



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

ESCUELA DE POSGRADO

**EFFECTO DE LA COBERTURA ARBÓREA EN POTREROS Y EL ESTADO DE
LACTANCIA, SOBRE EL COMPORTAMIENTO DIURNO DE GANADO DOBLE
PROPÓSITO MANEJADO BAJO PASTOREO EN EL TRÓPICO SUB-HÚMEDO**

por

Francisco Javier García Cruz

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

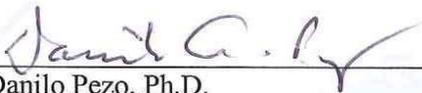
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2010

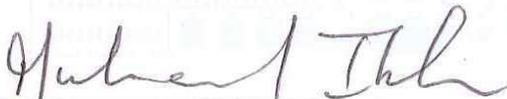
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

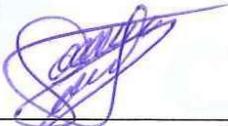
FIRMANTES:



Danilo Pezo, Ph.D.
Consejero Principal

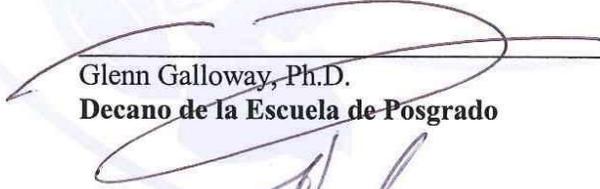


Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

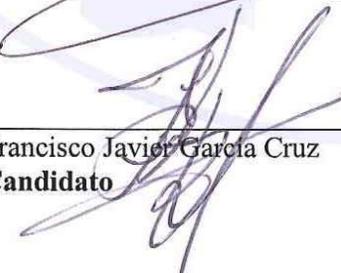


Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Christina Skarpe, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Francisco Javier Garcia Cruz
Candidato

DEDICATORIA

Especialmente a mi mamá Hildred, por haberme regalado su tenacidad y el espíritu de lucha; todas las cosas que desde niño me enseñaste me han convertido en la persona que ahora soy.

A todos los miembros de la familia Cruz Bolaños, quien Dios me la ha otorgado como un valioso y precioso tesoro: a mi hermana Carol, mis tías y tíos, mis primas y primos. También hago manifiesto mi sincero agradecimiento a mi novia Eyleen por apoyarme en aquellos momentos cuando estuve a punto de derrumbarme, de igual manera a la familia Angulo Camacho quien me acogió como hijo en Costa Rica. A todos y cada uno los guardó siempre en mi corazón, aunque me excuso por haberme ausentado y no poder compartir el tiempo con ustedes.

Este sueño me alejó aun mucho más de Eddy Armando y del abuelo Cato, ya que ahora que vuelvo a casa no los encuentro para abrazarlos, pero estoy seguro que algún día todos nos volveremos a ver y reiremos como muchas veces lo hicimos.

Al doctor Danilo Pezo, quién depositó su confianza en mí y además me brindó la oportunidad de realizar mis estudios en CATIE, ha sido un placer tenerlo como consejero en esta tesis y más aún tenerlo como amigo.

A los compañeras y compañeros de la promoción “2009-2010” de CATIE, jamás olvidaré el tiempo que pasamos, sufrimos y reímos juntos. Esta experiencia me marcó para toda la vida, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mí querida patria Guatemala.

Al programa SILPAS, quien permitió la realización de este sueño.

Al doctor Danilo por sus valiosos aportes y por guiar la investigación por el rumbo correcto. De igual manera al doctor Fernando Casanoves quien además de brindarme su apoyo en los momentos críticos de la investigación, también aportó su precisa contribución estadística. Al doctor Muhammad quien contribuyó con sus sabios consejos durante toda la investigación. A la doctora Cristina Skarpe quien también realizó valiosos aportes. Muchas gracias a cada uno por el tiempo dedicado a este proyecto.

Al pueblo trabajador de Nicaragua, especialmente a: Martín Mena, Giorgio Ottineti y a Lilia, Humberto Brenes, Roberto (Trinidad Gutiérrez), Wilfredo Aguilar, Marcelino Ugarte; personas nobles y bondadosas quienes además de permitir la realización de la investigación, también compartieron su amistad y confianza. No olvidaré su generosidad.

A la familia nicaragüense García Rosales, especialmente a doña Paulina con la que cosechamos esa linda amistad, estoy seguro que volveré a su casa para disfrutar de un sabroso pinolillo.

A mis compañeros Flor María, Ditter y Nelson con quienes tuve la oportunidad de compartir gratos momentos, sé que esta amistad es para siempre. Dios los acompañe y bendiga por los caminos donde vayan.

BIOGRAFÍA

El autor nació en la cuna del imperio maya –El Petén, tierra bañada por las aguas del lago *Chaltun Ha*. Esta tierra le permitió que iniciara su preparación en la gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Centro Universitario de Petén, donde culminó la carrera de Ingeniería Forestal. Ha laborado en las concesiones forestales comunitarias donde conoció y valoró la importancia de los árboles para el hombre. Así también el trabajo le ha favorecido, dándole la oportunidad de trabajar con los campesinos pobres, compartiéndoles los conocimientos y generando proyectos productivos que permitan mejorar su situación económica. En el año 2009 tuvo la oportunidad de ingresar al programa de maestría del CATIE, en la especialidad de Agroforestería Tropical, en donde obtuvo los conocimientos necesarios para iniciar esta etapa de su vida.

CONTENIDO

RESUMEN	X
ABSTRACT	XII
INDICE DE CUADROS	XIV
INDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE FOTOS.....	XVIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio	3
1.1.1 General	3
1.1.2 Específicos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Sistemas silvopastoriles.....	4
2.1.1 Funciones de los árboles dispersos en potreros.....	4
2.1.1.1 Reducción de la temperatura ambiente	4
2.1.1.2 Efectos de la sombra sobre los pastos	5
2.2 El ambiente y el estrés calórico en el ganado.....	6
2.2.1 Índice de Carga Calórica (ICC).....	6
2.2.1.1 Índice de carga calórica acumulada (ICCA)	7
2.2.2 Índice de temperatura-humedad	7
2.3 Indicadores de estrés calórico.....	8
2.3.1 Temperatura corporal	8
2.3.2 Tasa de respiración.....	9
2.3.3 Efecto de las variables ambientales sobre la disipación de calor en el ganado.....	10
2.4 Efectos del estrés calórico sobre la productividad y comportamiento del ganado.	11
2.4.1 Producción de leche.....	11
2.4.2 Ganancia de peso.....	11
2.4.3 Comportamiento animal.....	11

2.4.4	Métodos usados para el registro de la conducta animal	13
2.4.4.1	Muestreo instantáneo tipo escaneo (<i>instantaneous and scan sampling</i>).....	13
2.4.4.2	Muestreo focal.....	14
2.5	BIBLIOGRAFÍA.....	15
3	ARTICULO 1. EFECTO DE TRES NIVELES DE COBERTURA ARBÓREA Y EL ESTADO DE LACTANCIA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE GANADO <i>Bos taurus</i> × <i>Bos indicus</i>, MANEJADOS BAJO PASTOREO EN EL TRÓPICO SUB-HÚMEDO.....	19
3.1	INTRODUCCIÓN.....	19
3.2	OBJETIVOS.....	19
3.2.1	Objetivo general	19
3.2.2	Objetivos Específicos	19
3.3	MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.3.1	Descripción del área de estudio.....	20
3.3.2	Selección de fincas y potreros donde se desarrolló el estudio	20
3.3.2.1	Delimitación de los potreros.....	21
3.3.2.2	Determinación de los niveles de cobertura arbórea.....	22
3.3.3	Caracterización de los potreros	22
3.3.3.1	Pasturas predominantes	22
3.3.4	Selección de los animales.....	22
3.3.5	Medición de la conducta.....	23
3.3.5.1	Registro de la conducta animal	23
3.3.6	Variables ambientales.....	23
3.3.6.1	Índice Temperatura-Humedad (ITH)	25
3.3.6.2	Desplazamiento del ganado.....	26
3.3.7	Diseño experimental.....	26
3.3.8	Análisis de la información.....	27
3.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.4.1	Condiciones ambientales durante el experimento	28
3.4.2	Distribución de las actividades.....	30
3.4.3	Pastoreo	32

3.4.3.1	Efecto de la época del año y la hora del día	32
3.4.3.2	Efecto de la interacción época × cobertura arbórea	34
3.4.3.3	Incidencia de los factores ambientales en el pastoreo	35
3.4.4	Rumia	37
3.4.4.1	Efecto de la época.....	37
3.4.4.2	Incidencia del clima en el tiempo dedicado la rumia	38
3.4.5	Parada	41
3.4.5.1	Efecto del clima en la actividad parado.....	41
3.4.6	Caminando.....	41
3.4.6.1	Efecto del estado de lactancia y la época del año sobre el tiempo dedicado a caminar	41
3.4.6.2	Efecto de la cobertura arbórea y la época del año sobre la actividad caminar	42
3.4.6.3	Efecto de la época del año y el período del día sobre la actividad caminar	43
3.4.6.4	Desplazamiento del ganado.....	44
3.4.7	Acostada	47
3.4.7.1	Efecto de la época del año y el nivel de cobertura	47
3.4.7.2	Relación de la actividad acostada con los factores ambientales	49
3.5	BIBLIOGRAFÍA	50
4	ARTICULO 2. FRECUENCIA RESPIRATORIA Y TEMPERATURA RECTAL EN GANADO DOBLE PROPÓSITO MANEJADO BAJO PASTOREO EN POTREROS CON DIFERENTE NIVEL DE COBERTURA ARBÓREA, EN EL TRÓPICO SUB-HÚMEDO	57
4.1	INTRODUCCIÓN.....	57
4.2	OBJETIVOS.....	58
4.2.1	Objetivo general	58
4.2.2	Objetivos específicos.....	58
4.3	MATERIALES Y MÉTODOS	59
4.3.1	Parámetros fisiológicos del ganado.....	59
4.3.1.1	Temperatura rectal (TR).....	59
4.3.2	Frecuencia respiratoria (FR).....	59
4.3.2	Variables ambientales.....	59

4.3.3	Medición de temperatura y humedad relativa bajo los árboles	59
4.4	Análisis estadístico	60
4.4.1	Prueba de normalidad	60
4.4.2	Diseño experimental	60
4.5	Análisis de la información	61
4.6	RESULTADOS	62
4.6.1	Temperatura rectal	62
4.6.1.1	Efecto de la hora del día	62
4.6.1.2	Interacción época × nivel de cobertura	63
4.6.1.3	Efecto del ambiente	64
4.6.2	Frecuencia respiratoria	66
4.6.2.1	Efecto de la época	66
4.6.2.2	Efecto de la hora del día	68
4.6.2.3	Efecto de la cobertura arbórea	69
4.6.3	El ambiente y el balance térmico en el ganado	70
4.6.3.1	Efecto del ambiente sobre los parámetros fisiológicos	70
4.6.4	Los árboles como agentes reductores del estrés calórico	72
4.6.4.1	Efecto de los árboles sobre las variables ambientales	72
4.6.4.2	Especies de sombra preferidas por el ganado	73
4.6.4.3	Efecto de los grupos fenológicos	76
4.6.4.4	Preferencia del ganado por la sombra de los árboles para permanecer acostada y para realizar la rumia	80
4.6.5	Manejo de la finca	82
4.7	BIBLIOGRAFÍA	83
4.8	CONCLUSIONES	86
4.9	RECOMENDACIONES	87

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes niveles de cobertura arbórea (<8%, 10-17%, >23%) en potreros, el estado de lactancia (menos de 3 meses y más de 5 meses) y la época del año (seca y lluviosa) sobre el tiempo dedicado por vacas doble propósito a cinco actividades (pastoreo, rumia, estar parada, caminar y estar acostada); así como sobre indicadores fisiológicos del estrés calórico como son la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR). Las vacas utilizadas correspondieron a cruces *Bos taurus* × *Bos indicus*. Se utilizó un diseño experimental con estructura de parcelas sub-divididas en el tiempo, donde el arreglo factorial de época del año × nivel de cobertura fue la parcela principal, el estado de lactancia la sub-parcela y el período del día la sub-subparcela.

El experimento se desarrolló en el Municipio de Belén (Rivas, Nicaragua), con un clima sub-húmedo, con un período seco de cinco meses (enero a mayo). El ensayo cubrió parte de la época seca (febrero a mayo) e inicios de la época lluviosa (junio a agosto). La temperatura promedio y el error estándar fueron $29,6 \pm 0,05$ y $28,9 \pm 0,04$ durante las épocas seca y de lluvias, respectivamente. Los valores correspondientes para humedad relativa fueron $62,9 \pm 0,18$ y $84,3 \pm 0,17$. Con base a ellos se estimó el Índice de Temperatura-Humedad (ITH), el mismo que fue mayor en la época de lluvias.

El pastoreo fue la actividad predominante en horas diurnas, con 55 y 61% del tiempo en las épocas seca y de lluvias, respectivamente. El tiempo dedicado a pastorear fue afectado ($p=0,0159$) por la interacción época del año × cobertura arbórea. En la época seca, las vacas pastorearon menos tiempo en potreros con menor cobertura arbórea (< 8%); en cambio, en la época de lluvias no se detectaron diferencias debidas a la cobertura arbórea. Por otro lado, en el período seco las vacas dedicaron menos tiempo a pastorear en las primeras horas de ingreso a los potreros, posiblemente debido a que en esa época se les proveyó forraje en el corral. El ITH fue el parámetro climático que influyó más sobre la actividad de pastoreo en ambas épocas. Se estimó que el 50% de las vacas pastoreaba cuando el ITH fue de 92,5, y la probabilidad de este evento disminuyó un 3% por cada unidad de incremento en el ITH.

El estado de lactancia sólo afectó el tiempo dedicado a caminar y la distancia recorrida por las vacas ($9,3 \pm 2,5$ y $15,7 \pm 2,40$ m, para vacas al inicio y final de la lactancia, respectivamente). En contraste, en el período seco, se movilizaron más las vacas que se encontraban al inicio de la lactancia.

Las condiciones climáticas también afectaron los parámetros fisiológicos usados como indicadores de estrés calórico, registrándose mayor TR y FR en la época de lluvias. La FR mostró una relación lineal positiva con el ITH, lo que confirma la relevancia de usar este parámetro que integra los efectos de la temperatura y la humedad relativa, pues ambos en conjunto inciden sobre el estrés calórico en los animales.

La temperatura bajo la copa de los árboles se redujo en promedio en $1,49$ °C ($p < 0,0001$); en cambio la humedad relativa se incrementó hasta en 4,5 unidades en por ciento ($p < 0,0001$). Sin embargo, la magnitud de estos efectos varió con las especies de árboles y la distribución de los mismos. Las especies con más alto índice de área foliar (LAI) mostraron un mayor efecto reductor de la temperatura bajo su copa. Así mismo, las especies perennifolias mostraron un mayor efecto reductor de la temperatura bajo su copa que las caducifolias ($-2,16$ y $-0,77$, respectivamente), pero un mayor incremento en la humedad relativa ($7,8$ y $2,2$ unidades en por ciento, respectivamente). Cuando se combinaron los factores temperatura y humedad relativa en el ITH no se encontró diferencias entre ambos grupos fenológicos ($p = 0,1413$). El análisis de los valores de ITH para las diferentes especies arbóreas sugiere que *Gliricidia sepium*, *Coccoloba caracasana*, y *Enterolobium cyclocarpum* contribuyen de mejor manera al confort de los animales en la época seca, mientras que *Mangifera indica*, *Crescentia alata* y *Cordia dentata* lo hacen en la época de lluvias.

Este estudio también mostró que $29,7$ °C de temperatura es el umbral para la búsqueda de sombra en animales *B.taurus* × *B. indicus*, mayormente para rumiar. Por otro lado cuando la velocidad del viento se aproxima a 10 m/s, prácticamente todas las vacas tienden a buscar la protección de los árboles y dejan de pastorear.

Palabras clave: Comportamiento animal; estrés calórico; árboles; cubierta de copas; sistemas silvopastoriles; ganado doble propósito; zona tropical; Rivas, Nicaragua

ABSTRACT

The effect of different levels of tree cover (<8%, 10-17%, >23%) in pastures, the stage of lactation (<3 and >5 months), and season (dry and rainy) on the time spent by dual purpose cows to five activities (grazing, rumination, standing, walking and lay down), as well as on physiological indicators of heat stress such as rectal temperature (TR) and respiration rate (FR) were studied. For such purpose, crossbred cows (*Bos taurus* × *Bos indicus*) were used as experimental animals. A split-split plot in time design was used in the study, with the factorial arrangement of tree cover and season as the main plot, the state of lactation as sub-plots, and the time within the day as the sub-sub-plot.

The experiment was carried out in Belen Municipality (Rivas, Nicaragua), representative of a sub-humid ecosystem, with a five-months long dry season (January-May). The experiment was carried out during part of the dry season (February-May) and the beginning of the rainy season (June-August). The mean and standard error for ambient temperature were $29,6 \pm 0,05$ and $28,9 \pm 0,04$ °C, for the dry and rainy season, respectively. The corresponding values for relative humidity were $62,9 \pm 0,18$ and $84,3 \pm 0,17$ %. The Temperature-Humidity Index (ITH) was estimated based on those attributes, and was higher for the rainy season.

Grazing/browsing was the main activity during the day, with 55 and 61% of the time spent by cows in the paddocks, for the dry and rainy season, respectively. The time dedicated to grazing was significantly affected by the interactions season × tree cover ($p= 0,0089$) and season × period within the day ($p= 0,0159$). During the dry season, cows spent less time grazing in those paddocks with the lowest tree canopy cover (< 8%); whereas during the rainy season the tree cover did not affect such parameter. Also, during the dry season, cows spent less time grazing in the first two hours after animals enter to the paddocks, probably because they received complementary forages in corrals. THI was the climatic parameter that influenced the most the time spent grazing in both season. Fifty percent of the cows were grazing when the THI was 92,5 and the probability of such event to occur declined by 3 unit of percentage per unit increase in THI.

The stage of lactation only affected the time spent walking and the distance walked ($9,3 \pm 2,5$ y $15,7 \pm 2,40$ m, for the early and late lactation, respectively). On the other hand, during the dry season cows in early lactation walked more than the ones in late lactation; whereas during the rainy season all cows walked less, regardless of the stage of lactation, probably because there were no limitations in pasture availability during that period of the year.

Climatic conditions also affected those physiological parameters used as indicators of heat stress, with higher RT and RR during the rainy season, RR was associated positively and significantly with THI, confirming the relevance of such index as an integrator of ambient temperature and relative humidity, as both together have an effect on heat stress in animals.

Temperature under the tree canopy decreased in average by $1,49$ °C ($p < 0,0001$); whereas relative humidity increased by $4,5$ percent units ($p < 0,0001$). However, the magnitude of those changes varied with tree species and their spatial distribution. In general, those species with higher leaf area index (LAI) showed a greater reducing effect of temperature under their canopy. Also, ever-green trees had a greater cooling effect than the non-evergreen ($-2,16$ and $-0,77$ °C, respectively); but showed higher relative humidity ($+ 7,8$ and $2,2$ percent units, respectively) under the canopy. When both –ambient temperature and relative humidity were combined in the THI, no differences between evergreen and non-evergreen species were detected ($p = 0,1413$). However, the analysis of THI for individual species suggested that *Gliricidia sepium*, *Coccoloba caracasana* and *Enterolobium cyclocarpum* are more effective creating conditions for animal comfort during the dry season, whereas *Mangifera indica*, *Crescentia alata* and *Cordia dentata* play that role during the rainy season.

This study also showed that 30 °C is the threshold temperature for *B. taurus* × *B. indicus* cows to look for shade, mainly for rumination. On the other hand, when wind velocity approaches 10 m/s, all cows tend to look for protection under the trees and stop grazing.

Keywords: Animal Behavior; Heat Stress; Trees; Canopy; Silvopastoral Systems; Dual Purpose Cattle; Tropical Zones; Rivas, Nicaragua.

