \pm 0.39 ^b	0.20 \pm 0.05 ^b
SCA	5.26 \pm 0.47 ^a	0.23 \pm 0.05 ^a

Medias con distinta literal en la misma columna indican diferencia estadística, P<0.05.

Los tiempos de consumo iguales entre los distintos tratamientos durante la época de lluvias, podría relacionarse con la cantidad de forraje herbáceo disponible en cada tratamiento (Cuadro 3) y que posiblemente no limitó el consumo de materia seca que cada vaca requería por día (17 kg MS/vaca/día). Además, las condiciones climáticas que se registraron durante esta época (Figura 3) no llegaron a ser extremas. Bajo estas condiciones, el índice de temperatura y humedad (ITH) fue 73 (García y Wright, 2007), lo que significa que los animales no estuvieron expuestos a condiciones climáticas estresantes, y que posiblemente con el uso de los mecanismos fisiológicos normales y de comportamiento (por ejemplo, sudoración, jadeo, búsqueda de áreas frescas, consumo de agua, entre otros) serían suficientes para regular su temperatura corporal sin necesidad de disminuir el consumo de forraje, con el propósito de disminuir la producción de calor por fermentación del alimento (Navas, 2008).

No obstante, en la sequía las condiciones de los pastizales cambiaron notablemente respecto a las lluvias, ya que, además de la disminución en la disponibilidad de forraje en el estrato herbáceo (Cuadro 3), también la composición morfológica de estos se modificó (Cuadro 5). En potreros de CAA se observó una mejor composición en la relación hoja, tallo y material muerto, y un mayor porcentaje de este último componente en los potreros CAB y SCA.

Además, en el tratamiento SCA hubo una mayor presencia de *P. virgatum* (Cuadro 4), que es una especie por lo general menos consumida por el ganado, y que en esta época de sequía se vuelve más fibrosa y dura, debido al bajo contenido de agua, por lo que el ganado

no la consume. Estas condiciones de los pastizales originaron una disminución en la disponibilidad de forraje total en los potreros, principalmente en CAB y SCA, resultando una mayor disponibilidad en CAA. Estas condiciones posiblemente permitieron que las vacas con CAA dedicaran menos tiempo al consumo de forraje, que en los otros tratamientos en los cuales se dedicó más tiempo a esta actividad, probablemente para tratar de cubrir los requerimientos principalmente de materia seca en el rumen y tratar de cubrir también sus requerimientos de nutrientes (AFRC, 1993; Provenza, 1995).

Asimismo, los tiempos que las vacas dedicaron a las actividades de descanso, exploración y toma de agua en los potreros con y sin cobertura arbórea, fueron resultados de un comportamiento que podría esperarse “normal”, ya que a una mayor presencia de árboles en los pastizales (Cuadro 1) las condiciones ambientales se modifican generando un ambiente más confortable para los animales, lo cual contribuye a reducir los niveles de estrés calórico (NCAT, 2004; Palma, 2006; Navas, 2007). Esto también incide en la disminución del consumo de agua y el descanso, aumentando así los tiempos de exploración, especialmente en las horas de mayor calor. Sumado a esto, se ha comprobado que el consumo variado de forraje (herbáceo y arbustivo) tal y como pudo suceder en los potreros con cobertura arbórea, ayuda a minimizar el consumo de agua, pero además, también tiene efecto importante en la reducción de los tiempos de rumia de los animales al consumir forraje menos fibroso (Pérez *et al.*, 2005; Navas, 2007; Pérez *et al.*, 2008). Estos resultados fueron similares a lo obtenido por Pérez *et al.* (2008) que evaluaron el comportamiento ingestivo en toretes en un sistema silvopastoril y un sistema monocultivo, bajo clima cálido sub-húmedo, y manejados bajo un sistema de pastoreo intensivo.

Los bovinos en pastoreo modifican su comportamiento de una época a otra. Este cambio se debe principalmente a las variaciones en las condiciones del ambiente (temperatura, humedad relativa y radiación solar) (Blackshaw & Blackshaw, 1994; López-Ortiz *et al.*, 2009; Schüts *et al.*, 2009), por lo que este mismo efecto puede asociarse con el comportamiento mostrado por las vacas entre épocas en este estudio. Las condiciones climáticas registradas en el área durante el experimento (Figura 3), muestran un ITH menos extremo durante las lluvias (73) que durante la sequía (84) (García y Wright, 2007), lo cual indica que los niveles de estrés térmico en las vacas fueron considerables durante este último periodo. La exposición prolongada a temperaturas ambiente altas provoca una reducción en el consumo de forraje, seguido de una disminución en la secreción de hormonas calorigénicas (hormona de crecimiento, catecolaminas y glucocorticoides en particular), por consiguiente, hay una disminución en los procesos termogénicos de digestión y metabolismo y la tasa metabólica (Johnson, 1980; Webster, 1991), lo que permite a los animales reducir la producción de calor a través del metabolismo, y por consiguiente les ayuda a regular su temperatura corporal.

Además, las altas temperaturas durante la época de sequía provocaron que los animales utilizaran más la sombra durante las horas de mayor calor (principalmente en CAA), con el fin de regular y contrarrestar los efectos de estrés calórico (García y Wright, 2007), por lo que el consumo de forraje pudo también haber sido afectado negativamente (lo que significa una reducción en el consumo de alimento), así como la actividad de exploración, mostrando una correlación positiva a los tiempos dedicados al consumo (por lo menos en

CAA). Así también, por una parte las altas temperaturas provocaron un aumento considerable en la toma de agua, además, el consumo de forraje fibroso y con bajo contenido de agua en los distintos tratamientos también influyeron a que esta actividad aumentara durante esta época de sequía (Pérez *et al.*, 2005; Navas, 2007; Pérez *et al.*, 2008).

Sin embargo, en CAB y SCA, la diferencia de los tiempos de consumo entre épocas no fue considerable (Figura 4), por lo que dicho comportamiento, posiblemente se debió a la menor disponibilidad de forraje (Cuadro 3) durante la sequía, obligando a las vacas pastar casi el mismo tiempo que durante las lluvias para tratar de consumir las cantidades requeridas individualmente (este mayor tiempo de consumo no significa forzosamente una cantidad mayor de forraje cosechado por el animal como en CAA). Sin embargo, los tiempos de exploración fueron menores, posiblemente por la mayor concentración de forraje en la parte del fondo en estos potreros, lo que pudiera haber influenciado a las vacas para dedicar un mayor tiempo de pastoreo en estas áreas.

Mientras tanto, los tiempos de descanso similares entre época en cada tratamiento podrían deberse a la modificación del comportamiento de las vacas por efecto del clima, el cual no afectó los tiempos dedicados a esta actividad. Es decir, las vacas adoptaron patrones de comportamiento distinto en cada época (de acuerdo a las condiciones de cada sitio) para contrarrestar los efectos adversos del clima, permitiendo mantener los mismos tiempos a esta actividad de una época a otra pero en horarios distintos (De Elia, 2002).

No obstante, el mayor tiempo de rumia que las vacas bajo cobertura (principalmente en CAB) dedicaron durante la época de lluvias, podría relacionarse con el mayor consumo de MS por las vacas, debido a la mayor disponibilidad de forraje durante las lluvias con respecto a la época de sequía (Cuadro 3). Así mismo, esta condición de mayor forraje posiblemente permitió que el tamaño de las partículas del alimento durante el pastoreo fuera mayor, aumentando el bocado comparado con la época de sequía, donde la disponibilidad de forraje fue menor, y por lo tanto, el consumo de MS decreció, además, las partículas de forraje pudieron ser más pequeñas.