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tabla de frecuencia para la variable ITH, agrupado en tres períodos del día, para la época seca y lluviosa.....	26
Cuadro 2. Promedio \pm error estándar, para las variables temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), radiación solar (W/m^2) y velocidad del viento (m/s), en función de la época.....	28
Cuadro 3. Estadística descriptiva para el ITH en tres intervalos durante el día, para dos épocas del año.....	29
Cuadro 4. Promedio (%) de las observaciones \pm EE, para cinco actividades de conducta que el ganado efectuó, en función de la época del año.....	30
Cuadro 5. Resultados del análisis de modelo logístico que incluye las variables ITH, velocidad del viento, punto de rocío y radiación solar y sus efectos sobre el tiempo dedicado a pastorear, en función de la época del año.....	36
Cuadro 6. Prueba de significancia para modelos logísticos con la variable a) humedad relativa, b) velocidad del viento, c) Punto de rocío, d) Radiación solar; sobre el tiempo dedicado a pastorear, para dos épocas del año.	37
Cuadro 7. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la rumia, el ITH, la velocidad del viento, punto de rocío y la radiación solar para dos épocas: (a) seca y (b) lluviosa.	39
Cuadro 8. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la actividad parado, el ITH, la velocidad del viento y la radiación solar durante la época seca.	41
Cuadro 9. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la actividad acostado, el ITH, la velocidad del viento y la radiación solar para la época seca y lluviosa	49
Cuadro 10. Estadística descriptiva para la TR ($^{\circ}\text{C}$) de vacas doble propósito manejadas bajo pastoreo en tres períodos el día; durante las épocas seca y lluviosa.....	62
Cuadro 11. Correlación de Pearson entre la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), velocidad del viento (m/s), radiación solar (W/m^2), ITH, temperatura rectal –TR ($^{\circ}\text{C}$), frecuencia respiratoria –FR (resp/min) para (a) época seca, y (b) época lluviosa. Los coeficientes de correlación se muestran	

debajo de la diagonal formada por el número uno (1,0) y las probabilidades se presentan por encima de dicha diagonal.....	66
Cuadro 12. Diferencias en temperatura ambiente, humedad relativa, punto de rocío y temperatura del bulbo húmedo; fuera y bajo la sombra de los árboles preferidos por el ganado.....	73
Cuadro 13. Incremento (+) o descenso (-) para: temperatura (temp °C), humedad relativa, punto de rocío, y bulbo húmedo; para la posición “bajo copa” de 11 especies arbóreas.....	74
Cuadro 14. Promedio de la temperatura fuera y bajo la copa de 11 especies arbóreas, para los meses de mayo, junio y julio.....	75
Cuadro 15. ITH promedio (°C) bajo copa para la interacción época×especie.....	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de investigación en el municipio de Belén, Rivas, Nicaragua.....	21
Figura 2. Esquema del tiempo muestreado en el día, y la muestra tomada en una hora, para la variable comportamiento animal.....	24
Figura 3. Promedios de temperatura (°C), humedad relativa (%) e ITH por día, para la época seca y lluviosa, en Belén (Rivas, Nicaragua).	29
Figura 4. Distribución del tiempo diurno dedicado a cinco actividades (pastoreo/ramoneo, rumia, parada, acostada y en movimiento) en función de las interacciones: a) la época × nivel de cobertura b) lactancia × nivel de cobertura c) época × período del día.....	31
Figura 5. Interacción entre el factor estación del año × hora del día para el tiempo promedio que la vaca dedica al pastoreo durante el día.	32
Figura 6. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura arbórea sobre el tiempo que la vaca dedica al pastoreo.	34
Figura 7. Probabilidad (p) que el ganado pastoree en función de a) la humedad relativa en la época seca y (b) del ITH en la época lluviosa.	37
Figura 8. Tiempo diurno (%) dedicado a la rumia en función de la época del año.....	38
Figura 9. Gráfico biplot para la relación entre el ITH con la actividad de pastoreo y rumia.	40
Figura 10. Interacción entre la época del año × estado lactante para el tiempo dedicado a caminar.	42
Figura 11. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura sobre el tiempo (%) dedicado a caminar.	43
Figura 12. Efecto de la interacción época del año × período del día sobre el tiempo (%) dedicado a caminar.	44
Figura 13. Distancia promedio recorrida (m) por el ganado en función del estadio de lactancia (inicio y final).	45
Figura 14. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura arbórea sobre la distancia recorrida (m), por el ganado en pastoreo	46

Figura 15. Efecto de la interacción época del año × período del día sobre la distancia recorrida por el ganado en pastoreo.....	47
Figura 16. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura sobre el tiempo que las vacas permanecen acostadas en horas diurnas	48
Figura 17. Temperatura rectal promedio (°C) del ganado lactante en los tres períodos de observación a lo largo del día	63
Figura 18. Interacción época × nivel de cobertura para la variable temperatura rectal (°C) en el ganado lactante manejado bajo pastoreo en la época seca y lluviosa.....	64
Figura 19. Regresión lineal entre las variables temperatura rectal y el ITH, para cruces de ganado <i>Bos taurus</i> × <i>Bos indicus</i>	65
Figura 20. Frecuencia respiratoria promedio (resp/min) del ganado lactante en función de la época del año.	67
Figura 21. Frecuencia respiratoria promedio (resp/min) para el ganado lactante, en función del período del día	68
Figura 22. Frecuencia respiratoria (resp/min), del ganado lactante en función del nivel de cobertura arbórea en los potreros.....	69
Figura 23. Gráfico <i>biplot</i> para la relación espacial entre la temperatura rectal TR (°C) y la frecuencia respiratoria FR (resp/min); con la temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), radiación solar (W/m ²), velocidad del viento (m/s) e ITH en dos épocas; (a) seca, y (b) lluviosa.	71
Figura 24. Relación entre la diferencia en la temperaturas a pleno sol y bajo la copa vs. el índice de área foliar para <i>Albizia saman</i> (Albsam), <i>Cocoloba caracasana</i> (Coccar), <i>Crescentia alata</i> (Creala), <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Entcyc) y <i>Guazuma ulmifolia</i> (Guaulm).....	76
Figura 25. Reducción de la temperatura ambiente (°C) en las plantas caducifolias y perennifolias evaluadas en el estudio.	77
Figura 26. Incremento de la Humedad Relativa (%) bajo la copa en las plantas caducifolias y perennifolias evaluadas en el estudio.	78
Figura 27. Comparación del ITH bajo la copa de especies perennifolias y caducifolias evaluadas en el estudio	80

Figura 28. Probabilidad (p) que la vaca permanezca acostada bajo la sombra en función de la temperatura ambiente..... 81

Figura 29. Probabilidad (p) que las vacas estén bajo la sombra rumiando en función de la temperatura ambiente..... 81

Figura 30. Probabilidad (p) que la vaca permanezca parada bajo la sombra en función de la velocidad del viento 82

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 Detalles de la estación meteorológica portátil utilizada en el experimento. 25

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANDEVA	Análisis de varianza
FR	Frecuencia respiratoria
HR	Humedad relativa
ICC	Índice de carga calórica
ICCA	Índice de carga calórica acumulada
INIFOM	Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal
ITH	Índice de temperatura-humedad
NNP	Nitrógeno no proteico
PPNA	Productividad primaria neta aérea
RAFA	Radiación fotosintéticamente activa
RUE	Eficiencia en el uso de la radiación
SILPAS	Trees as Drivers of Silvopastoral System Function in the Neotropics Project
TR	Temperatura rectal
UA	Unidades animal

1 INTRODUCCIÓN

Los árboles dispersos y las cercas vivas son las opciones silvopastoriles empleadas tradicionalmente por los productores ganaderos en Centro América. Los productores dejan algunos árboles en los potreros por los beneficios que estos brindan; entre ellos se destaca la oferta de alimento en la estación seca, las mejoras en las propiedades físicas y la fertilidad del suelo (Schroth y Sinclair 2003), así como la sombra para los animales. Adicionalmente hay productos tangibles tales como leña, madera, follaje y frutos (Camero *et al.* 2001).

Pezo e Ibrahim (1999) también mencionan entre los beneficios, que bajo la copa de los árboles se reduce la temperatura ambiental entre 2-3 °C. Del mismo modo, Betancourt (2003) y Esquivel (2007) encontraron que la reducción de la temperatura bajo la sombra de los árboles tuvo implicaciones directas en la productividad del ganado, al proveer mayor confort al ganado, especialmente en las horas más calurosas del día. La sombra también puede atenuar el efecto de la radiación solar sobre el ganado (Esquivel 2007) y sobre las pasturas, lo que puede resultar en la mejora de la disponibilidad y calidad de estas, si las mismas son capaces de tolerar la sombra (Ibrahim y Camargo 2001).

El ganado vacuno pertenece a la categoría de los animales homeotermos, los cuales se mantienen cómodos en un intervalo estrecho de temperatura ambiental, el cual se conoce como “zona de termoneutralidad”, de “homeotemperatura” o “de confort”. Nardone *et al.* (2006) mencionan que en dicha zona, el ganado presenta un gasto energético mínimo para el funcionamiento y desempeño de las actividades fisiológicas. En cambio, si los animales se encuentran fuera de esa zona y enfrentan condiciones de estrés calórico, tienen que hacer esfuerzos para regular sus parámetros fisiológicos, lo cual representa no sólo una sensación de incomodidad para el animal, sino que este tiene además gastos de energía debidos a la respiración/transpiración acelerada e incluso el jadeo (Hahn 1999); lo que se traduce en la reducción de la energía disponible para los procesos productivos como son el crecimiento y la producción de leche (Fuquay 1981). Todo esto, resulta frecuentemente en pérdidas económicas para los productores.

Singh *et al.* (2008) destacan que valores de temperatura ambiental por encima de los 32°C producen fallas en los mecanismos de termorregulación en el ganado cebuino (*Bos indicus*), incrementándose la temperatura rectal y la tasa respiratoria; pero también hay una disminución en el consumo de alimentos. En el ganado lechero esto tiene implicaciones sobre el nivel de producción de leche e incluso en su composición, mientras que en el ganado de carne, resulta en retardo en el crecimiento debido a una reducción en la ganancia de peso vivo, y en casos extremos a la pérdida de peso. En las razas europeas (*Bos taurus*), el límite superior de la zona de termoneutralidad está entre 21 y 27 °C (Pezo e Ibrahim 1999; Singh *et al.* 2008), mientras que para los cruces de razas europeas × cebuinas dicho límite es intermedio.

La tolerancia del ganado al estrés calórico es función de las características propias del animal tales como el genotipo y el estado fisiológico, pero también de factores climáticos tales como las temperaturas extremas, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento (Gaughan *et al.* 2008). Adicionalmente a los factores climatológicos citados, Aguilar *et al.* (2005) indican que debe considerarse el efecto de la precipitación en la producción; así como el de factores cíclicos como es el caso del Fenómeno del Niño.

En las zonas templadas y subtropicales se han realizado abundantes investigaciones sobre el efecto de las condiciones ambientales sobre el comportamiento y productividad del ganado, principalmente lechero. No obstante, la mayoría de estudios se enfocan en cómo prevenir el estrés calórico usando sombra artificial provista por estructuras diseñadas para tal propósito, tales como las mallas de sarán, o el enfriamiento usando aire acondicionado. En el caso de los trópicos se ha propuesto que los árboles pueden sustituir a la sombra artificial, dado que bajo su copa se crean condiciones microambientales favorables de atenuación de los excesos de temperatura (Restrepo 2002).

La presente investigación desarrollada en el Municipio de Belén (Rivas, Nicaragua), se centra en determinar las relaciones entre árboles-ganado-ambiente, y sus implicaciones sobre la conducta diurna de animales manejados bajo pastoreo y algunos parámetros fisiológicos en vacas de doble propósito en diferentes estadios de lactancia (al inicio y final de la lactancia). El estudio también consideró el efecto de la estación del año (período seco e inicios del periodo de lluvias) y el período del día.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 General

Evaluar el efecto de la cobertura arbórea en potreros sobre el comportamiento diurno y los parámetros fisiológicos en vacas doble propósito manejadas bajo pastoreo, en diferentes momentos de la lactancia y épocas del año.

1.1.2 Específicos

- Evaluar cómo afecta el nivel de cobertura arbórea en los potreros la conducta bajo pastoreo en vacas que se encuentran en diferentes estadios fisiológicos (al inicio y final de la lactancia), tanto en la época seca como lluviosa.
- Evaluar la incidencia de la temperatura ambiental, la humedad relativa y la velocidad del viento, sobre la temperatura rectal y tasa respiratoria en vacas que se encuentran en diferentes estadios fisiológicos.

1.2 Hipótesis

Los niveles de sombra y el estado de lactancia de las vacas tienen influencia sobre el comportamiento diurno de vacas manejadas bajo pastoreo. El efecto de estos factores varía con la época del año.

El nivel de cobertura arbórea en los potreros y el estadio fisiológico de las vacas doble propósito afectan los parámetros fisiológicos de estrés calórico como son la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra a las leñosas perennes (árboles y arbustos), interactuando con las forrajeras herbáceas y los animales; y todos los componentes están bajo un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim 1999). El componente leñoso en las fincas ganaderas le brinda protección al ganado y a los forrajes contra las inclemencias ambientales (temperaturas extremas, viento fuerte); y aporta nutrientes a la dieta del animal y al suelo, entre otros beneficios (Pezo e Ibrahim 1999; Esquivel 2007). Por otro lado, Camero *et al.* (2001) mencionan que si las leñosas son leguminosas pueden ayudar además a incrementar la productividad animal a través de la provisión de follaje con alto valor proteico.

2.1.1 Funciones de los árboles dispersos en potreros

Los árboles dispersos en los potreros ayudan a reducir la radiación solar incidente en el estrato herbáceo (Blackshaw y Blackshaw 1994). En Costa Rica, Esquivel (2007) encontró que especies como *Enterolobium cyclocarpum* y *Guazuma ulmifolia*, reducen la cantidad de energía solar transmitida en 22 y 34% respectivamente, lo cual puede incidir en una menor disponibilidad de biomasa de la pastura bajo la copa de estas especies, llegando incluso a la predominancia del suelo desnudo bajo la copa de *E. cyclocarpum*. Velásquez (2005), menciona que la cantidad de energía reflectada por *Acrocomia aculeata*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea* es del 50%. Además el mismo autor señala que *E. cyclocarpum* y *G. ulmifolia* son dos de las especies preferidas por el ganado en la estación seca, debido a su palatabilidad y a su disponibilidad en dicho periodo.

2.1.1.1 Reducción de la temperatura ambiente

Blackshaw y Blackshaw (1994) señalan que el ganado se protege de los rayos directos del sol bajo la sombra de los árboles; no obstante, están expuestos a energía solar difusa. Kendall (2006) y Holtung (2008) mencionan que el ganado prefiere la sombra de los árboles a la de estructuras fabricadas, pues estas últimas posiblemente no sustituyan el efecto bloqueador de la copa de los árboles en la interferencia de la radiación solar; por tanto la importancia del dosel de los árboles radica en la disipación de la radiación solar, más que en la reducción de las altas temperaturas.

La sombra permite contrarrestar los factores climáticos que llevan al estrés calórico. Betancourt (2003) trabajando con vacas doble propósito encontró diferencias en la producción de leche debidas a la cobertura arbórea, con una producción promedio de 4,5 litros/vaca/día bajo niveles altos (22-30%), la cual fue un 22% superior a la obtenida en potreros con niveles bajos de cobertura. Resultados similares fueron obtenidos por Abreu (2002) trabajando con vacas de razas lecheras especializadas, quien encontró que la producción de leche fue de 13,9 kg/vaca/día en los potreros que tenían árboles de sombra; mientras que en potreros sin sombra la producción fue de 12,3 kg/vaca/día. La autora atribuye esos resultados a que la temperatura ambiente bajo la sombra de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* fue 1 °C inferior que a pleno sol.

2.1.1.2 Efectos de la sombra sobre los pastos

Andrade e Ibrahim (2001) mencionan que los árboles contribuyen a la reducción de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), la cual disminuye a medida se incrementa el nivel de cobertura arbórea, presentando transmisiones de 98% para el pleno sol, 63% para una zona intermedia de cobertura y 21% bajo sombra plena. Ellos mencionan además que *Brachiaria decumbens* muestra mayor plasticidad en los sitios sombreados, pues la reducción en la producción de forraje bajo la copa de los árboles fue del 23%, mientras que los mismos valores para *Brizantha brizantha* y *Panicum maximum* fueron de 30 y 39%, respectivamente. En cuanto a la eficiencia de uso de la radiación bajo la sombra de los árboles, los mismos autores mencionan que *P. maximum* mostró los valores más altos; lo cual Veenendaal *et al.*(1993) atribuyen a las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de la especie cuando crece en sitios bajo sombra.

Otros efectos de la sombra son la reducción de la evapotranspiración de las pasturas en la estación seca, la minimización en la pérdida de humedad del suelo y en consecuencia el incremento en la biomasa presente bajo el dosel de estos árboles (Velásquez, 2005). Castro *et al.* (2001) evaluaron la concentración de minerales en pastos de acuerdo a tres niveles de sombra (0, 30 y 60%); encontrando que las pasturas bajo sombra mantuvieron altos niveles de P, K, Ca y Mg. Las gramíneas *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria decumbens* presentaron cambios en las concentraciones de estos minerales tanto en el tallo como en las hojas; pero *Panicum maximum* presentó las mayores concentraciones.

2.2 El ambiente y el estrés calórico en el ganado

La zona de termoneutralidad del ganado vacuno, se define como la temperatura ambiental efectiva en la cual el ganado no está bajo estrés provocado por calor o frío; bajo esas condiciones la tasa metabólica es mínima, y el animal no activa sus mecanismos de autorregulación térmica (García y Wright 2007). Los mismos autores advierten que cuando la temperatura ambiente sobrepasa el umbral superior de la zona de termoneutralidad, ocurre un incremento en la tasa de respiración y la frecuencia cardiaca; lo cual incrementa los requerimientos energéticos para el mantenimiento.

García y Wright (2007) mencionan que para mantener la temperatura corporal constante (*thermostasis*), debe existir un balance entre la producción de calor y su disipación. Por su parte Fuquay (1981) indica que el calor metabólico es una de las fuentes de calor, pero también contribuyen el ejercicio y las funciones asociadas con el crecimiento, lactancia, gestación y la ingesta de alimentos.

Fuquay (1981) también señala que el ganado obtiene calor por convección y conducción; y el cuerpo gana calor cuando la temperatura del aire es superior a la temperatura sobre la superficie del cuerpo. De igual manera, Blackshaw y Blackshaw (1994) resaltan que el calor adquirido por radiación solar, también se puede liberar por medio de convección, conducción y evaporación. Fuquay (1981) agrega que la pérdida de calor por radiación es más importante durante la noche.

La pérdida evaporativa de calor se da cuando la temperatura del punto de rocío alrededor del animal, es más baja que la temperatura de la superficie corporal del animal (Fuquay 1981). Así también, Berman (2006), menciona que cuando la pérdida por medio de la piel es insuficiente para mantener la estabilidad térmica, el ganado pierde calor por medio de la respiración, razón por la que la tasa respiratoria se incrementa.

2.2.1 Índice de Carga Calórica (ICC)

El Índice de Carga Calórica (ICC) es un indicador del estrés térmico, el cual se utiliza para evaluar el efecto conjunto de varios factores ambientales sobre el ganado. El ICC se determina por medio de la combinación de la temperatura del globo negro, la humedad relativa y la velocidad del viento (Meat and Livestock Australia 2006).

La estimación del ICC se ha desarrollado por medio de un análisis de regresión múltiple que establece la relación entre la tasa de jadeo y ciertos parámetros climáticos como son la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y temperatura del globo negro (Gaughan *et al.* 2008). Con el ICC, se fijan categorías ambientales de acuerdo a las variables climáticas antes mencionadas. Dichas categorías son por ejemplo normal, cálido, caliente, y muy caliente; y éstas varían de acuerdo al genotipo del ganado.

2.2.1.1 Índice de carga calórica acumulada (ICCA)

Según Gaughan *et al.* (2008) el índice de carga calórica acumulada (ICCA) está determinado por la duración de la exposición a condiciones por sobre el umbral del ICC. El ICCA se define como el tiempo en horas que el animal está expuesto a condiciones ambientales por encima del umbral de ICC. Ahora bien, si bajo esas condiciones el animal es incapaz de disipar el calor ocasionado por los factores ambientales, entonces se incrementará la temperatura corporal del animal.

2.2.2 Índice de temperatura-humedad

Davis Instruments (2006) menciona que el ITH combina los datos de temperatura y la humedad relativa para proveer una idea de cómo se siente el aire caliente. Así, cuando la humedad relativa es baja, la temperatura aparente debería sentirse más baja que la temperatura del aire; ya que la transpiración ayuda a evaporar rápidamente la humedad y así contribuye a enfriar el cuerpo. Por el contrario, cuando la temperatura y la humedad son altas (p.e. el aire está saturado con vapor de agua), la temperatura aparente se siente más alta que la del aire, porque la transpiración se evapora más lentamente.