Sin embargo, la similitud de los tiempos de rumia de las vacas en SCA entre épocas, pudiera deberse a dos principales razones: la primera que durante ambas épocas la disponibilidad de forraje consumible en el estrato herbáceo disminuyó por la mayor presencia de la especie *P. virgatum* (Cuadro 4) y por el mayor porcentaje de material muerto (Cuadro 5), lo que obligó a los animales a dedicar los tiempos más altos de pastoreo (Figura 4), y que posiblemente no significó cantidades altas de materia seca cosechadas, y que por consiguiente, los tiempos de rumia se disminuyeron en ambas épocas. La segunda, podría relacionarse con las condiciones ambientales en estos potreros, ya que por la ausencia de cobertura arbórea estos produjeron alteraciones en la fisiología de los animales, al aumentar la temperatura corporal de las vacas principalmente al medio día durante ambas épocas, ocasionando que estas disminuyeran la ingesta de forraje fibroso y en consecuencia la rumia, para así lograr reducir la producción de calor por fermentación del alimento, y poder de esta manera, mantener su temperatura normal constante (termostasis) (García y Wright, 2007; Pérez *et al.*, 2008).

El análisis de los tiempos de las actividades que las vacas realizaron diariamente, permite corroborar el beneficio de la cobertura de árboles en los sistemas de pastoreo, y se comprueba la primera hipótesis del estudio que menciona que las vacas pastando bajo cobertura arbórea modifican sus patrones de comportamiento, dedicando tiempos distintos a las actividades de consumo de forraje, descanso, rumia, exploración y toma de agua, en comparación con vacas pastando pastizales sin cobertura arbórea.

7.6.2. Horarios de las actividades de las vacas durante el día

En periodos de 24 horas, durante la época de lluvias, todas las vacas tuvieron tres periodos de mayor actividad de consumo (Figura 4), y aunque en términos generales esos periodos tienen los mismos horarios, es notoria la actividad que los animales mostraron en SCA, denotando mayor actividad en el primer pico (madrugada) y menor en las primeras horas (11:00 – 14:00 h) del segundo y tercer periodo, ese tiempo aparentemente lo reponen en las horas de la tarde cuando la temperatura disminuye (19:00 – 23:00 h).

El periodo más amplio de descanso se observó en la madrugada, y se extendió a lo largo del día con menor frecuencia (Figura 4). En esta actividad, el comportamiento de los animales en SCA tuvo una tendencia a ser más frecuente a lo largo del día sobre todo a las horas de mayor calor, mientras que en aquellos en CAA fue menos frecuente y más homogéneo durante el día.

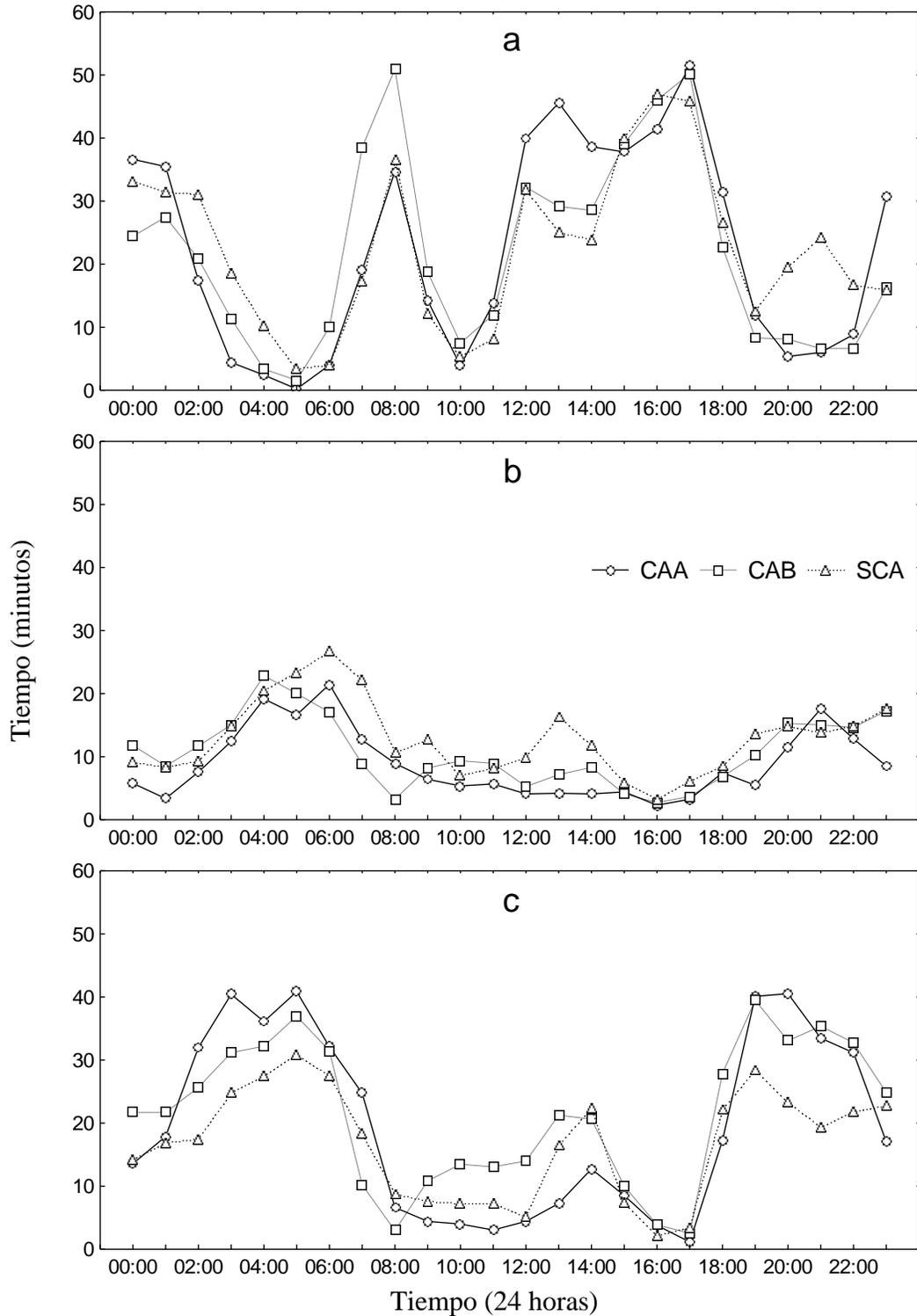


Figura 4. Distribución diaria del tiempo dedicado al consumo (a), descanso (b) y rumia (c), de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de lluvias.

La rumia se distribuyó de forma relativamente similar entre los tres tratamientos, sin embargo, tendió a ser más frecuente en CAB y SCA en horas de más calor (8:00 – 16:00 h). En la exploración y toma de agua, los más relevante fue una mayor frecuencia de exploración entre las 11:00 y las 18:00 h y menor frecuencia de toma de agua en vacas pastoreando en potreros con CAA (Figura 5).

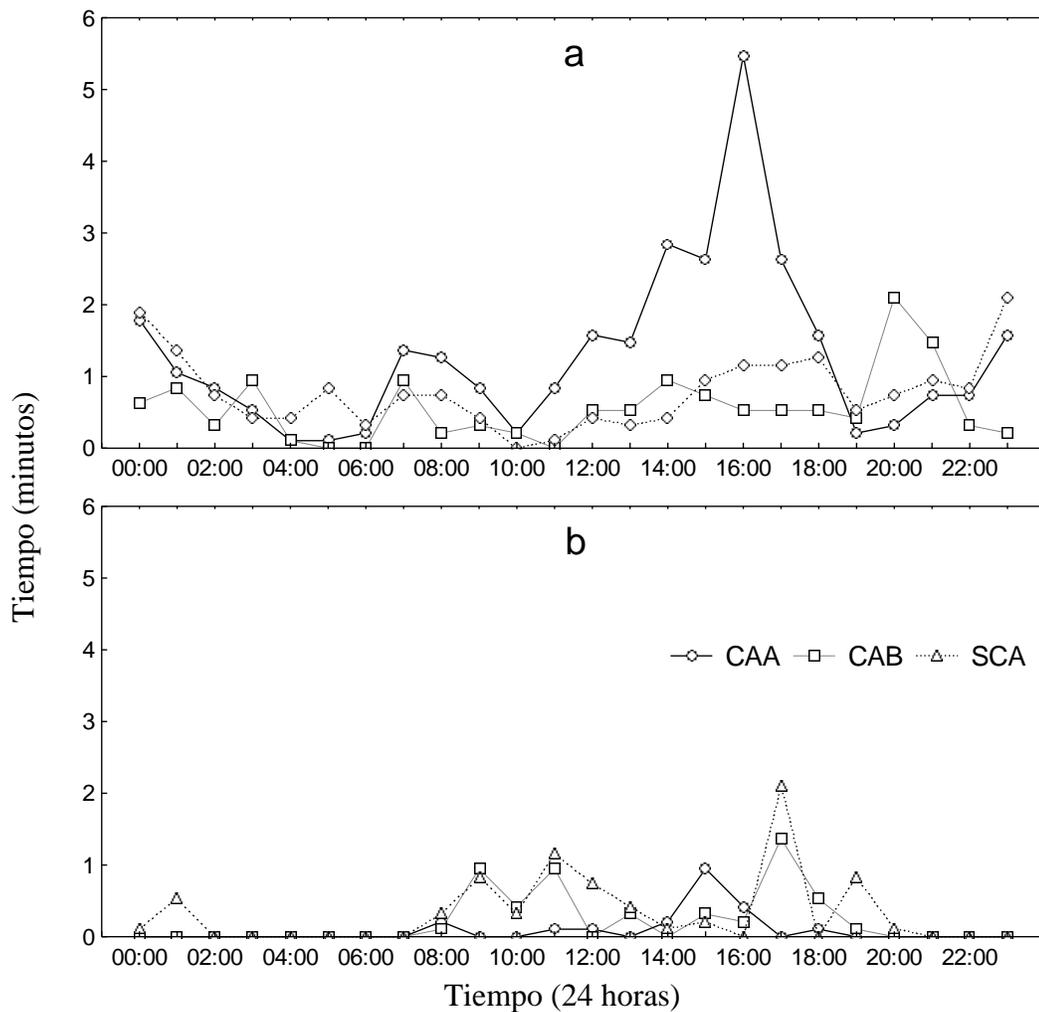


Figura 5. Distribución diaria del tiempo dedicado a la exploración (a) y toma de agua (b) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de lluvias.

Durante esta primera época de observaciones, las condiciones ambientales registradas en el área experimental (Figura 3) no fueron extremas para el ganado (García y Wright, 2007); no obstante, estas condiciones pudieron ser suficientes para activar ciertos mecanismos fisiológicos (sudoración, jadeo, etc.) y de comportamiento (búsqueda de lugares frescos y consumo de agua, entre otras), de acuerdo a las condiciones particulares de cada tratamiento (García y Wright, 2007), principalmente de cobertura arbórea, para tratar de mantener la temperatura corporal constante y hacer un mejor uso de los pastizales. Además, Pérez *et al.* (2008) mencionan que existe una relación estrecha del bienestar animal en los sistemas silvopastoriles por efecto de la sombra respecto a los tiempos dedicados al consumo de forraje y otras actividades durante el día. Por esto, las vacas en CAA dedicaron un mayor tiempo a consumo y exploración principalmente entre las horas 12:00 y 14:00 h, por el ambiente de confort de la sombra, reduciendo también así el consumo de agua y dedicando periodos de descanso y rumia durante la noche, comportamiento que fue muy diferente a lo sucedido con las vacas de los otros tratamientos, donde la cobertura por árboles fue menor, el consumo y la exploración se observaron mayormente en la tarde y noche, aumentando las actividades de descanso, la rumia y toma de agua en horas del día cuando la temperaturas son mayores.

En la época de sequía, los tiempos de mayor consumo tendieron a recorrerse hacia horarios más tardes en comparación con la época de lluvias; en el tratamiento con CAA nuevamente hubo una tendencia a menor tiempo de consumo a lo largo del día, aun durante tiempos en que suceden periodos de menor magnitud (de 22:00 a 03:00 y de 06:00 a 09:00 h) (Figura 6). El descanso, aunque se hizo en horarios similares, CAA tendió a un menor tiempo en

los periodos y más homogéneo a lo largo del día. La tendencia en los tiempos de rumia pareció muy cercana entre tratamientos, con excepción de SCA de las 09:00 - 12:00 h en que rumiaron más (Figura 6).

La exploración se distribuyó de manera homogénea durante el día, sin embargo, tendió a recorrerse ligeramente hacia las 14:00 a las 18:00 h, siendo ligeramente más frecuente en CAA (Figura 7). La toma de agua sucedió con mayor frecuencia en las horas de mayor calor en los tratamientos CAB y SCA, mientras que en CAA la mayor frecuencia se observó en las horas de menor calor (Figura 7).

Durante la sequía, las condiciones ambientales fueron relativamente más extremas que durante las lluvias (Cuadro 6, Figura 3), y la cobertura en CAA y CAB fue menor en esta época. Por lo tanto, los resultados obtenidos durante este periodo de observaciones podrían deberse tanto al efecto del clima como a la presencia y ausencia de árboles en los potreros. En CAA y CAB la cobertura arbórea contribuyó posiblemente, aunque a menor escala durante las lluvias, a disminuir los efectos del clima y reducir el estrés calórico en las vacas a través de la sombra (NCAT, 2004; Palma, 2006; Navas, 2007; Pérez, *et al.*, 2008), lo que contribuyó a un mayor consumo y exploración, con periodos cortos de descanso y un menor consumo de agua en las horas de mayor calor, con respecto a las vacas pastoreando en SCA.