Bohmanova *et al.* (2007) resaltan que el ITH ha sido desarrollado para monitorear y reducir las pérdidas asociadas al estrés calórico. Así mismo, Huhnke *et al.* (2004) y García y Wright (2007) indican que la combinación de alta humedad y temperaturas extremas pueden inducir a niveles extremos de estrés en los animales. Por otro lado, Bouraoui *et al.* (2002), Bohmanova *et al.* (2007) y Dikmen y Hansen (2009) destacan el uso del ITH como una buena herramienta cuando se desconoce el efecto de la radiación y la velocidad del viento sobre los parámetros fisiológicos del ganado vacuno. No obstante Berman (2006) menciona que el ITH no refleja los efectos reales de las variables ambientales sobre el

ganado, ya que en dicho índice se asigna igual valor a la temperatura y humedad; y además no considera el efecto atenuante del viento.

De acuerdo a Brown-Brandl *et al.* (2005) el ITH para el ganado *Bos taurus* se puede agrupar en cuatro categorías de la siguiente manera: Normal, máximo ITH<74; Alerta, $74 \leq$ máximo ITH<78; Peligroso, $78 \leq$ máximo ITH<84; Emergencia, máximo ITH \geq 84.

2.3 Indicadores de estrés calórico

El estrés calórico resulta en un desplazamiento de las variables fisiológicas del ganado fuera de los rangos normales de homeostasis (Blackshaw y Blackshaw 1994). La temperatura del bulbo seco y humedad relativa altas, combinadas con radiación solar alta y bajo movimiento del aire; pueden llevar a exceder el umbral inferior de estrés calórico, lo cual luego se traduce en pérdidas de la productividad y muchas veces incluso en la muerte del animal (Hahn y Mader 1997).

2.3.1 Temperatura corporal

El incremento en la temperatura rectal suele ser uno de los principales síntomas de la falta de adaptación de los animales a la temperatura ambiente alta; y su incremento se debe a la incapacidad del ganado para disipar el calor a través de la transpiración (Helman 1977).

Djorharjani *et al.* (1992) destacan la importancia del agua en la regulación de la temperatura corporal, especialmente en ambientes con temperaturas altas. Bajo estas condiciones, se pierde una gran cantidad de agua por medio de las excretas en el ganado, principalmente por la orina, pero también por transpiración y respiración. Este problema es aún más serio en el caso de vacas lactantes, las cuales requieren entre 10-15 litros de agua/100 kg de peso (Arronis 2003).

Brown-Brandl *et al.* (2005) encontraron que en la clasificación ITH “Normal”, el ganado bajo sombra presentó una temperatura corporal promedio de 37,7 °C y sin sombra de 38,0 °C. Pero la sombra fue más importante en las categorías “Peligro” y “Emergencia”; ya que bajo esas categorías la temperatura rectal fue en promedio de 38,4 y 38,7 °C; y de 38,5 °C y 38,9 °C con y sin sombra, respectivamente. En todas las categorías de ITH, la sombra contribuyó a mantener más baja la temperatura corporal del ganado.

Por otro lado Abreu (2002) no detectó diferencias en la temperatura rectal entre animales que tuvieron o no acceso a la sombra (38,6 °C) en la época seca. En cambio, durante la época de lluvia, la temperatura rectal fue significativamente más alta en las vacas que no tuvieron acceso a sombra comparado con aquellas que si lo tuvieron (39,2 vs. 38,7 °C).

2.3.2 Tasa de respiración

Gaughan *et al.* (2000) destacan el uso de la tasa respiratoria como indicador del estrés calórico en el ganado; pero ésta variable puede ser sensible a la condición corporal del ganado, la exposición previa al calor; y si la temperatura ambiente se encuentra en aumento o descenso. Además, Brown-Brandl *et al.* (2005) encontraron que la raza, el nivel de sombra y la categoría de ITH tuvieron efectos significativos sobre la tasa respiratoria, encontrando una interacción entre los tratamientos y las categorías ($p < 0.05$).

Brown-Brandl *et al.* (2005) manifiestan que en la categoría de ITH “Normal”, la tasa de respiración del ganado *Bos taurus* con acceso a sombra fue en promedio 69,8 respiraciones/minuto en el período de 12:00 a 18:00h, mientras que sin acceso a sombra fue de 79,5 respiraciones/min. En la categoría “Alerta” la tasa de respiración para el período de 10:00 a 18:00 fue de 80,0 respiraciones/min bajo sombra, y de 94,0 respiraciones/min sin sombra. Bajo la condición “Peligro”, la sombra entre las 10:00 y 19:00 h fue benéfica para los animales, pues la tasa de respiración se redujo de 100,6 a 85,0 resp/min.

Del mismo modo Mader *et al.* (1999) hallaron que la tasa de respiración del ganado con acceso a la sombra estuvo por debajo del valor que presentó el ganado sin acceso a la sombra, hasta aproximadamente las 11:00h; pero luego la tasa de respiración del ganado bajo sombra tendió a estabilizarse, mientras que en el ganado sin sombra, la temperatura continuó aumentando y de igual manera la tasa respiratoria. Por otro lado, Barbosa *et al.* (2004), trabajando con ganado Holstein, no encontraron diferencias en la tasa de respiración por la mañana entre el sol y la sombra; pero durante la tarde los animales expuestos al sol presentaron valores de $94,8 \pm 29,9$ respiraciones/min y a la sombra los valores fueron de $68,2 \pm 18,2$.

Hahn (1999) también reportó que la tasa de respiración en ganado suplementado presentó un reflejo negativo a la temperatura ambiente luego de 3 h de exposición a condiciones

severas. Berman (2006), menciona que la temperatura ambiente y la humedad relativa son variables predictivas para su modelo de tasa de respiración ($r^2 = 0,571$), según la ecuación siguiente:

$$FR = 351,5 - 8,86 * Ta + 0,053 * Ta^2 - 9,36 * HR + 0,054 * HR^2 + 0,17 * Ta * HR$$

donde

FR= Tasa de respiración

Ta= Temperatura ambiente

HR= Humedad relativa

Además Berman (2006), concluyó que la aspersión de agua al ganado expuesto al sol contribuye a reducir el estrés calórico. De lo anterior se puede asegurar que los principales cambios en la tasa respiratoria debidos al estrés calórico se producen después del medio día, debido a la acumulación del calor en el cuerpo.

2.3.3 Efecto de las variables ambientales sobre la disipación de calor en el ganado

Berman (2006) sostiene que en ganado bovino se reduce la pérdida de calor a través de la piel cuando hay un incremento en la temperatura del aire; pero esto está determinado por el nivel de humedad relativa. Además menciona que la disipación de calor por la piel mantiene una estrecha relación con la velocidad del viento, lo cual constituye un componente importante en el balance calórico.

En ambientes con humedad relativa alta –por encima de un 75%–, Berman (2006) encontró que cuando la superficie del cuerpo del animal está expuesta a velocidades del viento de 1,5 m/s, no se detectaron incrementos en la tasa respiratoria. Esto confirma que la respuesta del cuerpo a la humedad relativa no es función sólo de la temperatura del aire, sino también de la velocidad del aire próximo a la superficie del cuerpo y la velocidad del aire circundante.

Del mismo modo, Bohmanova *et al.* (2007) mencionan que el vapor de agua contenido en el aire es importante ya que tiene un impacto en la tasa de pérdida evaporativa a través de la piel y por respiración. Generalmente para determinar el contenido de vapor de agua en el

ambiente, se utiliza la temperatura del bulbo seco, la humedad relativa y la temperatura del punto de rocío.

2.4 Efectos del estrés calórico sobre la productividad y comportamiento del ganado

Los parámetros productivos que responden al estrés provocado por las temperaturas altas son: la producción de leche, la ganancia de peso, el consumo de alimentos, la eficiencia reproductiva. De manera similar, los parámetros fisiológicos son la temperatura rectal, la tasa y volumen respiratorio, la tasa de transpiración y la temperatura rectal (Blackshaw y Blackshaw 1994). Entre los factores que afectan la eficiencia productiva y reproductiva están las temperaturas extremas (Fuquay 1981), el grado de adaptación al estrés calórico (Blackshaw y Blackshaw 1994), el nivel de producción (crecimiento o lactancia) (García y Wright 2007), el estado de preñez, el movimiento del aire alrededor de los animales y la humedad relativa (Berman 2006).

2.4.1 Producción de leche

Mayer *et al.* (1999) señalan que existen factores que confunden los efectos del estrés calórico en la producción de leche, como lo son el estado de lactancia, la raza, la edad del animal, el color del pelaje, la calidad y cantidad de alimento que se le suministra, y el estado de sanidad. Además, destacan que en condiciones de campo es difícil separar el efecto directo del estrés calórico, debido a los factores secundarios tales como la incidencia de enfermedades, baja calidad de las pasturas por causa del manejo, las altas temperaturas o la falta de agua.

2.4.2 Ganancia de peso

En Costa Rica, Restrepo (2002) encontró en la época de lluvias, que la ganancia de peso fue superior en novillas Brahman que se encontraban en potreros con alta cobertura arbórea, presentando incrementos mensuales de 26,7 kg/animal, valor que fue superior en un 14 y 13% a las ganancias de peso obtenidas en potreros con cobertura media y baja, respectivamente.

2.4.3 Comportamiento animal

En las zonas tropicales, las razas europeas regularmente se mantienen de pie cuando están bajo sombra, ya que esta postura les permite que respiren mejor (Helman 1977). También

Frazzi *et al.* (2000) notaron que bajo condiciones de estrés calórico, el ganado vacuno pasa más tiempo de pie a lo largo del día, pues una vaca que está echada es más sensible al estrés calórico (Berman 2006). Con base en estas observaciones Frazzi *et al.* (2000) concluyeron que el tiempo que las vacas pasan echadas está inversamente relacionado con el estrés calórico; y una alta proporción del tiempo que la vaca pasa de pie, está asociado con tasas de respiración alta y temperatura corporal elevada.

Por otro lado, Berman (2006) resalta que los animales parados pueden alcanzar confort cuando la velocidad el viento es alta. Overton *et al.* (2002) mencionan que bajo condiciones climáticas cálidas, el tiempo que la vaca permanece echada depende del tiempo que estuvo parada en la sala de ordeño y en áreas de descanso, así como de la temperatura dentro del corral.

En el caso de los animales manejados bajo pastoreo, en los días calurosos los animales tienden a pastorear en horas con temperatura más fresca, como son el amanecer, atardecer y durante la noche (García y Wright 2007). Del mismo modo Holtung (2008) encontró que la probabilidad de pastoreo fue alta por la mañana, y que ésta presenta una relación inversa con el incremento de la temperatura. Betancourt (2003) encontró diferencias entre dos coberturas arbóreas en el tiempo dedicado al pastoreo, la rumia y el descanso ($p < 0,001$), con más tiempo dedicado al pastoreo cuando hay niveles altos de cobertura arbórea.

Del mismo modo, Nilsen (2006) encontró que el ganado prefirió alimentarse cerca de los árboles por la mañana y al medio día, mostrando preferencia por las copas pequeñas. Pero Abreu (2002) notó que el ganado se mantuvo agrupado bajo árboles con copa densa, como *E. cyclocarpum*; y que probablemente esto se deba a que bajo estos árboles, las condiciones microambientales, son más adecuadas para el ganado.

Holtung (2008), encontró que la proporción del tiempo que el ganado descansa, se incrementa a medida que transcurre el tiempo entre 08:30-16:00; lo cual también es confirmado por Kendall (2006), quien menciona que entre 12:00-14:00 el ganado prefirió estar bajo la sombra para protegerse del calor. Del mismo modo, Nilsen (2006) destaca que el ganado descansa con mayor frecuencia alrededor del medio día, lo cual se asocia con la temperatura ambiente alta.

Kendall (2006) y Holtung (2008) mencionan que el ganado prefiere la sombra de los árboles, antes que la sombra de estructuras fabricadas, las cuales posiblemente no sustituyen el efecto bloqueador de la copa de los árboles en la disipación de la radiación solar. También señalan que la importancia del dosel en los potreros radica en la disipación de la radiación solar, antes que en la reducción de las temperaturas altas.

No obstante, García y Wright (2007) mencionan que los animales modifican su comportamiento para contrarrestar los efectos provocados por las temperaturas extremas; buscando sombra, viento y/o agua que ayuden a disipar el calor. Bajo esas condiciones, el ganado tiende a agruparse y a cambiar la posición del cuerpo, para disminuir la superficie corporal expuesta. Sin embargo, la tendencia a agruparse puede ser una estrategia para reducir la molestia de las moscas, o para posicionarse sobre la sombra limitada (Nienaber y Hahn 2007).

2.4.4 Métodos usados para el registro de la conducta animal

2.4.4.1 Muestreo instantáneo tipo escaneo (*instantaneous and scan sampling*)

En el muestreo instantáneo, se registra la conducta de cada individuo dentro de un grupo de animales, a intervalos regulares de tiempo (Altmann 1974; Martin y Bateson 2007).

Martin y Bateson (2007) destacan que este método restringe al observador a registrar una o unas pocas categorías simples, tales como la presencia o ausencia de una actividad en particular; además el muestreo puede ser sesgado ya que algunos individuos o patrones de conducta, son más llamativos que otros. Sin embargo, este método no es adecuado para registrar eventos discretos de corta duración. Altmann (1974) menciona también que es un muestreo de estados, y no tanto de eventos; y puede ser utilizado para obtener datos de un gran número de miembros de un grupo.

En cuanto al análisis, Martin y Bateson (2007) destacan que el resultado obtenido por el muestreo instantáneo, se expresa como la proporción de todos los individuos muestreados en los cuales fue observado un patrón de conducta determinado. Agregan que los momentos de muestreo deben estar adecuadamente distanciados en el tiempo, de tal forma que se asegure la independencia de las mediciones. Mitlönhner *et al.* (2001) indican que los

períodos cortos de 1, 5, 10 ó 15 minutos son exactos y precisos para la medición de actividades relativas a la conducta tales como “de pie”, “echada” y “comiendo”; pero son menos precisos para actividades tales como “bebiendo” y “caminando” las cuales se deben determinar en períodos más cortos de tiempo.

2.4.4.2 Muestreo focal

En el muestreo focal se observa a uno o más individuos en una unidad de tiempo, registrando sus actividades –asociadas a diferentes categorías de comportamiento (Martin y Bateson 2007). Altmann (1974) indica que en este método se registran todos los eventos y las interacciones de un individuo o un grupo en un período de muestreo determinado.

2.5 BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, MHS, de. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 52, 47 p.
- Aguilar, E; Peterson, TC; Obando, PR; Frutos, R; Retana, JA; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, RM; Santos, AR; Valle, VE; Brunet, M; Aguilar, L; Álvarez, L; Bautista, M; Castañón, C; Herrera, L; Ruano, E; Sinay, JJ; Sánchez, E; Oviedo, GIH; Obed, F; Salgado, JE; Vázquez, JL; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Espinoza, CEO; Núñez, R; Haylock, M; Benavides, H; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research* 110(D23107):1-15.
- Altmann, J. 1974. Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour* 49(3/4):227-267.
- Arronis, D. 2003. Recomendaciones técnicas sobre sistemas intensivos de producción de carne: estabulación, semiestabulación y suplementación estratégica en pastoreo. San José, CR, MAG. 70 p.
- Barbosa, O; Boza, P; dos Santos, G; Sakagushi, E; Ribas, N. 2004. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas de raça Holandesa durante o verão. *Acta Scientiarum - Animal Sciences* 26(1):115-122.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *Journal of Dairy Science* 89(10):3817-3825.
- Betancourt, KE. 2003. Caracterización de sistemas lecheros y efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en la cuenca del río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR, Universidad Nacional de Costa Rica. 62 p.
- Blackshaw, J; Blackshaw, A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2):285-295.
- Bohmanova, J; Misztal, I; Cole, J. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science* 90(4):1947-1956.
- Bouraoui, R; Lahmar, M; Majdoub, A; Djemali, M; Belyea, R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51(6):479-491.

- Brown-Brandl, T; Eigenberg, R; Nienaber, J; Hahn, G. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90(4):451-462.
- Camero, A; Ibrahim, M; Kass, M. 2001. Improving rumen fermentation and milk production with legume-tree fodders in the tropics. *Agroforestry Systems* 51(2):157-166.
- Castro, CTd; Garcia, R; Carvalho, MM; de Freitas, VP. 2001. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30:1959-1968.
- Davis Instrument 2006. Derived variables in Davis weather products:Heat index (en línea). California, US. Consultado 20 Ene. 2010. Disponible en www.davisnet.com/support
- Dikmen, S; Hansen, PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92(1):109-116.
- Djoharjani, T; Sarwiyono; Setyowati, E. 1992. Effect of different ways of provision of water on forage intake, milk production and quality in dairy cows. *In* Ibrahim, M; de Jong, R; van Bruchem, J; Purnomo, H. eds. 1992. *Livestock and Feed Development in the Tropics*. Malang, Indonesia. p.348-350 p.
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 161 p.
- Frazzi, E; Calamari, L; Calegari, F; Stefanini, L. 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *Transactions of the ASAE* 43(2):387-394.
- Fuquay, JW. 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52(1):164-174.
- García, A; Wright, C. 2007. Efectos del medio ambiente sobre los requerimientos nutricionales del ganado en pastoreo (en línea). South Dakota State University, College of Agriculture & Biological Sciences 4037-S:5. Consultado 22 oct. 2009. Disponible en <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4037-S.pdf>
- Gaughan, JB; Holt, SM; Hahn, GL; Mader, TL; Eigenberg, R. 2000. Respiration rate - is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13(Suppl.):S329-S332.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234.
- Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *American Society of Animal Science* 77(Supl. 2):S10-S20.

- Hahn, GL; Mader, TL. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. *In* Proceedings 5th International Livestock Environment Symposium, ASoAE. ed. 1997. St. Joseph, MI. pp. 563-571.
- Helman, MB. 1977. *Ganadería Tropical*. El Ateneo. 2 ed. Buenos Aires, AR 622 p.
- Holtung, H. 2008. Factors attracting cattle to trees: The importance of shade and sub-canopy vegetation. MSc. Thesis. Trondheim, Norway, Norwegian University of Science and Technology. 40 p.
- Huhnke, RL; McCowan, LC; Meraz, GM; Harp, SL; Payton, ME. 2004. Using evaporative cooling to reduce the frequency and duration of elevated temperature-humidity indices in Oklahoma. *Applied Engineering in Agriculture* 20(1):95-99.
- Ibrahim, M; Camargo, J. 2001. ¿Cómo aumentar la regeneración de los árboles maderables en potreros? *Agroforestería en las Américas* 8(32):35-41.
- Kendall, PE; Nielsen, PP; Webster, JR; Verkerk, GA; Littlejohn, RP; Matthews, LR. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science* 103(1/2):148-157.
- Mader, T; Dahlquist, J; Hahn, G; Gaughan, J. 1999. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *Journal of Animal Science* 77(8):2065-2072.
- Martin, P; Bateson, P. 2007. *Measuring behaviour: An introductory guide*. 3 ed. Cambridge, UK, Cambridge University. 176 p.
- Mayer, DG; Davison, TM; McGowan, MR; Young, BA; Matschoss, AL; Hall, AB; Goodwin, PJ; Jonsson, NN; Gaughan, JB. 1999. Extent and economic effect of heat loads on dairy cattle production in Australia. *Australian Veterinary Journal* 77(12):804-808.
- Meat and Livestock Australia. 2006. Heat load in feedlot cattle: Feedlot shade structures (en línea). Consultado 23 oct. 2009. Disponible en <http://www.mla.com.au/NR/rdonlyres/7C62BAA6-45A7-4F8F-8F54-0697F9B80F96/0/TipstoolsHeatloadinfeedlotcattle2006.pdf>
- Mitlöhner, FM; Morrow-Tesch, JL; Wilson, SC; Dailey, JW; McGlone, JJ. 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79(5):1189-1193.
- Nardone, A; Ronchi, B; Lacetera, N; Bernabucci, U. 2006. Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications* 30(Supl. 1):S75-S81.
- Nienaber, JA; Hahn, GL. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology* 52(2):149-157.