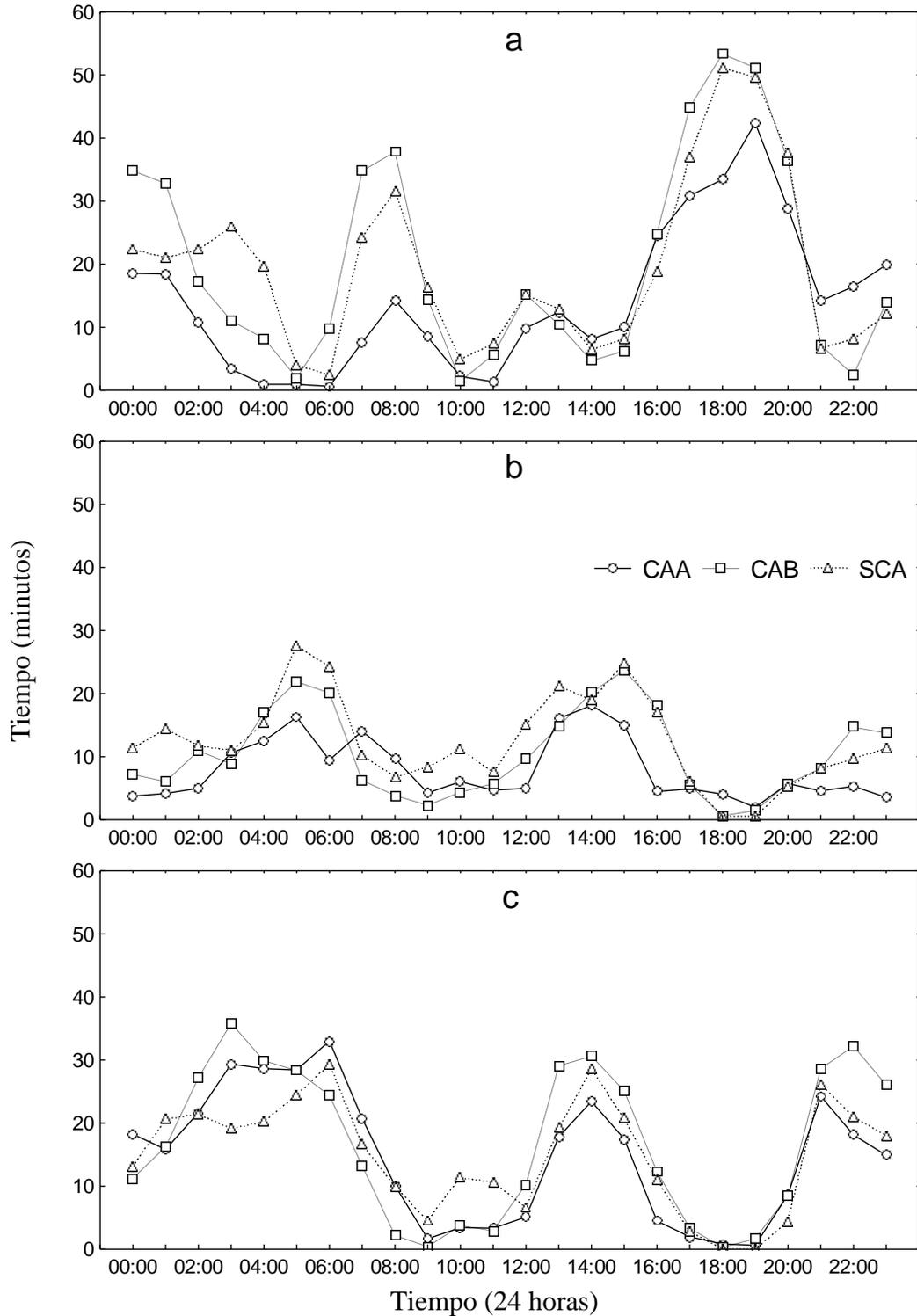


Figura 6. Distribución diaria del tiempo dedicado al consumo (a), descanso (b) y rumia (c) de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de sequía.

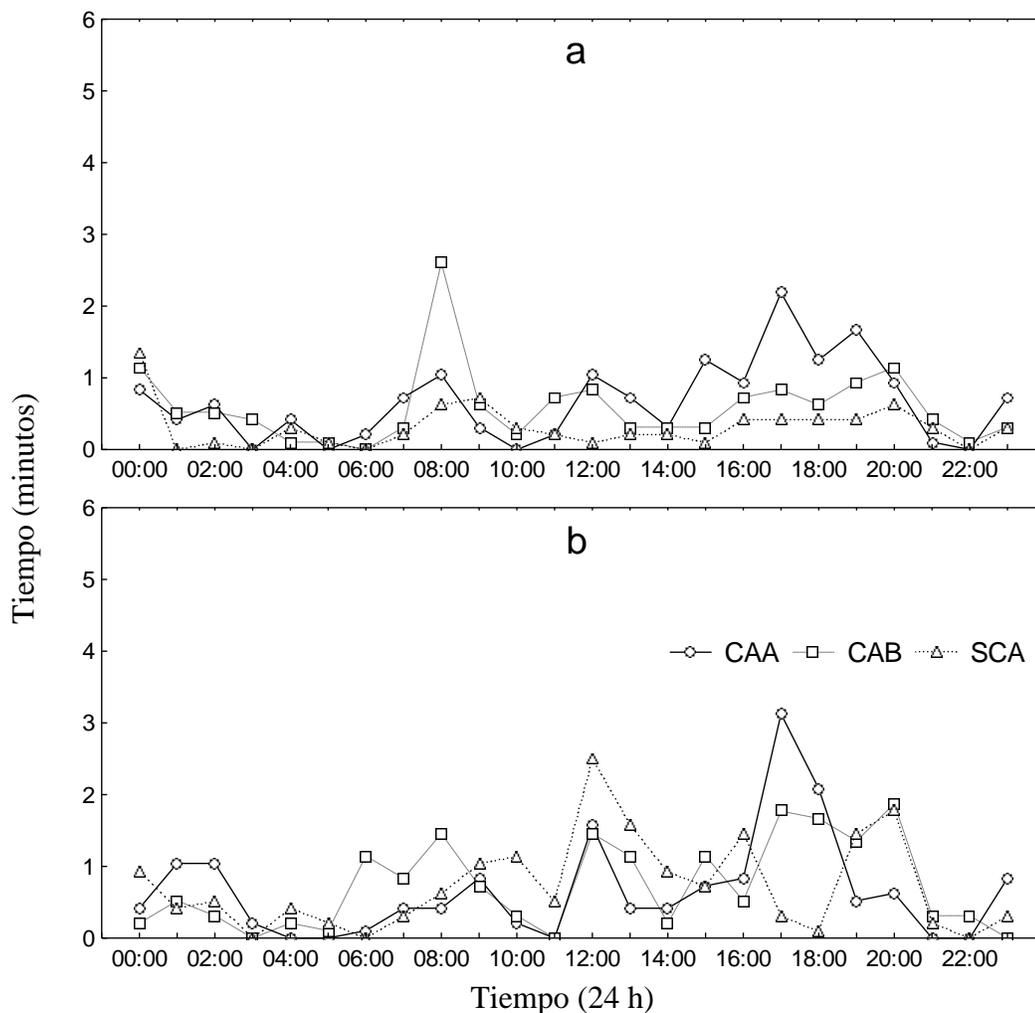


Figura 7. Distribución diaria del tiempo dedicado a la exploración (a) y toma de agua (b), de vacas (Holstein x Cebú) pastando en potreros con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante la época de sequía.

7.7. Probabilidades de transición en el comportamiento durante la época de lluvias

Las probabilidades de que los animales pasen de la actividad del pastoreo al descanso, la rumia o la exploración, fueron distintas de cero en todos los tratamientos a través del tiempo ($P < 0.001$). Aquellas vacas pastando CAA mostraron menor probabilidad de irse a descansar que en CAB o SCA ($P < 0.001$; Figura 8). También, aquellas en CAA mostraron menor probabilidad de pasar del pastoreo a la rumia ($P < 0.001$; Figura 8). Sin embargo, estas vacas mostraron mayor motivación a la exploración a lo largo de todo el experimento,

que las vacas en otros tratamientos ($P < 0.001$; Figura 8). Aunque los efectos en los tratamientos CAB y SCA no se compararon, se observó una tendencia en todas las transiciones a un comportamiento más parecido entre los animales de estos tratamientos.

La probabilidad de que los animales en exploración pasaran al pastoreo fueron distintas a cero solo en CAA ($P < 0.001$) y SCA ($P = 0.031$), indicando que los animales que pastaron entre árboles (CAA o CAB) tienen la misma probabilidad de pasar al pastoreo, pero distinta a los animales en SCA ($P = 0.031$; Figura 8); esta respuesta es congruente con la conducta mostrada hacia una menor probabilidad de pasar a la exploración cuando están en pastoreo.

La mayor motivación del ganado en CAA a pasar más tiempo pastando en vez de irse a descansar o a rumiar, fue un comportamiento esperado, debido a que la sombra en los potreros disminuye la temperatura y la sensación de calor entre 3 y 4 °C (Navas, 2007; Pérez *et al.*, 2008), modifica el microambiente y hace más confortable, y posiblemente estimula a pastar durante más tiempo a lo largo del día (Betancourt *et al.*, 2003). Adicionalmente, la exploración mostrada por los animales en este mismo ambiente de mayor cobertura arbórea también ha sido un indicio de una mejora en el microclima (Pérez *et al.*, 2008); por el contrario, en ambientes con nula o poca cobertura arbórea, explorar implica mayor tiempo de exposición al sol y por lo tanto se dedica menor tiempo, en cambio con sombra este tiempo se incrementa (Navas, 2007; Pérez *et al.*, 2008).