- Nilsen, AR. 2006. The effect of distance to trees on cattle behaviour in Muy Muy, Nicaragua. MSc. Thesis. Åas, Norway, The Norwegian University of Life Sciences. 22 p.
- Overton, M; Sischo, W; Temple, G; Moore, D. 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science* 85(9):2407-2413.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. CATIE. 2 ed. Turrialba, CR. 276 p. (Colección Módulos de Enseñanza No. 2)
- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Schroth, G; Sinclair, F. 2003. Impacts of trees on the fertility of agricultural soils. *In*. 2003. Trees, crops and soil fertility. Bangor, UK, CABI. pp. 1-9.
- Singh, SV; Upadhyay, RC; Ashutosh. 2008. Impact of temperature rise on bovine production performance under limited available feed resources. *Journal of Farming Systems Research and Development* 14(1):140-143.
- Veenendaal, E; Shushu, D; Scurlock, J. 1993. Responses to shading of seedlings of savanna grasses (with different C4 photosynthetic pathways) in Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 9(2):213-229.
- Velásquez Vélez, R. 2005. Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.

3 ARTÍCULO 1. EFECTO DE TRES NIVELES DE COBERTURA ARBÓREA Y EL ESTADO DE LACTANCIA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE GANADO *Bos taurus* × *Bos indicus*, MANEJADOS BAJO PASTOREO EN EL TRÓPICO SUB-HÚMEDO

3.1 INTRODUCCIÓN

El tiempo de pastoreo en ganado está determinado por factores ambientales tales como la temperatura ambiente, la humedad relativa (Bohmanova *et al.* 2007), la velocidad del viento (Berman 2006); el grado de adaptación a la región bioclimática; la alimentación (Jahn *et al.* 2002) y el estado de lactancia; así como la disponibilidad de pasto en los potreros (Stobbs 1973).

Las investigaciones realizadas sobre el uso de sombras naturales y artificiales para atenuar el estrés calórico en el ganado (Schütz *et al.* 2009) han demostrado que las vacas prefieren la sombra de los árboles (Holtung 2008). Además se ha observado que el nivel de cobertura arbórea tiene implicaciones en el tiempo dedicado a pastorear (Betancourt 2003), lo cual se traduce en la ganancia del peso (Restrepo 2002).

El objetivo del presente estudio fue determinar el tiempo que las vacas lactantes dedican a cinco actividades (pastoreo/ramoneo, rumia, caminar, estar parado y acostado); en función de la cobertura arbórea en los potreros –determinada por un nivel bajo (<8%), un nivel medio (10 – 17%) y nivel alto (>23%); el estadio de lactancia (inicio y final) y la época del año (período seco y lluvioso).

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de la cobertura arbórea el estado de lactancia y la época del año sobre el comportamiento diurno de vacas doble propósito manejadas bajo pastoreo.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Conocer la distribución del tiempo que el ganado en pastoreo dedica a cinco actividades durante el día, de acuerdo al nivel de cobertura arbórea.

- Determinar el tiempo destinado a cada una de las actividades de acuerdo al estado de lactancia de las vacas, la época del año y el período del día.
- Evaluar la relación entre las condiciones ambientales y la conducta del ganado bajo pastoreo libre.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en el municipio de Belén, Rivas (Nicaragua), cuya elevación oscila entre 100 y 200 msnm (INIFOM 2008) y está localizada entre las coordenadas 85°57'2°,1" y 85°59'47,07" de longitud Oeste y entre 11°33'7,96" y 11°36'52,97" de latitud Norte (Figura 1). Según INIFOM (2008), el municipio de Belén está conformado por un sistema montañoso, de relieve marcado y valles relativamente planos. El sistema montañoso, es parte de la formación Brito y el material que origina estos suelos es la lutita. Los valles son de origen aluvial, coluvial y volcánico. Los órdenes de suelo presentes son los Vertisoles y Molisoles.

De acuerdo con la clasificación de Holdridge (1978), el municipio corresponde a la zona de vida Bosque Seco Tropical. El clima es seco, su temperatura oscila entre los 26,0° y 33,0 °C, el período seco ocurre entre enero y mayo. En el período de lluvias, la precipitación total oscila entre 1.400 a 1.600 mm (INIFOM 2008).

3.3.2 Selección de fincas y potreros donde se desarrolló el estudio

En el municipio de Belén se identificó un grupo de productores ganaderos que poseen árboles dispersos y cercas vivas en los potreros; y que estaban dispuestos a cooperar en la presente investigación.

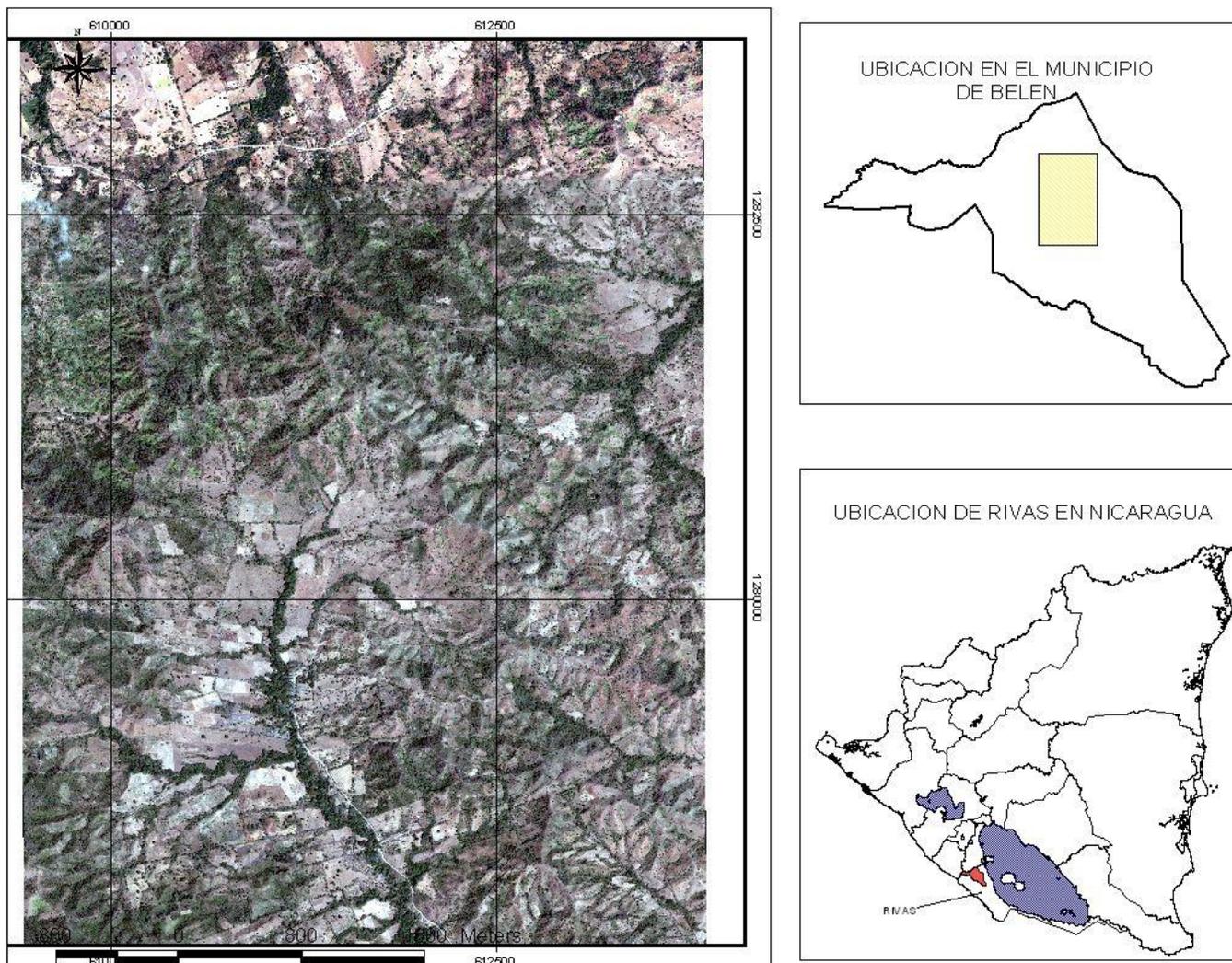


Figura 1. Ubicación de la zona de investigación en el municipio de Belén, Rivas, Nicaragua.

3.3.2.1 Delimitación de los potreros

Los límites de los potreros se verificaron conjuntamente con el productor; siguiendo la metodología de Somarriba (2009); observando la pastura predominante y la pendiente del terreno. Para realizar la delimitación de la finca, se utilizó un geoposicionador global (GPS)¹; y para el trazo de las fincas se empleó el programa ArcView 3.3 de Sistemas de Información Geográfica.

¹ Garmin GPSmap 60CS. Garmin Int. Olathe, Kansas 66062, USA

3.3.2.2 Determinación de los niveles de cobertura arbórea

Con base en imágenes satelitales a una resolución de 1 m, y usando ArcView, se digitalizaron las copas de los árboles a una escala de 1:800. A partir de la relación cobertura arbórea/tamaño del potrero, se clasificaron los potreros en tres niveles de cobertura arbórea: baja (<8%), media (10-17%) y alta (>23%). Para la estimación de la cobertura arbórea se incluyó tanto los árboles dispersos como los presentes en las cercas vivas. Adicionalmente, en aquellos casos en que los productores permiten el acceso del ganado a los bosques riparios, se consideró la cobertura arbórea en dichas áreas.

3.3.3 Caracterización de los potreros

Los parámetros que se consideraron para caracterizar los potreros fueron: la cobertura arbórea, el área del potrero, la pendiente (Anexo 1); el tipo de pastos predominante y el manejo a que están sometidos (p.e, sistema de pastoreo, largo de los periodos de ocupación y descanso –de acuerdo a la época del año-, número de animales, etc, se presentan en el Anexo 5.

3.3.3.1 Pasturas predominantes

En un 60% de los potreros evaluados predominan las pasturas naturales del género *Paspalum*, mientras que las gramíneas introducidas encontradas más comúnmente son los pastos Gamba (*Andropogon gayanus*) y Angleton (*Dichanthium aristatum*).

3.3.4 Selección de los animales

Con los productores colaboradores se seleccionaron las vacas que se encontraban en los dos estados fisiológicos que definieron los tratamientos a saber, menos de tres y más de cinco meses de lactancia. Los criterios para la selección de los animales fueron el buen estado de salud y una condición corporal aceptable. Este proceso de selección se repitió a lo largo del ensayo, ya que en cada ciclo de evaluación se tuvo que seleccionar nuevos animales a fin de tener vacas representativas de los estadios de lactancia bajo estudio. Las vacas utilizadas eran cruzadas *Bos taurus* × *B. indicus*, pero se evitó incluir animales con alta proporción de raza europea. Entre las razas representadas en los cruces se contó con Brahman, Simmental, Criollo (Reyna), Indo Brasil y Pardo Suizo.

La condición corporal se registró por medio de fotografías; y para su apreciación, se emplearon los valores usados por el proyecto CATIE/NORUEGA–Pasturas Degradadas (2007).

3.3.5 Medición de la conducta

Las mediciones se efectuaron en dos épocas del año; el período seco (febrero a mayo) y los inicios del período de lluvias (junio a agosto). El estudio se planteó efectuar en estos periodos, debido a que se deseaba comparar si había cambios en el comportamiento de pastoreo entre los meses más calientes y secos vs. los menos calientes, pero más lluviosos y húmedos.

3.3.5.1 Registro de la conducta animal

Las actividades de conducta animal registradas fueron: 1) Pastoreando/Ramoneando, cuando la vaca tiene la cabeza agachada para pastorear o el cuello erguido para ramonear; 2) Rumiando, sea que la vaca esté echada o parada, bajo la sombra de los árboles o expuesta al sol; 3) Parada, la vaca no está en movimiento y no se encuentra rumiando; 4) Caminando, el animal se está desplazando con la cabeza erguida; 5) Acostada; la vaca está descansando con el vientre pegado al suelo. Estas formas de comportamiento se registraron con base en apreciaciones visuales.

Para el registro de la conducta se empleó la técnica de muestreo focal, a diferentes intervalos de tiempo (Martín y Bateson 2007).

Para las mediciones de conducta se seleccionaron en cada potrero dos vacas por día, una por cada uno de los estadios de lactancia previamente definidos. La conducta se registró entre las 09:00 -17:00h; con intervalos de 5 min entre observaciones (Rook y Huckle 1997). En consecuencia se efectuaron 13 observaciones de la conducta del animal durante una hora de medición, tal como se ilustra en la Figura 2.

3.3.6 Variables ambientales

Las variables ambientales: radiación solar, temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, punto de rocío y precipitación se obtuvieron por medio de una estación

meteorológica inalámbrica²; la cual se ubicó contiguo a los potreros donde se realizaron las mediciones de conducta. Meat and Livestock Australia (2006) sugieren que las lecturas de la estación meteorológica no deben estar afectadas por objetos que produzcan sombras o influyan sobre la dirección y velocidad del viento; por ello para la ubicación de la estación meteorológica, se consideró que alrededor del instrumento de medición debería haber un área mínima libre de 25 m².

El conjunto de sensores integrados (ISS, por sus siglas en inglés), se colocó a 1,25 metros del suelo usando un trípode; mientras el anemómetro se colocó a 2 m sobre el suelo usando un tubo galvanizado como extensión, tal como se muestra en la Foto 1.

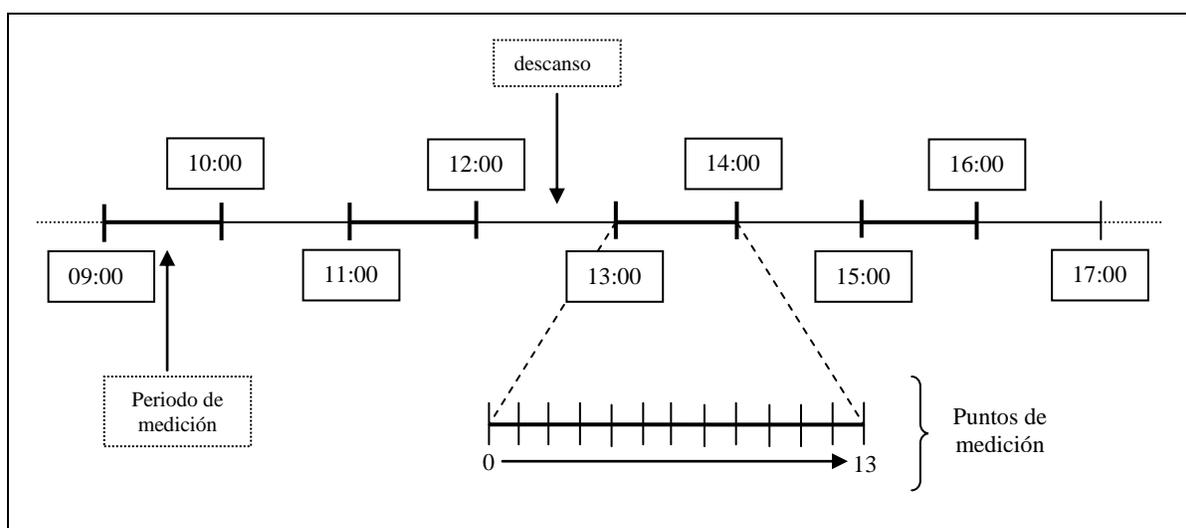


Figura 2. Esquema del tiempo muestreado en el día, y la muestra tomada en una hora, para la variable comportamiento animal.

² Vantage Pro2. Davis Instrument Co., Hayward, CA 94545, USA



Foto 1 Detalles de la estación meteorológica portátil utilizada en el experimento.

3.3.6.1 Índice Temperatura-Humedad (ITH)

Para determinar el efecto combinado de la humedad relativa (%) y la temperatura (°C) se estimó el ITH; tal como recomiendan Dikmen y Hansen (2009); pero para este estudio se empleó la ecuación desarrollada por Hahn y Mader (1997).

$$ITH = (0,81 \times Temp) + \left[\left(\frac{HR}{100} \right) \times (Temp - 14,4) \right] + 46,4$$

donde:

Temp= Temperatura ambiente

HR= Humedad relativa (%)

Previo al análisis de los datos, y como una opción para incrementar el número de observaciones por período de tiempo, se revisaron los datos de ITH para agruparlos en función de su similitud en condiciones ambientales. Con base en ese análisis los períodos de observación se agruparon en rangos, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tabla de frecuencia para la variable ITH, agrupado en tres períodos del día, para la época seca y lluviosa.

Rango	Época seca			Época lluviosa		
	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 17:00	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 17:00
n	658	725	888	641	817	853
Media	79,91	82,14	82,65	81,65	83,08	83,06
E.E	0,10	0,07	0,07	0,06	0,05	0,08
LI	71,76	75,31	76,06	76,68	78,18	75,79
LS	88,8	89,44	86,06	85,45	85,94	86,64

E.E = Error Estándar

LI= Límite inferior

LS= Límite superior

3.3.6.2 Desplazamiento del ganado

Al igual que la conducta, la distancia de desplazamiento horizontal, se midió en un intervalo de cinco minutos para ello se utilizó un medidor laser³, y una brújula⁴ para el azimut. Aronson y Givnish (1983) mencionan la relación entre el desplazamiento de los animales y la proximidad a lugares importantes tales como al agua, comida o lugares de descanso. Esta información fue colectada para ver si distancia recorrida tiene alguna relación con el nivel de cobertura arbórea, pero además si es afectada por el estado de lactancia, la época del año y la hora del día.

La distancia se midió en metros, mientras que el azimut en grados. Para convertir los valores a coordenadas planas, se utilizaron las funciones trigonométricas básicas por medio del programa Excel.

3.3.7 Diseño experimental

El experimento se desarrolló utilizando un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones, con estructura factorial de tratamientos. Debido a las restricciones de aleatorización, los factores fueron analizados siguiendo un diseño de parcelas subdivididas, con la combinación de la estación del año y el nivel de sombra en la parcela principal, el estado de lactancia en las subparcelas, y el período del día en las sub-subparcelas. El modelo lineal que se empleó es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + S_j + R_m(S_j) + E_k + S_j E_k + \text{Error B} + T_1 + T_1 S_j + T_1 E_k + T_1 S_B E_k + \varepsilon_{ijklm}$$

³ Impulse 200 LR Laser. Laser Technology Inc., Centennial, Colorado 80112, USA.

⁴ Suunto KB-14. Suunto, Vanta, Finland

donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta tiempo dedicado a una conducta animal determinada (%)

μ = Media general (medido en tiempo)

C_i = Efecto de la época del año

S_j = Efecto de la cobertura arbórea

$R_m(S_j)$ = Repetición del nivel de cobertura arbórea, término de Error A

E_k = Estado de lactancia

S_jE_k = Efecto de la interacción cobertura arbórea \times estado de lactancia

Error B para las subparcelas

T_l = Tiempo (período del día)

T_lS_j = Efecto de la interacción tiempo \times cobertura arbórea

T_lE_k = Efecto de la interacción tiempo \times estado de lactancia

$T_lS_jE_k$ = Efecto de la interacción tiempo \times cobertura arbórea \times estado de lactancia

ϵ_{ijklm} = Error experimental para las sub-subparcela

3.3.8 Análisis de la información

Las variables de respuesta analizadas fueron el porcentaje de tiempo que el animal dedica a cada actividad: el pastoreo/ramoneo, la rumia, así como el estar parada, acostada o caminando. En lo que respecta al movimiento del ganado la variable respuesta fue la distancia recorrida en un periodo de un minuto. Para ambos fines se utilizaron modelos mixtos, por medio del paquete estadístico R del programa INFOSTAT. Para las comparaciones de medicas se utilizó la prueba LSD de Fisher con un $\alpha = 0,05$. Según Di Renzo *et al.* (2008) dicha prueba es la que puede tiene mayor probabilidad de detectar el Error Tipo I.

La relación entre las variables ambientales y las actividades desarrolladas por los animales se examinó por medio del Análisis de Componentes Principales. Así mismo se utilizaron modelos de regresión logística para representar las relaciones entre dichas variables.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Condiciones ambientales durante el experimento

En el Cuadro 2, se muestran los valores promedio de temperatura, punto de rocío, humedad relativa y radiación solar para diferentes períodos del día, en función de la época del año. Se sabe que estas variables son las principales contribuyentes al estrés calórico en el ganado (Kadzere *et al.* 2002); sin embargo Brown-Brandl *et al.* (2005) destacan que la radiación solar y la velocidad del viento también inciden en el estrés calórico. A pesar que se reconoció la importancia de la velocidad del viento, por razones logísticas esta no se pudo registrar en las etapas iniciales del experimento.

Cuadro 2. Promedio \pm error estándar, para las variables temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), radiación solar (W/m^2) y velocidad del viento (m/s), en función de la época.