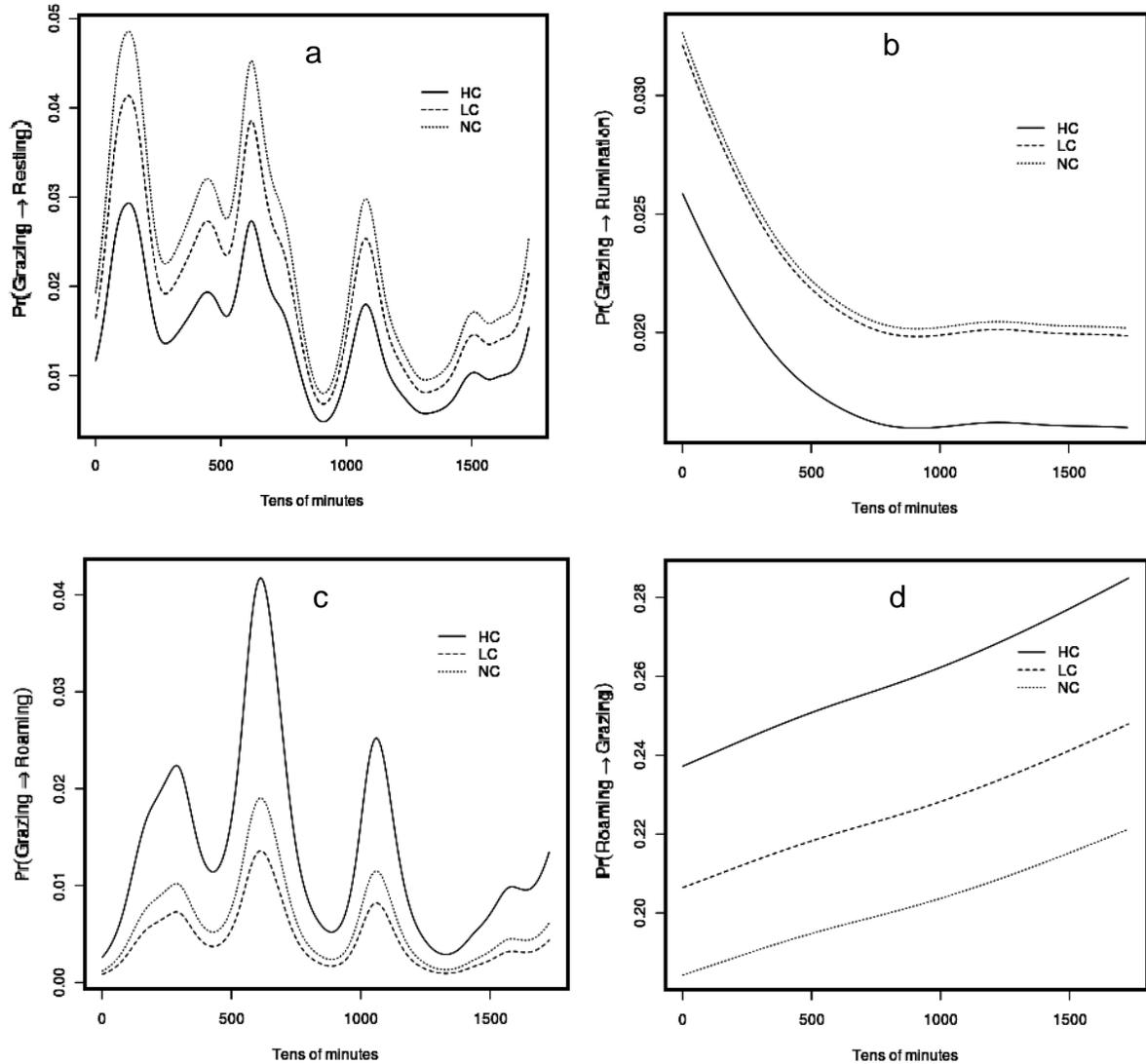


Figura 8. Probabilidades de transición del pastoreo al descanso (a), la rumia (b) o la exploración (c), y de la exploración al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de lluvias.

Las transiciones del descanso a otras actividades también fueron distintas de 0 ($P < 0.001$), con excepción en la transición de descanso a pastoreo en CAB ($P = 0.201$; Figura 9). Una vez en descanso, los animales de ambos tratamientos con cobertura arbórea mostraron igual probabilidad de iniciar el pastoreo ($P = 0.201$) y distinta de aquellas vacas SCA, lo cual no implica un mayor o menor tiempo de pastoreo (Cuadro 7) ($P < 0.001$), aunque la

magnitud de las tendencias es muy cercana entre los tres tratamientos (Figura 9). En cambio, los animales en CAA mostraron menor probabilidad de iniciar la rumia que aquellos en CAB o SCA ($P < 0.001$).

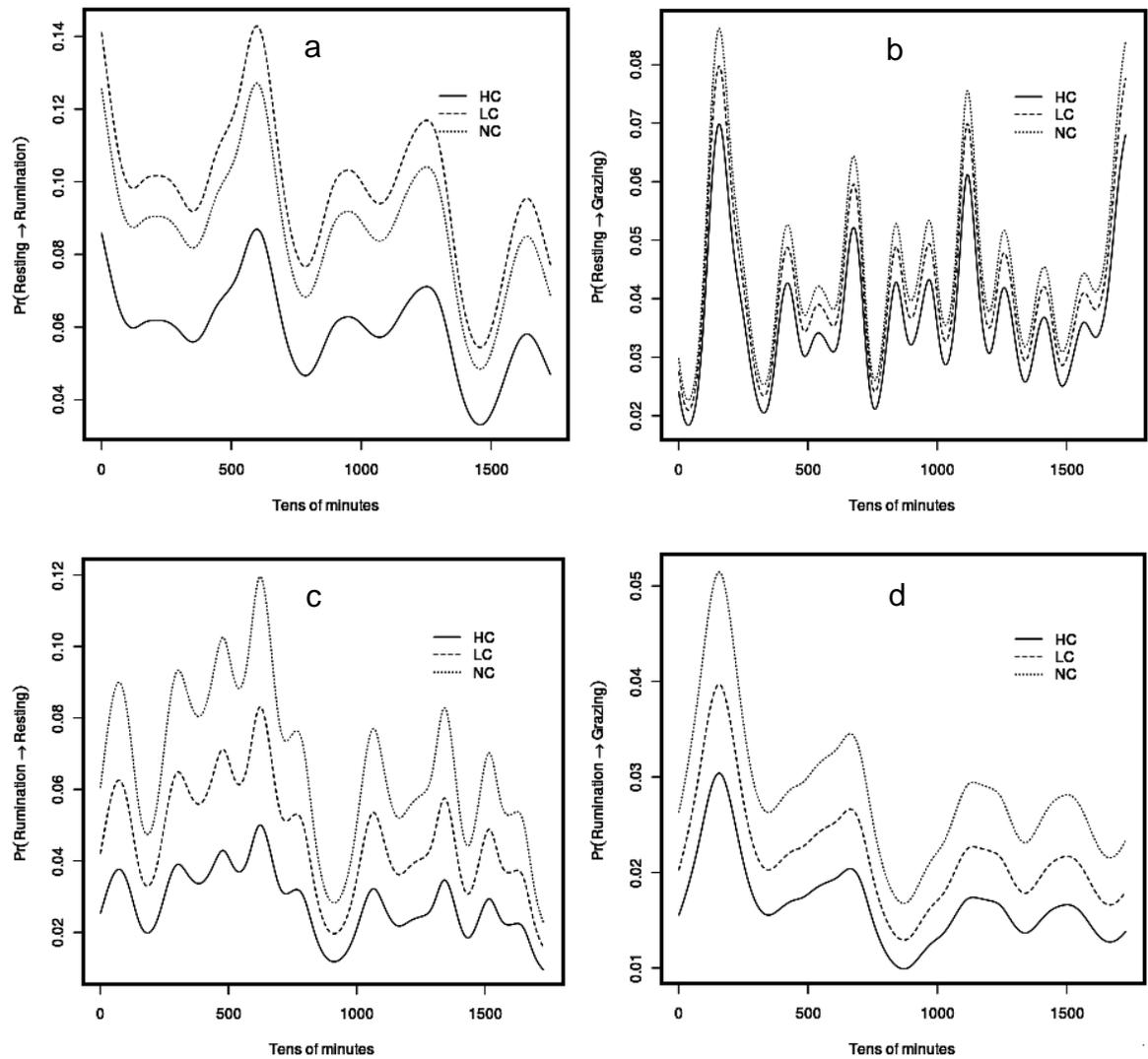


Figura 9. Probabilidades de transición del descanso a la rumia (a), al pastoreo (b), y de la rumia al descanso (c) o al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de lluvias.

En este experimento, la cobertura arbórea (baja o alta) disminuyó la motivación del ganado en descanso a reiniciar el pastoreo, ya que este ganado (al menos en CAA) mostró también menor motivación para pasar del pastoreo al descanso (Figura 8). Es importante resaltar que esta menor motivación a reiniciar el pastoreo no implicó menor tiempo de pastoreo (Cuadro 7). La menor motivación para pasar del descanso a la rumia pudo deberse a una de dos situaciones: 1) a que las vacas en CAA, con una mayor disponibilidad de forraje y más variado al existir herbáceas y arbustivas, les permitió masticar menos o reducir la rumia (Pérez *et al.*, 2005; Navas, 2007; Pérez *et al.*, 2008), y la 2) a que esta última la realizaron en los periodos nocturnos (Figura 6).

Durante periodos de rumia, las probabilidades de pasar al descanso o al pastoreo fueron distintas de cero ($P < 0.001$) en todos los tratamientos (Figura 9). Las vacas en CAA tuvieron una menor motivación para la primera transición (rumia-descanso) que en CAB o SCA ($P < 0.001$). Lo mismo sucedió en la transición de rumia a pastoreo, en la cual hubo una menor probabilidad de que las vacas en CAA pasaran al pastoreo después de periodos de rumia, que en CAB ($P < 0.001$) o SCA ($P < 0.001$).

Las probabilidades de transiciones de rumia al descanso o al pastoreo fueron menores en vacas bajo CAA, posiblemente debido a que estos animales hacen coincidir más sus periodos de rumia y descanso, y al terminar de rumiar pasan a realizar otra actividad, lo

cual es congruente con la transición de exploración a pastoreo (Figura 8), donde se ilustra una mayor disposición de pasar a la exploración, pero también un mayor tiempo en horas dedicadas a la exploración (Cuadro 7).

7.8. Probabilidades de transición en el comportamiento durante la época seca

Las probabilidades de que las vacas pasaran del pastoreo al descanso, la rumia o la exploración fueron distintas de cero solo en algunos tratamientos ($P < 0.05$). El efecto del tratamiento CAA fue diferente a cero en las tres transiciones anteriores ($P < 0.001$), en CAB el efecto fue igual a cero en las transiciones del pastoreo a la rumia y al descanso, mientras que SCA el efecto fue igual a cero únicamente en la transición a la rumia, la cual significa que no hubo ningún efecto de la cobertura en el comportamiento.

Por tanto, las vacas en CAA y CAB mostraron la misma motivación a iniciar el descanso mientras pastan ($P = 0.290$); sin embargo, aquellas en SCA tuvieron una mayor motivación para hacerlo que los dos tratamientos con cobertura arbórea ($P < 0.001$; Figura 10). No obstante, independientemente del tratamiento, todos los animales tuvieron la misma probabilidad de transitar del pastoreo a la rumia ($P > 0.05$; Figura 10). En cambio, cuando pastan bajo CAA, la motivación para pasar a la exploración es mayor que en CAB ($P = 0.001$) y SCA ($P < 0.001$; Figura 10).

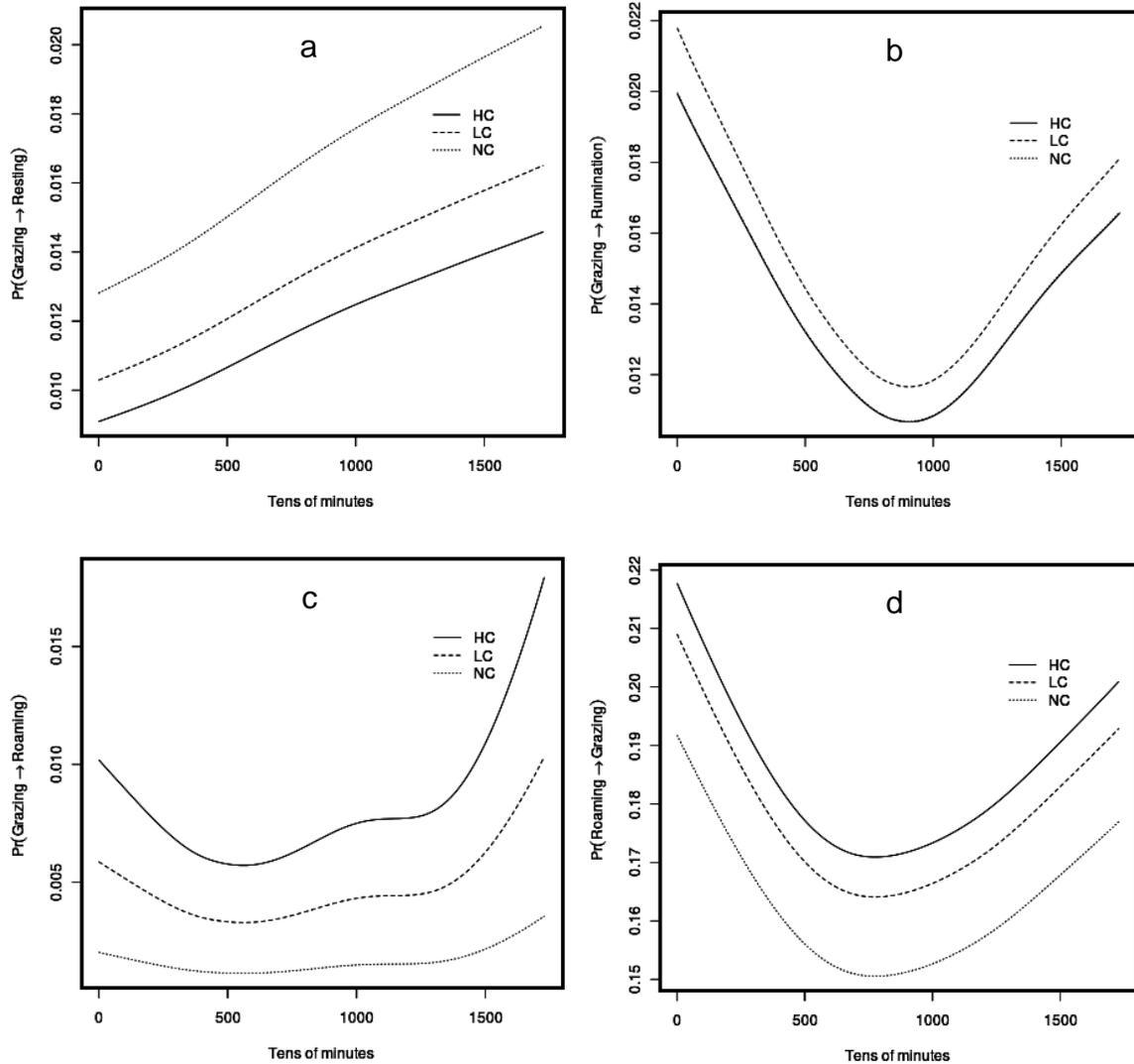


Figura 10. Probabilidades de transición del pastoreo al descanso (a), la rumia (b) o la exploración (c), y de la exploración al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de sequía.

En la transición del descanso al pastoreo, solo el efecto del tratamiento CAB fue igual a cero ($P = 0.834$). Del descanso a la rumia, los efectos de CAB ($P = 0.214$) y SCA ($P = 0.955$) fueron igual a cero. Las vacas en CAA tuvieron la misma motivación que las de CAB ($P = 0.834$) para reiniciar el pastoreo cuando estaban en descanso, pero distinta y mayor que aquellas en SCA ($P = 0.007$; Figura 11). Sin embargo, la probabilidad de iniciar

la rumia cuando estaban en descanso fue igual en todos los tratamientos ($P > 0.05$; Figura 11).