Variable	Época Seca			Época Lluviosa		
	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00
Temperatura ambiente	29,27 \pm 0,07	31,77 \pm 0,06	32,69 \pm 0,06	28,64 \pm 0,06	29,96 \pm 0,05	29,99 \pm 0,07
Punto de rocío	22,15 \pm 0,10	22,31 \pm 0,08	21,97 \pm 0,07	25,84 \pm 0,02	26,12 \pm 0,02	26,12 \pm 0,03
Humedad relativa	66,07 \pm 0,32	57,83 \pm 0,27	53,79 \pm 0,25	85,05 \pm 0,25	80,22 \pm 0,20	80,3 \pm 0,28
Radiación solar	574,92 \pm 11,16	848,04 \pm 10,16	529,85 \pm 10,30	528,32 \pm 10,65	689,28 \pm 10,68	491,72 \pm 9,07
Velocidad viento	0,0 \pm 0,0	2,83 \pm 0,07	2,24 \pm 0,05	1,05 \pm 0,04	1,26 \pm 0,04	0,91 \pm 0,03

Es bien sabido que las variables ambientales interactúan, y que la combinación de éstas tiene efectos directos en cómo se siente el calor (Steadman 1979); por esto se ha empleado además el ITH como indicador del potencial de estrés calórico en el ganado. En el Cuadro 3 se presentan los valores de ITH en función de la época y el momento del día. El ITH fue en promedio superior en la época de lluvias que en la seca. A pesar que en la época de lluvias la temperatura fue menor, la humedad relativa fue alta (Figura 3) y eso debe haber tenido un efecto importante en dificultar la eliminación de calor, haciendo sentir el ambiente “bochornoso” para los animales. Condiciones ambientales similares también las reportó Abreu (2002), quien encontró valores mayores para el ITH en la época lluviosa (junio a agosto) que en la época seca, en la zona de San Carlos (Costa Rica).

Cuadro 3. Estadística descriptiva para el ITH en tres intervalos durante el día, para dos épocas del año.

	Período Seco			Período Lluvioso		
	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00	08:00 a 10:30	10:35 a 13:00	13:05 a 16:00
No. de observaciones	658	725	888	641	817	853
ITH promedio	79,91	82,14	82,65	81,65	83,08	83,06
Error estándar	0,10	0,07	0,07	0,06	0,05	0,08
Mínimo	71,76	75,31	76,06	76,68	78,18	75,79
Máximo	88,8	89,44	86,06	85,45	85,94	86,64
Media		79,76			81,85	

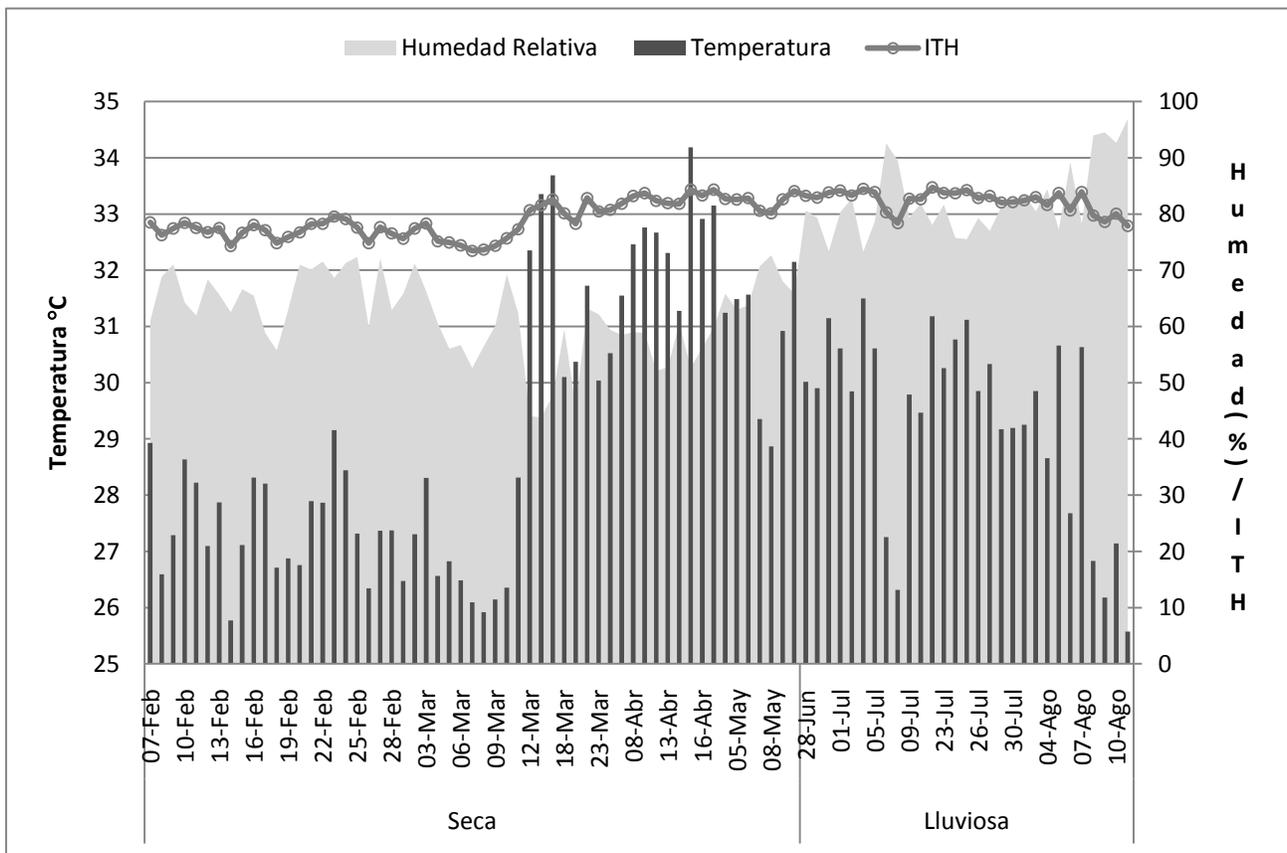


Figura 3. Promedios de temperatura (°C), humedad relativa (%) e ITH por día, para la época seca y lluviosa, en Belén (Rivas, Nicaragua).

3.4.2 Distribución de las actividades

En la Figura 4 se resume cómo se distribuyen las actividades asociadas con el pastoreo a lo largo del día, en función de las interacciones nivel de cobertura × época del año; nivel de cobertura × estado de lactancia y época del año × período del día. En secciones posteriores se discute el efecto de las diferentes variables y sus interacciones sobre actividades específicas. Sin embargo debe destacarse que el pastoreo fue la actividad predominante durante las horas diurnas, la cual ocupó 55 % del tiempo en la época seca y 61 % en la lluviosa (Cuadro 4). Estos valores no difieren de los encontrados por Chacon *et al.* (1976) quienes en ganado Jersey no lactante encontraron, que el tiempo de pastoreo entre las 08:00 y 14:00 fue del 63%.

Cuadro 4. Promedio (%) de las observaciones ± EE, para cinco actividades de conducta que el ganado efectuó, en función de la época del año.

Actividades	Seca		Lluviosa	
	No. de observaciones	Media	No. de observaciones	Media
Pastoreando/ramoneando	742	54,90 ± 4,44	659	60,53 ± 3,42
Rumiando	50	3,16 ± 1,25	234	19,60 ± 2,81
Parada	143	11,79 ± 2,46	106	9,57 ± 1,42
Caminando	70	8,09 ± 1,97	41	3,98 ± 0,65
Acostada	235	22,13 ± 3,78	77	6,38 ± 1,38

El menor tiempo dedicado al pastoreo diurno en la época seca, difiere de lo encontrado por Langbein y Nichelmann (1993) con ganado Holstein y Siboney de Cuba, pero la discrepancia puede deberse a que en la zona donde se desarrolló el presente estudio los animales reciben un complemento en el corral, mayormente a base de pollinaza y forraje de corte, y esto puede haber afectado también el tiempo dedicado a la rumia ($3,2 \pm 1,3$ vs $19,6 \pm 2,8$, para las épocas seca y lluviosa respectivamente). Además es posible que en la época seca los animales también hayan dedicado más tiempo a la rumia durante la noche.

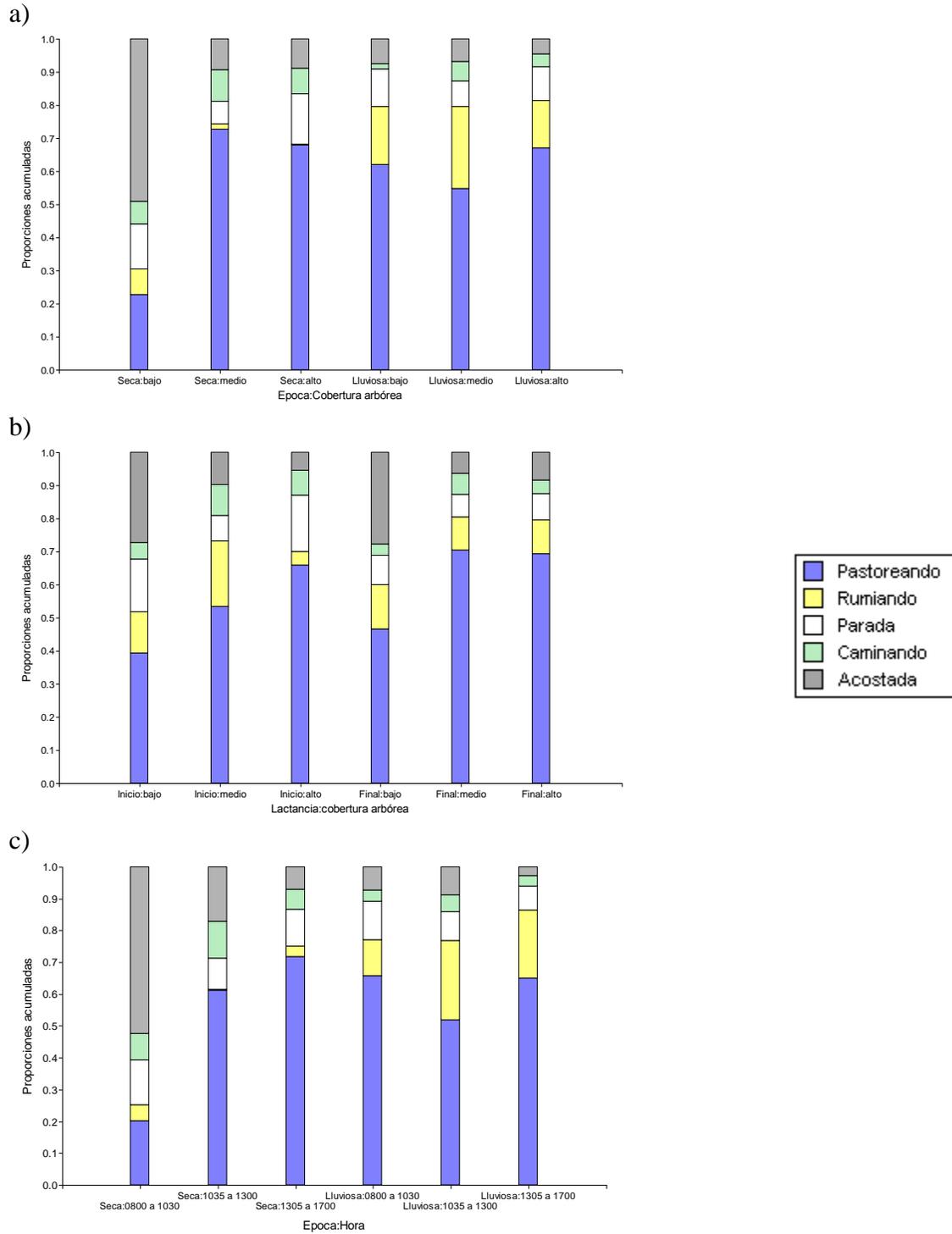


Figura 4. Distribución del tiempo diurno dedicado a cinco actividades (pastoreo/ramoneo, rumia, parada, acostada y en movimiento) en función de las interacciones: a) la época × nivel de cobertura b) lactancia × nivel de cobertura c) época × período del día.

3.4.3 Pastoreo

Los únicos factores que afectaron significativamente el tiempo dedicado al pastoreo/ramoneo fueron las interacciones época del año \times periodo del día y época \times cobertura arbórea (Anexo 2). Blackshaw (2003) menciona que el pastoreo está condicionado por la época del año; la temperatura y humedad relativa; la dirección de viento; el estadio de lactancia, la disponibilidad de agua, la topografía y la disponibilidad de pasto. A su vez, Chacon y Stobbs (1976) destacan la importancia de la disponibilidad de forraje en los potreros; encontrando una relación inversa entre la disponibilidad de biomasa y la cantidad de hojas disponibles con el tiempo dedicado al pastoreo y el número total de bocados.

3.4.3.1 Efecto de la época del año y la hora del día

La época del año interactúa con el período del día ($p=0,0159$), tal como se ilustra en la Figura 5. Los valores bajos del tiempo dedicado al pastoreo entre las 08:00 y 10:30 observados en la estación seca, se podrían deber que las vacas recibían alimento suplementario en el corral, tendiendo a posponer el pastoreo entre 2-4 horas después de llegar al potrero (Krysl y Hess 1993). Sin embargo también podría deberse a que los animales llegaban cansados luego de recorrer aproximadamente 600 m entre el corral y los potreros. Independientemente de cuál fuera la razón, se observó que durante el período seco las vacas tendieron a permanecer más tiempo acostadas luego de ingresar a los potreros.

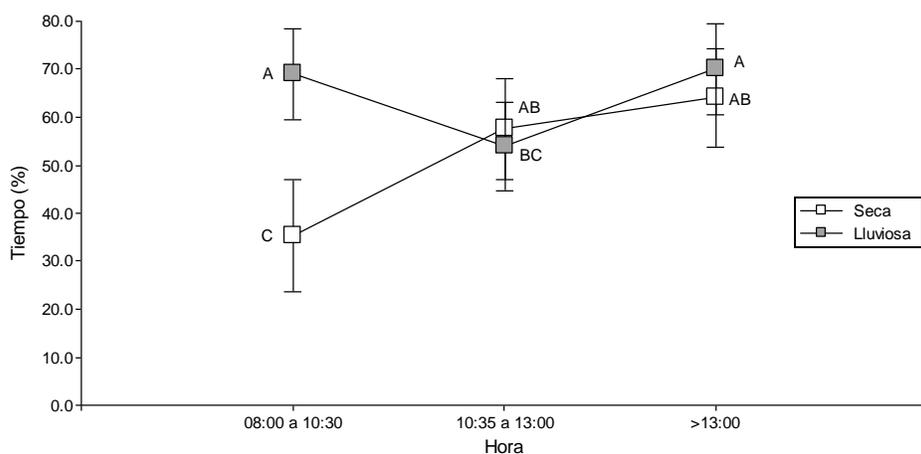


Figura 5. Interacción entre el factor estación del año \times hora del día para el tiempo promedio que la vaca dedica al pastoreo durante el día.

En la época de lluvias el ganado pasó más tiempo pastoreando en las primeras horas de la mañana (08:00 a 10:30) y al final de la tarde; en cambio, alrededor del medio día (10:35 a 13:00) disminuyó el tiempo dedicado a pastorear (Figura 5). Es posible que en ese período el ganado sienta más el efecto conjunto del calor y la humedad, como se refleja en un mayor valor de ITH, lo cual se sabe que afecta el comportamiento ingestivo de los animales (Sala *et al.* 1988).

Por lo anterior, se presume que en la estación lluviosa el ganado trata de llenarse físicamente en las primeras horas de la mañana, y posiblemente también durante la noche (Blackshaw y Blackshaw 1994), aunque en este estudio el período de observación terminó alrededor de las 17:30 h.

Además cabe anotar que en este estudio se trabajó con animales adaptados al clima caliente, cruces de *B. taurus* × *B. indicus*, por lo que el patrón de respuesta en comportamiento diurno podría haber variado si se hubiese trabajado con razas europeas, ya que con frecuencia los niveles de temperatura alcanzados entre las 10:35-16:00 fueron superiores a los 30 °C (Cuadro 2), valor que está por encima del límite superior de la “zona de termoneutralidad” del ganado europeo (Pezo e Ibrahim 1999; Singh *et al.* 2008). Sin embargo otros autores ponen ese límite por encima de esa temperatura; así, Beatty *et al.* (2006) mencionan que se presentó una reducción del consumo en ganado *B. taurus* cuando la temperatura fue de 33,3 °C; en cambio en el *B. indicus* no se presentaron cambios, incluso a 34,2 °C de temperatura.

Dados los impactos del clima sobre el ganado, los productores en el municipio de Belén tratan de minimizar el efecto de la época seca sobre las pasturas, reduciendo los días de permanencia del ganado en aquellos potreros con poca recuperación y con bajos niveles de cobertura arbórea; así como también reduciendo la cantidad de animales que ingresan al potrero. Esto refleja que los productores saben que en áreas con baja disponibilidad de pasto son menores el tiempo de pastoreo y la tasa de consumo (Chacon y Stobbs 1976; Ayantunde *et al.* 2000). También reconocen que si bien el pastoreo es una forma barata de alimentar al ganado en la época seca, no es capaz de abastecer la demanda nutricional de los bovinos, necesaria para mantener un nivel óptimo de producción de leche y carne (Gibb

et al. 1999), por lo que complementan el pastoreo con forrajes de corte y otros alimentos fibrosos.

3.4.3.2 Efecto de la interacción época × cobertura arbórea

La interacción época del año × nivel de cobertura alcanzó significancia ($p=0,0089$). El menor tiempo dedicado al pastoreo en el periodo seco ocurrió cuando la cobertura arbórea fue baja (< 8%), y prácticamente no hubo diferencias entre las coberturas media y alta (Figura 6). En cambio, en la época de lluvias no se detectó diferencia en el tiempo dedicado al pastoreo diurno atribuible a la cobertura arbórea. Tampoco se detectaron diferencias en el tiempo dedicado a pastorear, en la época seca y lluviosa para los niveles de cobertura arbórea media y alta.

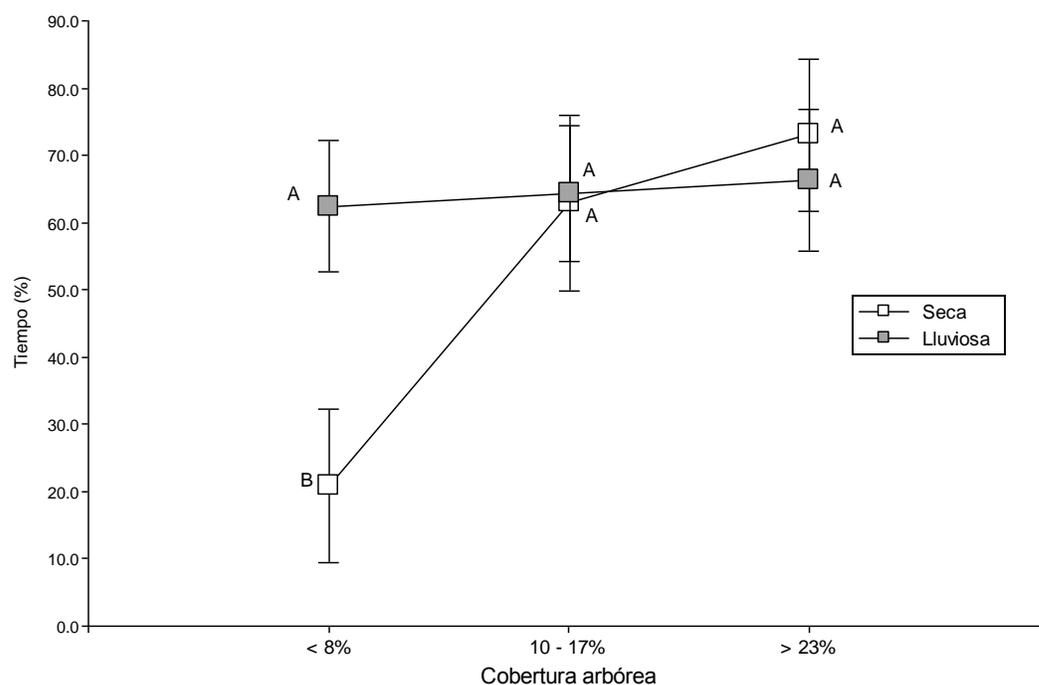


Figura 6. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura arbórea sobre el tiempo que la vaca dedica al pastoreo.

Llama la atención que en el período seco ocurra el menor tiempo de pastoreo con la menor cobertura de árboles, mientras que en la época de lluvias prácticamente no se presenta efecto de la cobertura arbórea (Figura 6). Se sabe que los animales con acceso a la sombra

tienden a incrementar el consumo de forrajes (Brown-Brandl *et al.* 2005), pero los resultados de este estudio muestran que ese efecto fue evidente sólo en la época seca.