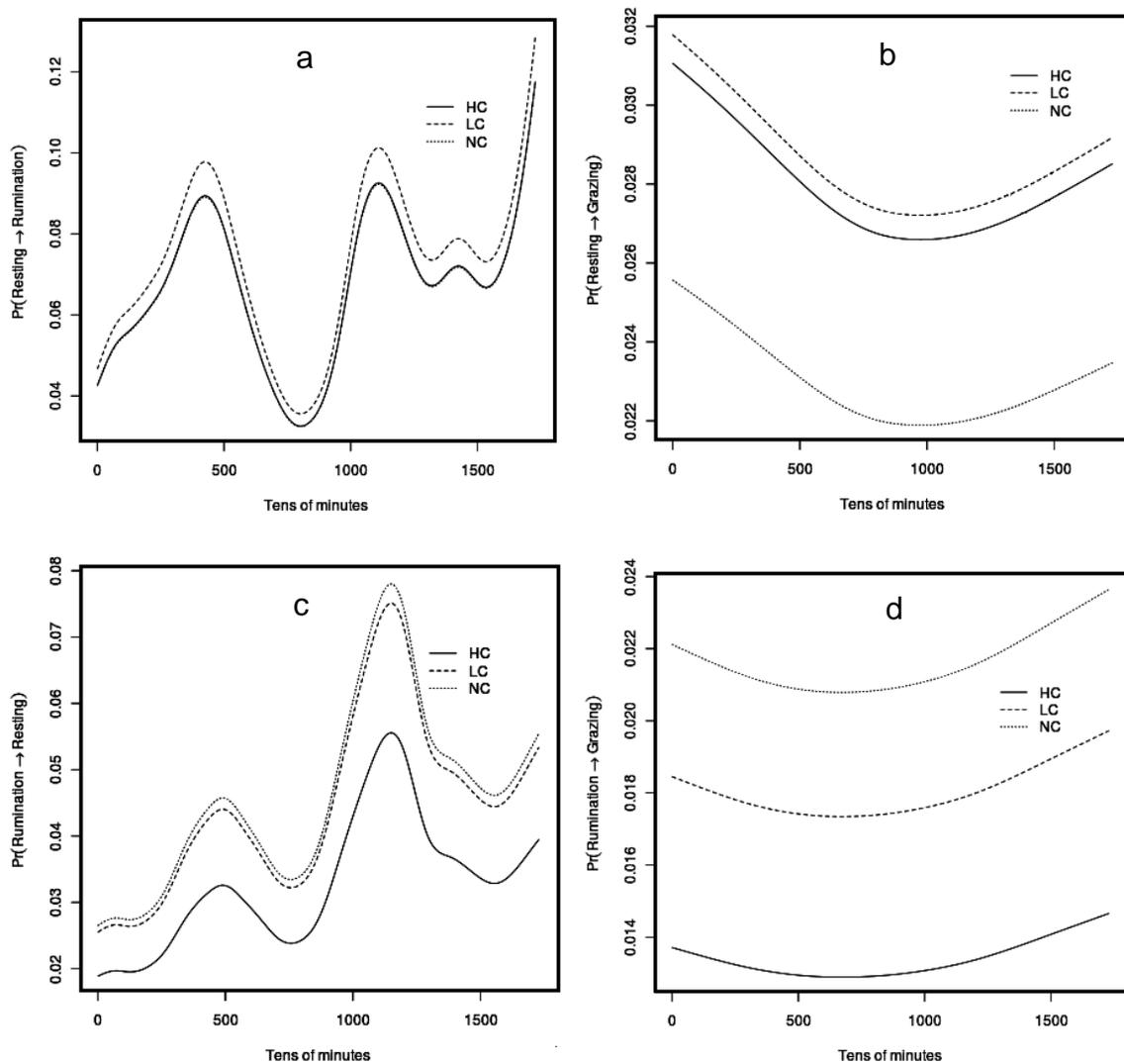


Figura 11. Probabilidades de transición del descanso a la rumia (a), al pastoreo (b), y de la rumia al descanso (c) o al pastoreo (d), en vacas pastando sitios con cobertura arbórea alta (CAA), baja (CAB) y sin cobertura (SCA), durante el periodo de sequía.

El efecto de todos los tratamientos fue significativamente distinto de 0 en las transiciones de la rumia al pastoreo ($P < 0.001$) y a continuar en el descanso ($P < 0.001$). Mientras los animales efectuaban la rumia, la motivación a reiniciar el pastoreo fue superior bajo CAB ($P < 0.001$) y SCA ($P < 0.001$) que en CAA (Figura 11); así mismo, bajo CAB y SCA, la

probabilidad de continuar descansando después de terminada la rumia, es menor en CAA que en CAB ($P < 0.001$) y SCA ($P < 0.001$). Por último, los animales de todos los tratamientos mostraron la misma motivación para continuar el pastoreo cuando se encontraban explorando ($P > 0.05$; Figura 10).

El análisis de estas transiciones basadas en la actividad diaria realizada como una secuencia continua de acciones, permite corroborar la segunda hipótesis que establece que los animales provistos de sombra modifican sus patrones de comportamiento durante el pastoreo, alterando los horarios en que realizan sus actividades motivados por los cambios en su microclima.

Aunque aparentemente, la disponibilidad de vegetación herbácea y arbustiva asociada a los árboles también modificó aquellos comportamientos del pastoreo y rumia, esto en vez de verse como una debilidad metodológica se debe ver como un factor asociado difícil de separar en ambientes de pastoreo con vegetación leñosa.

8. CONCLUSIONES

Las vacas pastando bajo cobertura arbórea mejoran su comportamiento, ya que dedican mayor tiempo al consumo y a la exploración y menor tiempo al descanso y rumia; además, disminuye la frecuencia en el consumo de agua. Así, la disponibilidad y diversidad de forraje herbáceo y arbustivo asociado a los árboles son factores que influyen directa e

indirectamente sobre este comportamiento del animal, ya que modifican las condiciones en los sitios de pastoreo.

El ambiente al usar árboles en los potreros modifica de manera positiva la motivación para realizar y distribuir las actividades durante el día por efecto de la sombra, por la modificación del microclima de los pastizales.

La cobertura arbórea también modifica ligeramente la temperatura corporal y probablemente reduce el estrés calórico. Sin embargo, es importante resaltar que la función de la cobertura arbórea en el alivio del estrés tiene un mayor impacto durante la época de sequía, cuando las temperaturas y la humedad relativa son más extremas hacia el límite superior.

El comportamiento observado en las vacas, así como una mayor motivación para pastar y explorar y la menor temperatura corporal, principalmente durante la época de sequía, indican que la presencia de árboles en los sistemas de pastoreo tiende a mejorar el comportamiento de las vacas de doble propósito al permitir un uso más eficiente de los pastizales, lo que podría repercutir en una mejora en la productividad y los índices reproductivos de las vacas.

9. LITERATURA CITADA

- AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Wallingford, UK. 122 p.
- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*. 77: 2044 – 2050.
- BayesX. 2012. BayesX - Bayesian Inference in Structured Additive Regression Models. Versión 2.1 (07.05.2012). GNU Public License. Múnich, Alemania. <http://www.stat.uni-muenchen.de/~bayesx/bayesxnews.html>.
- Beede, D. K. and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*. 62: 543 – 554.
- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*. 83: 77 – 84.
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Harvey y B. Vargas. 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: 47 – 51.
- Bines, J. A. 1979. Voluntary food intake. In *Feeding Strategy for the High Yielding Dairy Cow*. pp 23 – 48.
- Blackshaw, J. K. and A. W. Blackshaw. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavior: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34, 285 - 295.
- Brown-Brandl, T. M., R. A. Eigenberg. and J. A. Nienaber. 2006. Heat stress risk factor of feedlot heifers. *Livest. Sci*. 105, 57 – 68.
- Canfield, R. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*. 39: 388 – 349.
- Córdova-Izquierdo, A. 2009. Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 11: 12.
- Curtis, S. E. 1981. Environment heat stress and its effects on body growth rate. En: *Environmental management in animal agriculture*. Illinois, USA. 430 p.
- De Elia, M. 2002. Etología y comportamiento del bovino. *Producción Animal*. 4 p. <http://www.produccionanimal.com>. Consultado en septiembre, 2010.

- Deinum, B. A., J. H. Van Es. and P. J. Van Saest. 1968. Climate, nitrogen and grasses. II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on in vivo digestibility of grass and the prediction of these effects from chemical procedures. *Netherland Journal of Agricultural Science*. 16: 217.
- Eilers, C. P. H. and D. B. Marx. 1996. Flexible smoothing with *B*-splines and penalties. *Statistical Science*. 11: 89 – 121.
- Faría, M. J. 2006. Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. X Seminario de pastos y forrajes. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. 9 p.
- Finch, V. A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science*. 62: 531 – 542.
- Fisher, A. D., N. Roberts., S. J. Bluett., G. A Verkerk., and L. R. Matthews. 2008. Effects of shade provision on the behavior, body temperature and milk production of grazing dairy cows during a New Zealand summer. *New Zeal. Journal of Agriculture Research*. 51: 99-105.
- Forbes, J. M. 1986. *The Voluntary Food Intake of Farm Animals*. London: Ed. Butterworths. 205 p.
- García, A., y C. Wright. 2007. Efectos del medio ambiente sobre los requerimientos nutricionales del ganado en pastoreo. Extensión extra ExEx4037-S. Sitio Argentino de Producción Animal. <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4037-S.pdf>
- García, E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 3a. ed. Instituto de Geografía. UNAM, México, D.F. 246 p.
- Gary, L. A., G. W. Sherritt. and E. B. Hale. 1970. Behaviour of Charolais cattle on pasture. *Journal of Animal Science*. 30: 203 – 206.
- Gómez-Pompa, A. 1978. *Ecología de la vegetación del estado de Veracruz*. Ed. Continental S.A. México DF. 91 p.
- Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Dairy Science* 82: 10-20.
- Hall, M. 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard`s Dairyman*. 344 p.
- Hansen, P. J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*. 82-83: 349-360
- Haydock, K. P. and H. N. Shaw. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15: 663 – 670.

- Ibrahim, M. y C. Harvey. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ambientales. *Agroforestería en las Américas*. 10: 39 – 40
- INEGI. 2008. Municipio Tlapacoyan Veracruz México. Medio Físico y Geográfico. <http://www.tlapacoyanver.gob.mx>. Consultado en Agosto 2010.
- INEGI. 2010. Anuarios Estadísticos de los Estados. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 197 p.
- Johnson, H. D. 1980. Depressed chemical thermogenesis and hormonal function in heat. In: Yousef, M. K. Ed. *Environmental Physiology: Ageing, Heat and Altitude*. Elsevier North Holland, Inc. New York, USA. 3 – 9.
- Kendall, P. E., P. P. Nielsen., J. R. Webster., G. A. Verkerk., R. P. Littlejohn., and L. R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science*. 103: 148-157.
- Kneib, T. and A. Hennerfeind. 2006. Bayesian Semiparametric Multi-State Models. *Statistical Modelling*. 8: 169 – 198.
- Kulicov, V. y R. Rudnev. 1987. *Agrometeorología Tropical*. Ed. Academia. La Habana.
- Lacetera, N., U. Bernabucci, B. Ronchi and A. Nardone. 2003. Physiological and productive consequences of heat stress. The case of dairy ruminants. In: Lacetera N., Bernabucci U., Khalifa H. H., Ronchi B., Nardone A. Eds. *Proc. of the Symposium on Interaction between Climate and Animal Production: EAAP Technical Series*. 7: 45 – 60.
- Littell, R., C., P. R Henry. and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS. *Journal of Animal Science*. 76: 1216 – 231.
- López-Ortiz, S., P. Pérez-Hernández, C. C. Ahuja-Aguirre, E. Ortega-Jiménez, P. Díaz-Rivera, C. Olgín-Palacios, A Rosendo-Ponce, F. Gallardo-López y J. Gallegos-Sánchez. 2009. In: Tejeda, S.O., O.M.E. Suarez., M.A. Pro., A.G. Torres., S.J. Gallegos (Eds.), *Curso de reproducción en rumiantes: Nuevas alternativas de manejo para mejorar la eficiencia reproductiva*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México, pp. 41 – 50.
- Navas, P. A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. *Revista ACOVEZ*. 16: 3. <http://www.produccion-animal.com.ar>. Consultado en Abril 2012.
- Navas, P. A. 2008. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico y su importancia en la producción bovina tropical. *Revista El Cebú*. 359: 14 – 17.

- NCAT. 2004. Organic Livestock Workbook – A Guide to Sustainable and Allowed Practices. National Center for Appropriate Technology. USDA - National Organic Program. 92 p.
- Palma, J. M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 14: 95 – 104.
- Pech, M., V. J. Santos F. y R. Montes P. 2002. Función de producción de la ganadería de doble propósito de la zona oriente del estado de Yucatán, México. Técnica Pecuaria. 40 (2): 187 – 192.
- Penning, P. D. and S. M. Rutter. 2004. Ingestive behaviour. In: Penning, P.D. 2nd ed. Ed. Herb Intake. Handbok, Reading: British Grassland Society, pp. 151–175.
- Pérez, E., M. Soca., L. Díaz. y M. Corzo. 2008. Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. Pastos y Forrajes. 31: 165 – 170.
- Pérez, O. J., J. Guillen R., R. Hernández S. y P. A. Martínez H. 2005. Uso de las leguminosas arbustivas en los sistemas de producción animal en el trópico. R. Electron. Vet. REDVET–ISSN 1695-7504. VI:1–18.
- Pérez-Hernández, P. y P. Díaz-Rivera. 2008. Ganadería bovina de doble propósito: Problemática y perspectivas hacia un desarrollo sustentable. En, Desarrollo Sostenible de la ganadería doble propósito. C González-Stagnaro, N Madrid Bury, E Soto-Belloso (eds). Fundación GIRARZ. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo-Venezuela. Cap. V: 58-69.
- Pezo, D. y M. Ibrahim. 1999. Sistemas silvopastoriles. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 276 p
- Provenza, F. D. 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. Journal of Range Management. 48: 1 – 17.
- Rosales, M. M. 1999. Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. 3: 145 – 159
- SAGARPA. 2009. Situación actual de la producción de leche en México. <http://www.sagarpa.gob.mx>. Consultado en febrero 2011.
- SAGARPA. 2010. Situación actual y perspectiva de la producción de carne en México. <http://www.sagarpa.gob.mx>. Consultado en Febrero 2011.
- SAS. 2010. Statistical Analysis System, Enterprise Guide ver. 4.3.0. SAS Institute, Inc. Cary, N.C., USA.

- Schütz, K.R., R. Rogers, A., R. Cox, N., B. Tucker, C. 2009. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: Shade use, behavior, and body temperature. *Applied of Animal Behaviuor Science*. 116: 28–34.
- STATISTICA. 2011. STATISTICA Inc. Versión 6. Saf Soft Inc. 1984–2003. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Suárez, J. 2003. Modelo general y procedimientos de apoyo a la toma de decisiones para desarrollar la Gestión de la Tecnología y de la Innovación en empresas ganaderas cubanas. *Pastos y Forrajes*. 27: 4 – 11.
- Torres, F. 1983. Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems*. 1: 131 – 163.
- Velásquez, V. R. A. 2005. Selectividad animal de herbáceas y leñosas en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua. Tesis de magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 77p.
- Velásquez M. M., S. López O., O. Hernández M., P. Díaz R., J. Gallegos S. y S. Pérez E. 2009. Composición de la dieta de terneras en un sitio con diversidad de especies nativas utilizando modelos sociales. In: Memoria del X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. SOMAS y Universidad Autónoma de Chiapas. 11 al 14 de Noviembre. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.
- Villanueva, C., M. Ibrahim, C. Harvey. y H. Esquivel. 2003. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 10 (9): 39 – 40.
- Webster, A. J. F. 1991. Metabolic responses of farm animals to high temperature. *Animal husbandry in warm climates*. 55: 15 – 22.
- Wheelock, J., B., S. R Sanders., L. G. Shwartz., L. Hernandez., S. H. Baker., J. W. McFadden., L. J. Odens., R. Burgos., S. R. Hartman, R. M. Johnson., B. E. Jones., R. J. Collier., Rhoads R. P., M. J. VanBaale. and L H. Baumgard. 2006. Effects of heat stress and rbST on production parameters and glucose homeostasis. *Journal of Dairy Science*. 89: 290 – 291.