Quizás la poca presencia de sombra en el nivel bajo de cobertura arbórea afectó negativamente el comportamiento de pastoreo en la época seca debido al estrés calórico o a la radiación. En ese período se registraron los valores más altos para la temperatura ambiente (Cuadro 2), y se sabe que cuando se supera el límite superior de la zona de termoneutralidad se afecta negativamente el consumo de alimentos (Beatty *et al.* 2006). Esto confirma el rol de los árboles para atenuar las altas temperaturas (Pezo y Ibrahim 1999), lo cual favorece el mayor tiempo que los animales dedican a pastorear.

Por otro lado, se sabe que la cobertura arbórea tiene efectos sobre la disponibilidad de forraje y eventualmente en la calidad nutritiva; y estos a su vez pueden incidir indirectamente sobre el comportamiento ingestivo. Gamboa (2009) destaca el efecto de la sombra de los árboles sobre la productividad primaria neta de la biomasa aérea (PPNA), la cual se incrementa bajo la sombra de árboles leguminosos (p.e *Albizia saman* y *Platismicium parviflorum*); sin embargo este efecto no es lineal, sino que hay un nivel umbral encima del cual la PPNA declina (Devkota *et al.* 2009). Además los cambios en densidad de copa afectan la PPNA (Zapata 2010).

También la cobertura arbórea podría facilitar el desarrollo de plantas C₄, como las encontradas en los potreros evaluados, donde predominaron los pastos del género *Paspalum*. Esto es confirmado por Rao *et al.* (1997) quienes mencionan que los árboles ejercen cambios en el microclima bajo su copa, reduciendo la temperatura del suelo y la temperatura ambiental, la radiación y la velocidad del viento; los cuales tienen influencia en la evaporación y humedad del agua en el suelo.

3.4.3.3 Incidencia de los factores ambientales en el pastoreo

Con base en los datos observados, se así como los reportes de Kadzere *et al.* (2002) y de Beede y Collier, citados por Blackshaw y Blakshaw (1994), se consideró que las variables que incidieron en el tiempo dedicado al pastoreo y sobre el consumo de alimento fueron la velocidad del viento, radiación, humedad relativa y sus interacciones. Esto se confirmó al

evaluar el efecto del ITH sobre el tiempo dedicado a pastorear, el mismo que alcanzó significancia ($p < 0,05$) en la época seca, pero no así en la época lluviosa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados del análisis de modelo logístico que incluye las variables ITH, velocidad del viento, punto de rocío y radiación solar y sus efectos sobre el tiempo dedicado a pastorear, en función de la época del año.

F.V.	gl	p-valor	
		Seca	Lluviosa
ITH	1	<0,0001	0,0846
Velocidad del viento	1	0,0007	0,0971
Punto de rocío	1	<0,0001	0,9016
Radiación solar	1	0,0238	0,1082

No obstante en el modelo logístico generado únicamente para el ITH, se encontró diferencia significativa en ambas épocas de año ($p < 0,05$); y en la época lluviosa se encontró que cuando el ITH es de 92,5, la probabilidad que el ganado pastoree es del 50%; pero encima de ese valor, por cada unidad de incremento en el ITH la probabilidad de pastoreo decrece a una tasa del 3% (Figura 7b). Estos resultados difieren de los encontrados por Gaughan *et al.* (2008) quienes fijan el umbral del ITH en 86,0. Las diferencias en genotipo animal, con cruces *B. taurus* × *B. indicus* en este estudio y *B. taurus* en el de Gaughan *et al.* (2008), podrían explicar dicha diferencia, pues las razas europeas son más susceptibles al estrés calórico. Sin embargo, en este estudio puede haber ayudado también la presencia de los árboles, pues estos ejercen un efecto facilitador del pastoreo, al contribuir en la atenuación de las variables ambientales que conducen al estrés calórico (Abreu 2002).

Por otra parte, la variable humedad relativa alcanzó significancia ($p < 0,0001$) durante la época seca (Cuadro 6a), y se encontró que cuando la humedad relativa alcanza 77 %, la probabilidad de pastoreo es de 50 %, y tiende a declinar a una tasa de 1% por cada unidad de incremento en el porcentaje de humedad relativa (Figura 7a).

Cuadro 6. Prueba de significancia para modelos logísticos con la variable a) humedad relativa, b) velocidad del viento, c) Punto de rocío, d) Radiación solar; sobre el tiempo dedicado a pastorear, para dos épocas del año.

a)				b)			
F.V	gl	Seca	Lluviosa	F.V	gl	Seca	Lluviosa
Humedad relativa	1	<0,0001	0,3475	Velocidad del viento	1	<0.0001	<0.0001

c)				d)			
F.V.	gl	Seca	Lluviosa	F.V.	gl	Seca	Lluviosa
Punto de rocío	1	0.0002	0.1131	Radiación solar	1	0.0020	0.0013

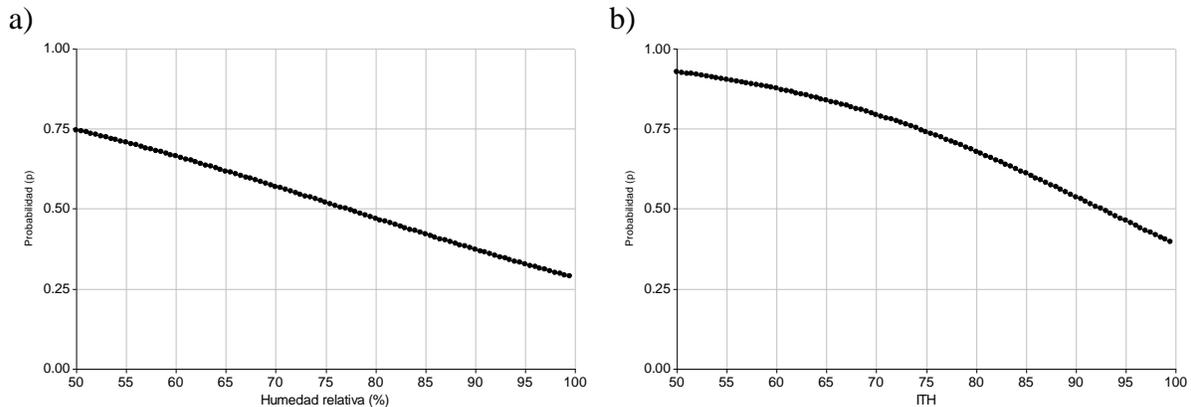


Figura 7. Probabilidad (p) que el ganado pastoree en función de a) la humedad relativa en la época seca y (b) del ITH en la época lluviosa.

3.4.4 Rumia

3.4.4.1 Efecto de la época

El tiempo dedicado a la rumia sólo se vio afectado ($p= 0,0268$) por el factor época del año (Anexo 2). Durante la época seca (Figura 8) las vacas dedicaron a la rumia apenas el 2,6% (EE 3,8) del período diurno de permanencia en el potrero, mientras que en la época de lluvias el valor correspondiente fue de 16,9% (EE 3,3), valor que es similar al encontrado por Blackshaw y Blackshaw (1994). Sin embargo, es bastante probable que el tiempo

registrado como dedicado a la rumia en el período seco esté subestimado, pues muchas veces fue difícil el registro de este comportamiento, debido a que en las horas críticas los animales tendían a agruparse bajo la sombra, y no siempre permitían observar a las vacas bajo seguimiento. Es más, estos resultados contradicen lo esperado que el tiempo dedicado a comer y rumiar debería incrementarse en el período seco debido a la pobre calidad de las pasturas (Van Soest 1994).

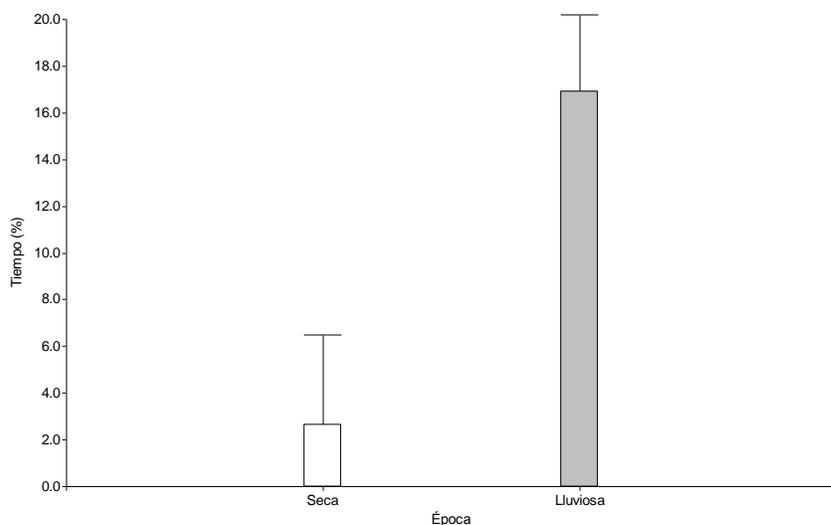


Figura 8. Tiempo diurno (%) dedicado a la rumia en función de la época del año.

Por otro lado, Chacon y Stobbs (1976) señalan que la rumia está inversamente correlacionada con la cantidad de materia verde consumida y la cantidad de hojas disponibles, las cuales deben haber sido mayores durante el período de lluvias. Finalmente, Van Soest (1994) advierte que el ganado generalmente pastorea por la mañana y por la tarde; y de acuerdo a la temperatura ambiente efectúan la rumia al medio día o por la noche, por lo que es posible que esto haya ocurrido también en este estudio, puesto que sólo se registró el comportamiento de los animales en horas diurnas, y no se tienen registros de comportamiento nocturno.

3.4.4.2 Incidencia del clima en el tiempo dedicado a la rumia

Al aplicar una regresión logística, se encontró que el tiempo dedicado a la rumia es función de las variables ambientales, pero el efecto de las variables estudiadas no es el mismo en ambas épocas del año (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la rumia, el ITH, la velocidad del viento, punto de rocío y la radiación solar para dos épocas: (a) seca y (b) lluviosa.

F.V.	p-valor	
	Seca	Lluviosa
ITH	0.0075	0.0119
Velocidad del viento	<0.0001	0.0001
Punto de rocío	0.0003	0.0286
Radiación solar	0.7686	0.0002

En la época seca, la radiación solar fue la única variable que no se relacionó con el tiempo dedicado a la rumia ($p= 0,7686$); no obstante en el modelo que incluyó a todas las variables, la velocidad del viento alcanzó la máxima probabilidad de ocurrencia para ambas épocas. En contraste, para la época lluviosa se encontró que todas las variables ambientales analizadas alcanzaron significancia ($p<0,05$).

Brown-Brandl *et al.* (2005) han propuesto categorizar el ITH de la siguiente manera Normal ($ITH < 74$), Alerta ($74 \leq ITH < 78$), Peligro ($78 \leq ITH < 84$), y Emergencia ($ITH \geq 84$). Sobre esa base al aplicar un análisis de correspondencia se encontró que la rumia se encuentra asociada con el ITH ($p < 0,0001$), como se muestra en Figura 9, donde el eje 1 explica 37,8%, mientras que con el eje 2 se explica el 25,0 % de la inercia. En tal sentido, cuando el ITH se encuentra en la categoría Peligro, el ganado pastorea; mientras que el ganado deja de pastorear en la categoría Emergencia, pero realiza la rumia. Estos resultados sugieren que el ganado es eficiente en cuanto al uso del tiempo durante el pastoreo, ya que cuando se presentan condiciones ambientales desfavorables deja de pastorear para dedicarse a la rumia (Blackshaw y Blackshaw 1994).

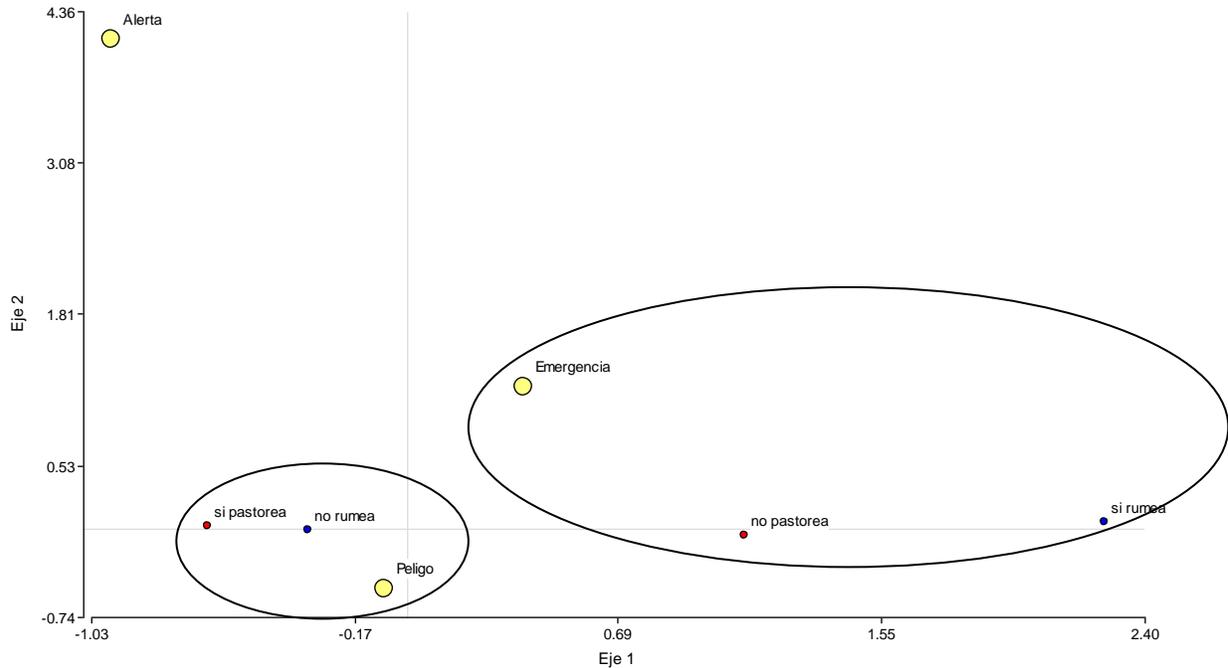


Figura 9. Gráfico biplot para la relación entre el ITH con la actividad de pastoreo y rumia.

Por otro lado Brown-Brandl *et al.* (2005) destacan la importancia de tener acceso a la sombra cuando el ITH se encuentra en las categorías de Peligro y Emergencia. Bajo esas circunstancias, la sombra ayuda a aproximarse a la zona de termoneutralidad, y en el experimento, se observó que la mayoría de veces el ganado prefirió realizar la rumia bajo la sombra de los árboles. Hay que recordar que los animales con los que se trabajó son cruces de *B. taurus* × *B. indicus*, lo cual les permite tolerar condiciones ambientales que resultarían estresantes para el ganado de origen europeo (Beatty *et al.* 2006). En esto pueden haber ayudado los rasgos anatómicos y fisiológicos propios del ganado *B. indicus* que contribuyen a la pérdida de calor por medio de la piel, entre los que se citan el mayor flujo del torrente sanguíneo hacia la piel, lo cual facilita la transferencia de calor hacia la superficie; además que el pelaje corto permite mayor intercambio de calor con el ambiente (Finch 1986). Esta es parte de la contribución genética del ganado cebuino a la adaptación al calor en los cruces con razas europeas.

3.4.5 Parada

No se detectaron diferencias estadísticas ($\alpha= 0,05$) debidas a los tratamientos en cuanto al tiempo que el ganado permaneció sin movimiento y sin rumiarse (Anexo 2).

3.4.5.1 Efecto del clima en la actividad parado

El ITH no afectó ($p> 0,05$) el tiempo que las vacas permanecieron paradas en ninguna de las dos épocas del año (Cuadro 8). Esto contrasta con lo observado en el ganado europeo, el cual tiende a permanecer parados cuando el ITH se eleva por encima de un nivel umbral (Frazzi *et al.* 2000).

Cuadro 8. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la actividad parado, el ITH, la velocidad del viento y la radiación solar durante la época seca.

F.V.	gl	p-valor	
		Seca	Lluviosa
ITH	1	0.4224	0.3313
Velocidad del viento	1	0.0214	0.0164
Punto de rocío	1	0.1970	0.0387
Radiación solar	1	0.5185	0.0580

3.4.6 Caminando

Todas las interacciones (Época \times Cobertura; Época \times Lactancia; Cobertura \times Período del día; Cobertura \times Lactancia; Lactancia \times Período del día; Época \times Cobertura \times Período del día; Época \times Cobertura \times Estado de Lactancia; Época \times Estado de Lactancia \times Período del día; y Cobertura \times Época \times Estado de Lactancia \times Período del día) ejercieron un efecto significativo sobre la actividad de caminar (Anexo 2), por lo que los factores bajo estudio no pueden interpretarse independientemente.

3.4.6.1 Efecto del estado de lactancia y la época del año sobre el tiempo dedicado a caminar

El tiempo dedicado a caminar fue afectado ($p=0,0026$) por la interacción época el año \times estado de lactancia, observándose que durante la época seca las vacas que se encontraban al final de la lactancia dedicaron menos tiempo a moverse que las que se encontraban al

inicio de la lactancia (Figura 10); en cambio, en el período lluvioso no se observaron diferencias debidas al estado de lactancia.

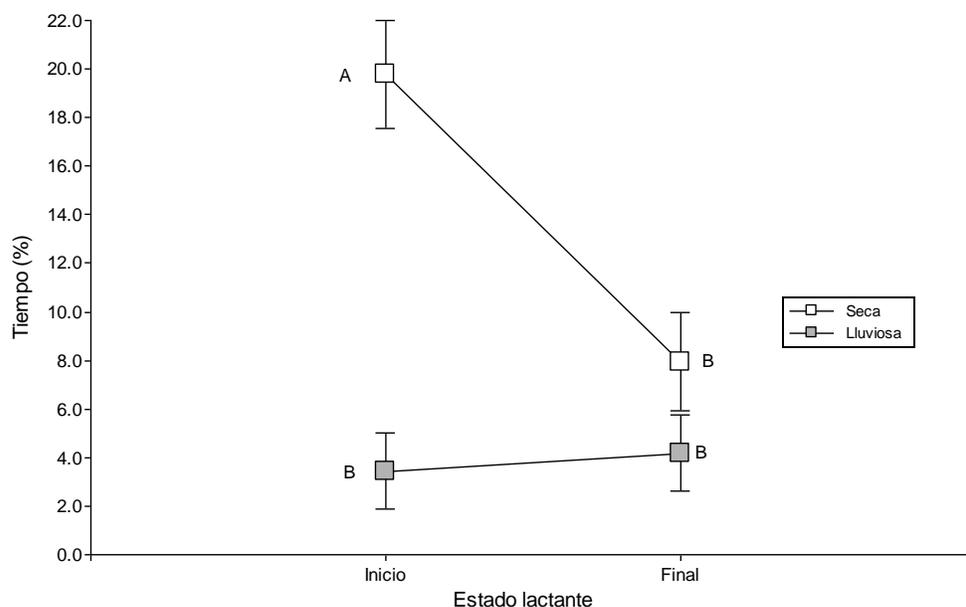


Figura 10. Interacción entre la época del año × estado lactante para el tiempo dedicado a caminar.

Una razón que puede explicar el porqué en el período seco las vacas que se encontraban al inicio de la lactancia caminaron más que aquellas en etapas tardías de la lactancia puede ser el que esos animales tienen una mayor demanda de nutrientes y quizá sean más selectivas con su dieta, pero al estar el forraje escaso, y ser de menor calidad, deben recorrer mayor distancia en búsqueda de alimento.

3.4.6.2 Efecto de la cobertura arbórea y la época del año sobre la actividad caminar

La interacción nivel de cobertura arbórea × época del año afectó significativamente ($p=0,0179$) el tiempo dedicado a caminar. En la época seca, los animales que pastoreaban en potreros con un nivel medio de cobertura arbórea caminaron más tiempo, en cambio en la época de lluvias no se detectaron diferencias atribuibles a la cobertura arbórea (Figura 11). Es posible que durante la estación lluviosa el animal tenga que movilizarse menos en búsqueda de pasto, debido a la alta disponibilidad de pasto, tal como menciona Sala (1988), quien asocia una alta productividad primaria neta de los pastos con la precipitación, y en

esa época hubo buena disponibilidad de pasto en todos los potreros, independientemente de la cobertura arbórea.

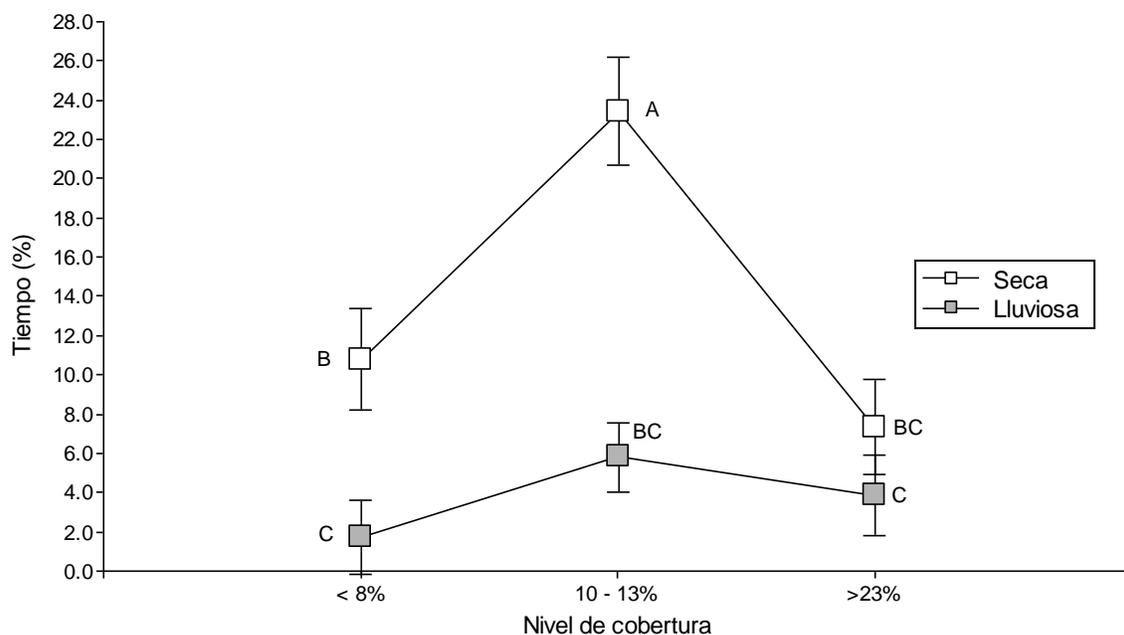


Figura 11. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura sobre el tiempo (%) dedicado a caminar.

Las razones para reducir el tiempo dedicado a caminar durante el período seco pueden ser diferentes en el nivel bajo y alto de cobertura arbórea; en el primero puede ser que ante la falta de niveles adecuados de sombra, el estrés calórico obliga al animal a reducir su actividad física de movimiento, mientras que cuando hay una alta cobertura el animal busca permanecer más tiempo bajo sombra de los árboles no sólo porque las condiciones de confort son mayores, sino porque es posible que la sombra reduzca la evapotranspiración de la pastura, y por lo tanto los animales pueden conseguir más forraje verde y de mejor calidad nutritiva bajo esas condiciones (Velásquez 2005).

3.4.6.3 Efecto de la época del año y el período del día sobre la actividad caminar

En el período seco, la actividad de caminar declinó a medida que transcurrió el día; en cambio no se detectaron diferencias debidas al período del día en el periodo de lluvias (Figura 12). El patrón de comportamiento a lo largo del día detectado para el período seco podría asociarse con lo discutido en el caso de la actividad de pastoreo, pues como se ha dicho en las primeras horas del día el ganado no pastoreaba posiblemente porque venía

lleno luego de recibir un complemento de forraje en el corral; y en consecuencia éste se dedicaba a caminar explorando el potrero, buscando los mejores sitios para realizar el pastoreo posteriormente (Senft *et al.* 1985).

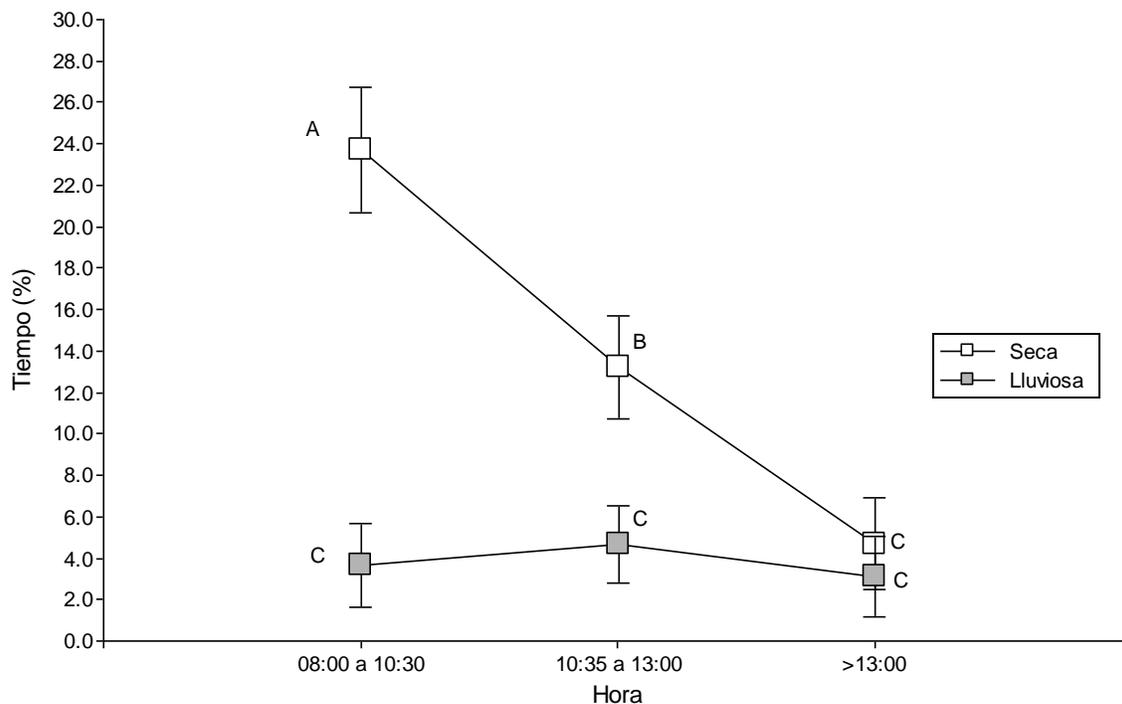


Figura 12. Efecto de la interacción época del año × período del día sobre el tiempo (%) dedicado a caminar.

Cabe también la posibilidad que las interacciones encontradas sean producto de la precipitación y su efecto sobre la disponibilidad de la pastura, tal como mencionan Sala *et al.* (1988), pues en el período de lluvias había suficiente disponibilidad de forraje y eso determinó que las vacas no tuvieran que caminar mucho para encontrar suficiente forraje.

3.4.6.4 Desplazamiento del ganado

La distancia recorrida por las vacas en un lapso de cinco minutos, fue afectada por el estado de lactancia ($p=0,0405$), detectándose que las vacas en el final de lactancia recorrieron en promedio $15,7 \pm 2,4$ m comparado con $9,3 \pm 2,5$ m para aquellas en el inicio de la lactancia (Figura 13).

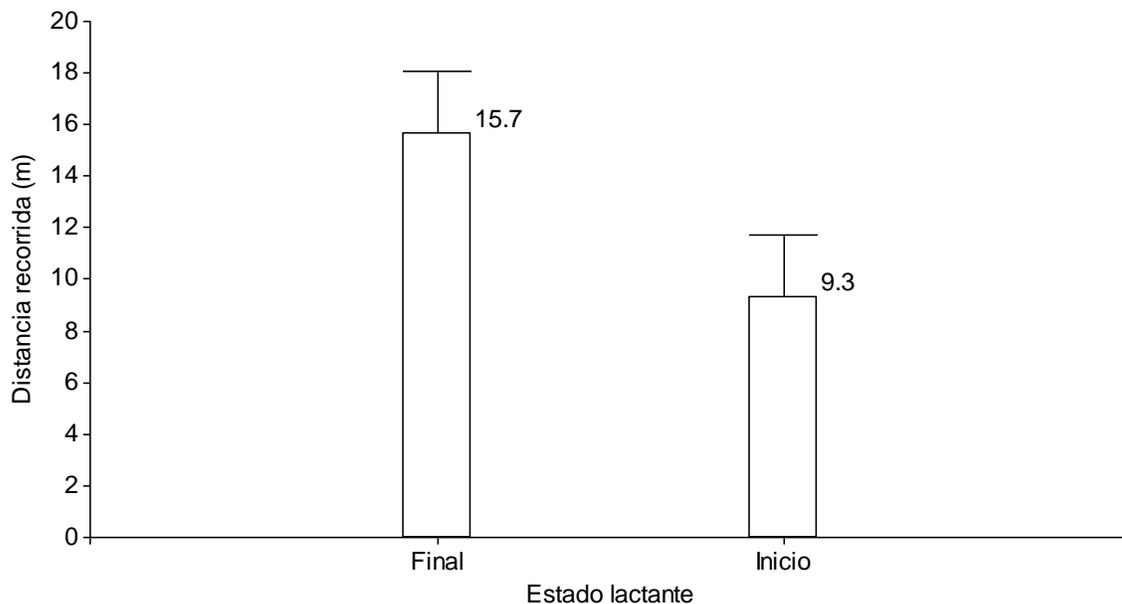


Figura 13. Distancia promedio recorrida (m) por el ganado en función del estadio de lactancia (inicio y final).

También se encontró significancia ($p=0,0388$) para la interacción época del año \times cobertura arbórea (Figura 14). El desplazamiento promedio durante la estación seca, en el nivel medio de cobertura arbórea fue de $14,5 \pm 2,6$ m; mientras que en la estación lluviosa el desplazamiento para el mismo nivel de cobertura fue de apenas $6,3 \pm 1,6$ m. Esta observación confirma lo indicado sobre el efecto de la disponibilidad de forraje sobre el tiempo dedicado a caminar en búsqueda de alimento. Al igual que para el tiempo dedicado a caminar, tampoco se detectó diferencias debidas a la época del año en la distancia recorrida cuando hubo niveles bajo y alto de cobertura arbórea en los potreros.

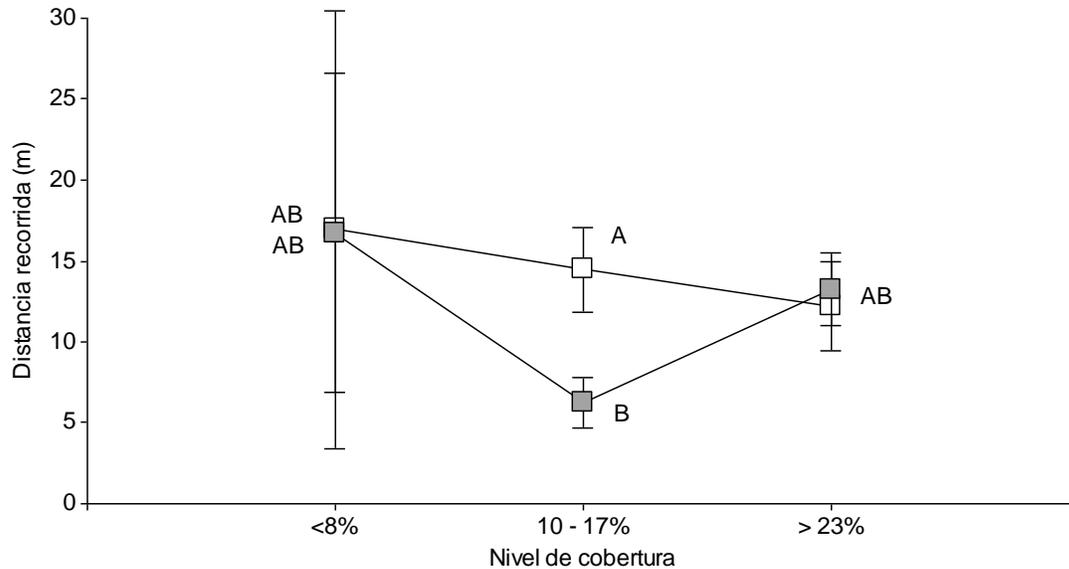


Figura 14. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura arbórea sobre la distancia recorrida (m), por el ganado en pastoreo ⁵

La distancia recorrida en el período diurno se vio afectada ($p=0,0337$) también por la interacción época del año × período de observación durante el día (Figura 15). En las horas más calientes (10:35 a 13:00) las vacas caminaron más en el período seco que en el lluvioso, lo cual puede resultar inesperado, pero cabe anotar que en el período seco los animales consumieron forraje en el corral, y por ese motivo difirieron en alguna medida el inicio del pastoreo hasta el segundo período de observación; en cambio en el período de lluvias el desplazamiento en ese período fue mínimo, pues posiblemente estaban llenas luego de comer entre las 08:00 y 10:30.

⁵ Se graficaron los valores sin el ajuste a la media que realiza el modelo mixto.

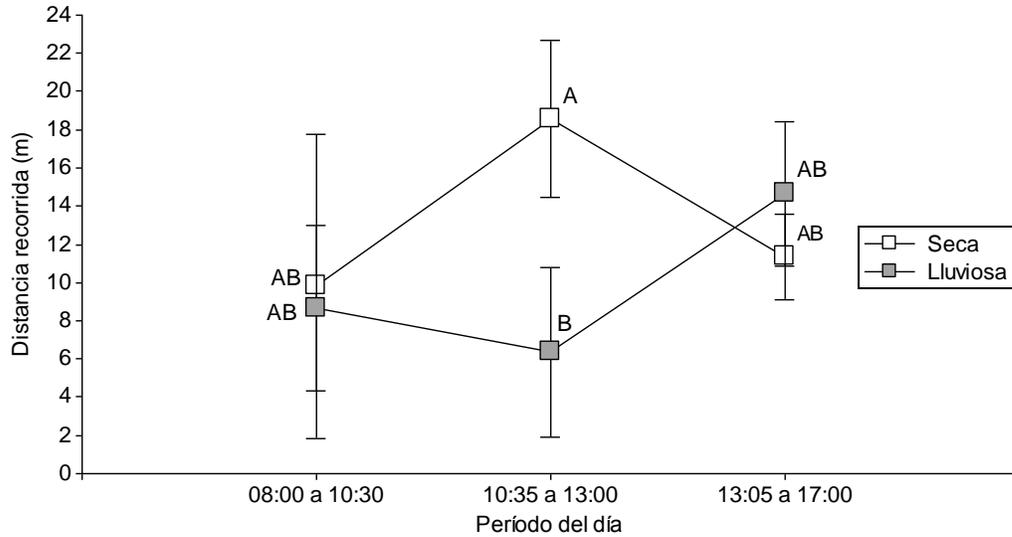


Figura 15. Efecto de la interacción época del año × período del día sobre la distancia recorrida por el ganado en pastoreo

3.4.7 Acostada

El único factor que afectó significativamente ($p=0,0285$) el tiempo dedicado a permanecer acostada durante el día fue la interacción época del año × nivel de cobertura (Anexo 2).

3.4.7.1 Efecto de la época del año y el nivel de cobertura

Durante el período seco y con el nivel de cobertura bajo, se presentó el mayor tiempo en que las vacas permanecieron acostadas durante el día (Figura 16), lo cual coincide pero de manera opuesta con lo observado para el tiempo dedicado a pastorear y caminar. Tal como se ha señalado previamente es posible que este comportamiento esté afectado por la práctica común de ofrecer a las vacas forraje complementario en el corral durante ese periodo (Anexo 5), como una forma de contrarrestar la baja disponibilidad de pastos en los potreros.

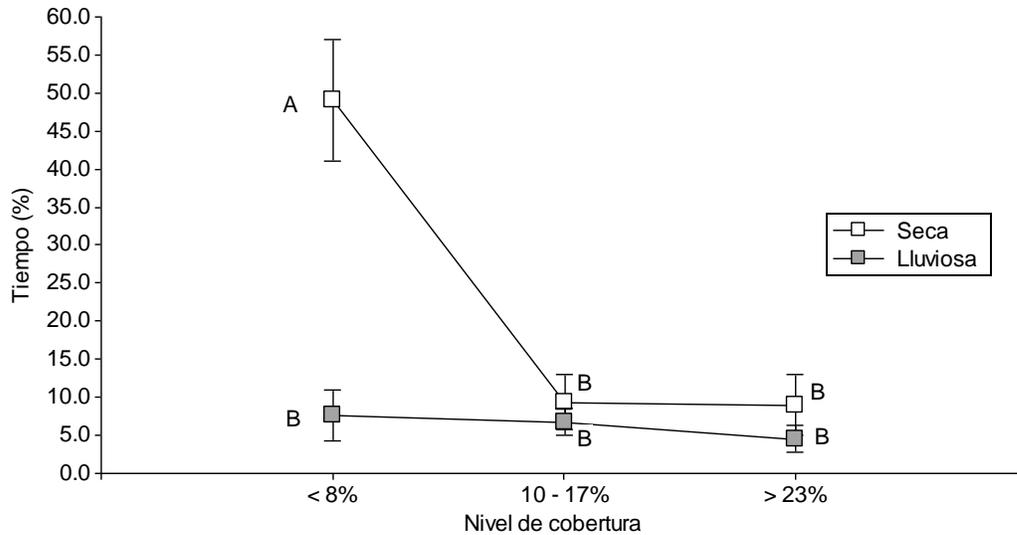


Figura 16. Efecto de la interacción época del año × nivel de cobertura sobre el tiempo que las vacas permanecen acostadas en horas diurnas⁶

Si la cantidad de forraje no fuere limitante en el período seco, una forma de reducir el tiempo que el ganado permanece acostado podría ser la disposición de bloques nutricionales en lugares estratégicos y el aprovisionamiento de agua durante el día (Bailey 2004; Bailey y Welling 2007); dichas estrategias además de reducir el excesivo pisoteo en los pocos sitios sombreados, también podrían contribuir a mejorar la utilización de la dieta y la cantidad de alimento consumido, permitiendo mejorar la producción del ganado en la época seca (Leng 1992).

Hasta cierto punto, los productores reconocen los efectos del clima en las pasturas, por lo que la mayoría de los que colaboraron en el estudio acostumbran a suministrar en el período seco forraje de corte y pollinaza, esta última como suplemento de nitrógeno no proteico (NNP) (Anexo 5). Esto definitivamente debe permitir superar los problemas generados por los bajos niveles de N y la alta proporción de fibra que presentan los pastos durante la época seca.

Krysl y Hess (1993) han demostrado que la suplementación afecta el tiempo dedicado al pastoreo y que los animales pastorean luego de 2 a 3 horas de haber sido suplementados.

⁶ Se graficaron los valores sin el ajuste a la media que realiza el modelo mixto.

Así mismo, Caton y Dhuyvetter (1997), destacan que la suplementación energética, puede modificar los requerimientos de pastoreo en los rumiantes, por la alteración de la conducta de pastoreo o por la influencia en la eficiencia en el uso de los nutrientes.

3.4.7.2 Relación de la actividad acostada con los factores ambientales

Se sabe que la menor presencia de sombra resulta en un mayor estrés calórico para los animales, lo cual obliga a que estos tiendan a permanecer mayor tiempo acostados. Eso se confirma al observar la relación existente entre las variables ambientales con el tiempo que las vacas permanecen acostadas (Cuadro 9) durante la época seca. En esa época no sólo el ITH ($p < 0,0001$) sino también la radiación solar ($p < 0,0001$) fueron las variables que afectaron significativamente dicha respuesta. En contraste, durante la época de lluvias ninguna de las variables ambientales registradas pudo explicar el porqué las vacas permanecieran acostadas. Blackshaw (2003) señala que el tiempo que el ganado pasa descansando no sólo depende de las condiciones ambientales, sino también del tiempo dedicado a otras actividades como son la rumia y el pastoreo, y ese puede ser el caso, al menos en el período de lluvias.

Cuadro 9. Resultado de la prueba de significancia del modelo de regresión logística entre la actividad acostado, el ITH, la velocidad del viento y la radiación solar para la época seca y lluviosa

F.V.	gl	p-valor	
		Seca	Lluviosa
ITH	1	<0.0001	0.8297
Velocidad del viento	1	0.0859	0.3340
Radiación solar	1	0.0010	0.4815

3.5 BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, MHS, de. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 52, 47 p.
- Aguilar, E; Peterson, TC; Obando, PR; Frutos, R; Retana, JA; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, RM; Santos, AR; Valle, VE; Brunet, M; Aguilar, L; Álvarez, L; Bautista, M; Castañón, C; Herrera, L; Ruano, E; Sinay, JJ; Sánchez, E; Oviedo, GIH; Obed, F; Salgado, JE; Vázquez, JL; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Espinoza, CEO; Núñez, R; Haylock, M; Benavides, H; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research* 110(D23107):1-15.
- Altmann, J. 1974. Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour* 49(3/4):227-267.
- Aronson, RB; Givnish, TJ. 1983. Optimal central-place foragers: A comparison with null hypotheses. *Ecology* 64(2):395-399.
- Arronis, D. 2003. Recomendaciones técnicas sobre sistemas intensivos de producción de carne: estabulación, semiestabulación y suplementación estratégica en pastoreo. San José, CR, MAG. 70 p.
- Ayantunde, AA; Fernández-Rivera, S; Hiernaux, PHY; Keulen, Hv; Udo, HMJ; Chanono, M. 2000. Effect of nocturnal grazing and supplementation on diet selection, eating time, forage intake and weight changes of cattle. *Animal Science* 71(2):333-340.
- Bailey, DW. 2004. Management strategies for optimal grazing distribution and use of arid rangelands. *Journal of Animal Science* 82(Suppl):S147-S153.
- Bailey, DW; Welling, GR. 2007. Evaluation of low-moisture blocks and conventional dry mixes for supplementing minerals and modifying cattle grazing patterns. *Rangeland Ecology & Management* 60(1):54-64.
- Barbosa, O; Boza, P; dos Santos, G; Sakagushi, E; Ribas, N. 2004. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas de raça Holandesa durante o verão. *Acta Scientiarum - Animal Sciences* 26(1):115-122.
- Beatty, DT; Barnes, A; Taylor, E; Pethick, D; McCarthy, M; Maloney, SK. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84(4):972-985.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *Journal of Dairy Science* 89(10):3817-3825.
- Betancourt, KE. 2003. Caracterización de sistemas lecheros y efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en la cuenca del río Bulbul de Matiguás,

Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Heredia, CR, Universidad Nacional de Costa Rica. 62 p.

- Blackshaw, J; Blackshaw, A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2):285-295.
- Blackshaw, J. 2003. Notes on some topics in applied animal behaviour (en línea). Queensland, AU, University of Queensland. Consultado 7 mar. 2010. Disponible en <http://www.animalbehaviour.net/JudithKBlackshaw/JKBlackshawWholeBook.pdf>
- Bohmanova, J; Misztal, I; Cole, J. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science* 90(4):1947-1956.
- Bouraoui, R; Lahmar, M; Majdoub, A; Djemali, M; Belyea, R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51(6):479-491.
- Brown-Brandl, T; Eigenberg, R; Nienaber, J; Hahn, G. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90(4):451-462.
- Camero, A; Ibrahim, M; Kass, M. 2001. Improving rumen fermentation and milk production with legume-tree fodders in the tropics. *Agroforestry Systems* 51(2):157-166.
- Castro, CTd; Garcia, R; Carvalho, MM; de Freitas, VP. 2001. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30:1959-1968.
- Caton, JS; Dhuyvetter, DV. 1997. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: Requirements and responses. *Journal of Animal Science* 75(2):533-542.
- Chacon, E; Stobbs, TH. 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 27(5):709-727.
- Chacon, E; Stobbs, TH; Sandland, RL. 1976. Estimation of herbage consumption by grazing cattle using measurements of eating behaviour. *Journal of the British Grassland Society* 31(2):81-87.
- Davis Instrument 2006. Derived variables in Davis weather products:Heat index (en línea). California, US. Consultado 20 Ene. 2010. Disponible en www.davisnet.com/support
- Devkota, N; Kemp, P; Hodgson, J; Valentine, I; Jaya, I. 2009. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. *Agroforestry Systems* 76(2):363-374.

- Di Renzo, J; Casanoves, F; González, L; Tablada, E; Díaz, M; Robledo, C; Belzarini, M. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. 7 ed. Córdoba, AR, Brujas. 356 p.
- Dikmen, S; Hansen, PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92(1):109-116.
- Djoharjani, T; Sarwiyono; Setyowati, E. 1992. Effect of different ways of provision of water on forage intake, milk production and quality in dairy cows. *In* Ibrahim, M; de Jong, R; van Bruchem, J; Purnomo, H. eds. 1992. *Livestock and Feed Development in the Tropics*. Malang, Indonesia. p.348-350 p.
- Esquivel, H. 2007. Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 161 p.
- Finch, VA. 1986. Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science* 62(2):531-542.
- Frazzi, E; Calamari, L; Calegari, F; Stefanini, L. 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *Transactions of the ASAE* 43(2):387-394.
- Fuquay, JW. 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52(1):164-174.
- Gamboa Morillo, HA. 2009. Efecto de la sombra de genízaro (*Albizia saman* Jacq.) y coyote (*Platymiscium parviflorum* Benth.) sobre la productividad primaria neta aérea y la composición química de pastizales seminaturales en fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- García, A; Wright, C. 2007. Efectos del medio ambiente sobre los requerimientos nutricionales del ganado en pastoreo (en línea). South Dakota State University, College of Agriculture & Biological Sciences 4037-S:5. Consultado 22 oct. 2009. Disponible en <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4037-S.pdf>
- Gaughan, JB; Holt, SM; Hahn, GL; Mader, TL; Eigenberg, R. 2000. Respiration rate - is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13(Suppl.):S329-S332.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234.
- Gibb, MJ; Huckle, CA; Nuthall, R; Rook, AJ. 1999. The effect of physiological state (lactating or dry) and sward surface height on grazing behaviour and intake by dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 63(4):269-287.
- Hahn, G. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *American Society of Animal Science* 77(Supl. 2):S10-S20.

- Hahn, GL; Mader, TL. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. *In* Proceedings 5th International Livestock Environment Symposium, ASoAE. ed. 1997. St. Joseph, MI. pp. 563-571.
- Helman, MB. 1977. *Ganadería Tropical*. El Ateneo. 2 ed. Buenos Aires, AR 622 p.
- Holdridge, L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA. 216 p.
- Holtung, H. 2008. Factors attracting cattle to trees: The importance of shade and sub-canopy vegetation. MSc. Thesis. Trondheim, Norway, Norwegian University of Science and Technology. 40 p.
- Huhnke, RL; McCowan, LC; Meraz, GM; Harp, SL; Payton, ME. 2004. Using evaporative cooling to reduce the frequency and duration of elevated temperature-humidity indices in Oklahoma. *Applied Engineering in Agriculture* 20(1):95-99.
- Ibrahim, M; Camargo, J. 2001. ¿Cómo aumentar la regeneración de los árboles maderables en potreros? *Agroforestería en las Américas* 8(32):35-41.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal, NI) 2008. Ficha municipal para el municipio de Belén (en línea). Managua, NI. Consultado 25 oct. 2009. Disponible en <http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/RIVAS/belen.pdf>
- Jahn, E; Arredondo, S; Bonilla, W; Pozo, Ad. 2002. Effect of temperature and energy supplementation on milk production of grazing dairy cows. *Agricultura Técnica* 62(2):245-254.
- Kadzere, CT; Murphy, MR; Silanikove, N; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science* 77(1):59-91.
- Kendall, PE; Nielsen, PP; Webster, JR; Verkerk, GA; Littlejohn, RP; Matthews, LR. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science* 103(1/2):148-157.
- Krysl, LJ; Hess, BW. 1993. Influence of supplementation on behavior of grazing cattle. *Journal of Animal Science* 71(9):2546-2555.
- Langbein, J; Nichelmann, M. 1993. Differences in behaviour of free-ranging cattle in the tropical climate. *Applied Animal Behaviour Science* 37(3):197-209.
- Leng, RA. 1992. *Drought feeding strategies: Theory and practice*. Wales, UK, Penambul Books. 162 p.
- Mader, T; Dahlquist, J; Hahn, G; Gaughan, J. 1999. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *Journal of Animal Science* 77(8):2065-2072.

- Martin, P; Bateson, P. 2007. Measuring behaviour: An introductory guide. 3 ed. Cambridge, UK, Cambridge University. 176 p.
- Mayer, DG; Davison, TM; McGowan, MR; Young, BA; Matschoss, AL; Hall, AB; Goodwin, PJ; Jonsson, NN; Gaughan, JB. 1999. Extent and economic effect of heat loads on dairy cattle production in Australia. *Australian Veterinary Journal* 77(12):804-808.
- Meat & Livestock Australia. 2006. Heat load in feedlot cattle: Feedlot shade structures. Consultado 23 oct. 2009. Disponible en <http://www.mla.com.au/NR/rdonlyres/7C62BAA6-45A7-4F8F-8F54-0697F9B80F96/0/TipstoolsHeatloadinfeedlotcattle2006.pdf>
- Meat and Livestock Australia. 2006. Heat load in feedlot cattle: Feedlot shade structures (en línea). Consultado 23 oct. 2009. Disponible en <http://www.mla.com.au/NR/rdonlyres/7C62BAA6-45A7-4F8F-8F54-0697F9B80F96/0/TipstoolsHeatloadinfeedlotcattle2006.pdf>
- Mitlöhner, FM; Morrow-Tesch, JL; Wilson, SC; Dailey, JW; McGlone, JJ. 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79(5):1189-1193.
- Nardone, A; Ronchi, B; Lacetera, N; Bernabucci, U. 2006. Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications* 30(Supl. 1):S75-S81.
- Nienaber, JA; Hahn, GL. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology* 52(2):149-157.
- Nilsen, AR. 2006. The effect of distance to trees on cattle behaviour in Muy Muy, Nicaragua. MSc. Thesis. Åas, Norway, The Norwegian University of Life Sciences. 22 p.
- Overton, M; Sisco, W; Temple, G; Moore, D. 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science* 85(9):2407-2413.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. CATIE. 2 ed. Turrialba, CR. 276 p. (Colección Módulos de Enseñanza No. 2)
- Proyecto CATIE-NORUEGA / Pasturas Degradadas. 2007. Aprendamos a mirar nuestras vacas: Evaluación de la condición corporal en vacas de doble propósito. Petén, GT, CATIE/NORUEGA. 11 p.
- Rao, M; Nair, P; Ong, C. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38(1):3-50.

- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Rook, A; Huckle, C. 1997. Activity bout criteria for grazing dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 54(2-3):89-96.
- Sala, OE; Parton, WJ; Joyce, LA; Lauenroth, WK. 1988. Primary production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69(1):40-45.
- Schroth, G; Sinclair, F. 2003. Impacts of trees on the fertility of agricultural soils. *In*. 2003. *Trees, crops and soil fertility*. Bangor, UK, CABI. pp. 1-9.
- Schütz, KE; Rogers, AR; Cox, NR; Tucker, CB. 2009. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behaviour, and body temperature. *Applied Animal Behaviour Science* 116(1):28-34.
- Senft, R; Rittenhouse, L; Woodmansee, R. 1985. Factors influencing patterns of cattle grazing behavior on shortgrass steppe. *Journal of Range Management* 38(1):82-87.
- Singh, SV; Upadhyay, RC; Ashutosh. 2008. Impact of temperature rise on bovine production performance under limited available feed resources. *Journal of Farming Systems Research and Development* 14(1):140-143.
- Somarriba, E. 2009. Planificación agroforestal de fincas. Turrialba, CR, CATIE. 98 p. (Serie materiales de enseñanza no.49)
- Steadman, RG. 1979. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology* 18(7):861-873.
- Stobbs, TH. 1973. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. 1. Variation in the bite size of grazing cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 24(6):809-819.
- Van Soest, P. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 da. ed. USA, Cornell University Press. 476.
- Veenendaal, E; Shushu, D; Scurlock, J. 1993. Responses to shading of seedlings of savanna grasses (with different C4 photosynthetic pathways) in Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 9(2):213-229.
- Velásquez Vélez, R. 2005. Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.
- Zapata Arango, PC. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición

florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc.
Turrialba, CR, CATIE. 153 p.

4 ARTÍCULO 2. FRECUENCIA RESPIRATORIA Y TEMPERATURA RECTAL EN GANADO DOBLE PROPÓSITO MANEJADO BAJO PASTOREO EN POTREROS CON DIFERENTE NIVEL DE COBERTURA ARBÓREA, EN EL TRÓPICO SUB-HÚMEDO

4.1 INTRODUCCIÓN

El ganado responde al estrés calórico activando sus mecanismos de autorregulación, entre los que se puede citar: la sudoración excesiva, la respiración con la boca abierta, el jadeo, la salivación excesiva y la preferencia por permanecer echadas a la sombra (Finch 1986; Beatty *et al.* 2006). Sin embargo, cuando estos mecanismos fallan se detectan cambios importantes en los indicadores fisiológicos temperatura rectal y frecuencia respiratoria (Brown-Brandl *et al.* 2005; Tucker *et al.* 2008). Bajo esas condiciones también se puede presentar un descenso en el consumo de alimento (NRC 1984), lo cual debe resultar en pérdida de peso vivo y reducción en la producción de leche (Blackshaw y Blackshaw 1994; Bouraoui *et al.* 2002).

Los árboles en los potreros ayudan a crear un microclima bajo su copa (Rao *et al.* 1997), pues la sombra contribuye a mejorar el intercambio calórico del ganado con el ambiente; además de disipar los efectos nocivos de la radiación solar que también incide en la carga calórica (Tucker *et al.* 2008). En estudios del impacto de la sombra artificial sobre los parámetros fisiológicos, se ha detectado una reducción importante en la frecuencia respiratoria en el ganado (Blackshaw y Blackshaw 1994), y un efecto menor sobre la temperatura rectal (Mitlohner *et al.* 2001). Algo similar fue observado por Abreu (2002) en vacas lactantes que tenían acceso a potreros con árboles.

En la presente investigación se busca determinar el efecto del nivel de cobertura arbórea en potreros sobre la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en ganado lactante de doble propósito manejado bajo pastoreo, y si dicho efecto varían en función del estado de lactancia de las vacas, la época del año, y la hora del día.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de cobertura arbórea en potreros sobre la respuesta fisiológica vacas lactantes de doble propósito manejadas bajo pastoreo sometidas a condiciones ambientales conducentes al estrés calórico.

4.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la cobertura arbórea, el estado de lactancia y la época del año sobre la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en animales que pastorean en el trópico subhúmedo.
- Evaluar las relaciones entre las condiciones ambientales y los parámetros fisiológicos (temperatura rectal y frecuencia respiratoria) en el ganado lactante manejado bajo pastoreo.

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1 Parámetros fisiológicos del ganado

4.3.1.1 Temperatura rectal (TR)

Para la determinación de la temperatura rectal se usó un termómetro digital con una precisión de $\pm 0,1$ °C, el cual se introdujo por vía rectal hasta una profundidad aproximada de 6 cm; efectuando la primera medición entre 06:00-10:30. Las otras dos lecturas se tomaron entre 10:35 y 13:00, y entre 13:05 y 17:00.

4.5.2.2 Frecuencia respiratoria (FR)

Para la determinación de la frecuencia respiratoria se contó el número de veces que se ensancha o se contrae la zona torácica del animal, en un período de 60 segundos; para lo cual se utilizó un cronómetro y un contador manual. Durante la estación seca, las mediciones se tomaron contando el movimiento de los flancos de la vaca; pero en la estación lluviosa el registro de la FR fue realizado por dos personas; una registrando el movimiento de los belfos, y la otra contando el movimiento de los flancos para luego promediar los valores obtenidos. La variable FR se obtuvo luego de medir la TR.

4.3.2 Variables ambientales

Para determinar el efecto del ambiente sobre los parámetros fisiológicos, se determinó la radiación solar (W/m^2), temperatura ambiente al sol y a la sombra (°C), velocidad del viento (m/s), humedad relativa, y el punto de rocío utilizando una estación meteorológica portátil, pero además se estimó el Índice de Temperatura-Humedad (ITH) propuesto por Hahn y Mader (1997).

4.3.3 Medición de temperatura y humedad relativa bajo los árboles

Para determinar los valores de la temperatura (°C), la humedad relativa (%), punto de rocío (°C) y temperatura del bulbo húmedo (°C) bajo los árboles presentes en los potreros, se emplearon termo-higrómetros⁷, los cuales tienen una precisión de ± 1 °C para la temperatura; y $\pm 3\%$ para la humedad relativa a 25 °C y 30 a 95% HR, ó $\pm 5\%$ a 25 °C y entre 10 y 30% de HR.

⁷ Extech Modelo EA25, Extech Instruments, Waltham, Massachusetts, USA

Los termo-higrómetros se colocaron bajo la copa de los árboles en aquellas áreas que los animales permanecieron con mayor frecuencia. El termo-higrómetro se mantuvo bajo el mismo árbol durante una hora, y se efectuaron dos lecturas (a intervalos de 30 minutos), o cuatro lecturas (cada 15 minutos). Las mediciones se realizaron entre los meses de mayo a agosto. Las repeticiones no fueron consistentes en el tiempo y espacio, dado que esto dependía de los potreros que estuvieran pastoreando los animales al momento de la medición, y éstos no siempre coincidieron en los diferentes ciclos de evaluación.

La diferencia de la temperatura obtenida por fuera y bajo la copa de los árboles se relacionó con el índice de área foliar (LAI), para lo cual se emplearon los datos registrados por Olivero (2010).

4.4 Análisis estadístico

4.4.1 Prueba de normalidad

Para la tasa de respiración, se realizó una prueba de normalidad de *Poisson* ya que las mediciones corresponden a conteos. En dicha prueba se evaluó los supuestos de la distribución normal, a saber: homocedasticidad e independencia (Di Renzo *et al.* 2008); sin embargo, no fue necesaria ninguna transformación para el análisis de los datos ya que la prueba arrojó normalidad en los datos.

4.4.2 Diseño experimental

Las variables de respuesta fueron la TR (°C) y la FR (resp/min), para lo cual el modelo lineal empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + S_j + R_m(S_j) + E_k + S_j E_k + \text{Error B} + T_1 + T_1 S_j + T_1 E_k + T_1 S_B E_k + \varepsilon_{ijklm}$$

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general

C_i = Efecto de la época del año

S_j = Efecto del factor nivel de cobertura

$R_m(S_j)$ = Repetición del nivel de cobertura arbórea, término de Error A

E_k = Estado de lactancia

$S_j E_k$ = Efecto de la interacción nivel de cobertura \times estado de lactancia

Error B para las subparcelas

T_1 = Tiempo (momento del día)

T_1S_j = Efecto de la interacción tiempo \times nivel de cobertura

T_1E_k = Efecto de la interacción tiempo \times estado de lactancia

$T_1S_jE_k$ = Efecto de la interacción tiempo \times nivel de cobertura \times estado de lactancia

ϵ_{ijklm} = Error experimental para las sub-subparcela

Debido al desbalance en los datos, se omitieron los efectos aleatorios en el modelo.

4.5 Análisis de la información

Se utilizaron modelo mixtos para determinar el análisis de los factores bajo estudio sobre la TR y la FR, y las comparaciones múltiples de medias se realizaron a partir del análisis de varianza (ANDEVA), utilizando la prueba LSD de Fisher a un nivel de significancia del 0,05.

Así también, se empleó un análisis de componentes principales para evaluar el efecto de las variables ambientales sobre la TR y la FR; y se confeccionaron gráficos *biplot* para representar esas relaciones. Para las comparaciones de los valores de temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), bulbo húmedo ($^{\circ}\text{C}$) y punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$) fuera y bajo la copa de los árboles, se utilizó una prueba de diferencias para datos apareados usando la prueba de T.

4.6 RESULTADOS

4.6.1 Temperatura rectal

La temperatura rectal (TR) fue afectada significativamente por el factor período del día, y por la interacción época × cobertura arbórea (Anexo 3). En el Cuadro 10 se presentan las estadísticas para la TR en función de la época del año y el período del día, notando que en la época lluviosa se registraron valores ligeramente mayores a los observados en el período seco.

Cuadro 10. Estadística descriptiva para la TR (°C) de vacas doble propósito manejadas bajo pastoreo en tres períodos el día; durante las épocas seca y lluviosa

Época	Hora	n	Media	E.E.	Mín	Máx
Seca	06:00 -10:30	42	37,85	0,09	36,4	38,8
	10:35 - 13:00	14	38,09	0,12	36,8	38,6
	13:05 -17:00	28	38,44	0,08	36,7	39,3
Lluviosa	06:00 -10:30	26	38,14	0,07	37,4	38,7
	10:35 - 13:00	26	38,49	0,08	37,5	39,4
	13:05 -17:00	26	38,61	0,11	37,5	39,7

4.6.1.1 Efecto de la hora del día

La TR tendió a incrementarse linealmente a medida que transcurrió el día ($p < 0,0001$) (Figura 17); y esta tendencia es similar a la observada para el ITH. Ese incremento paulatino en la TR evidencia el efecto acumulativo del calor a medida que transcurre el día, posiblemente porque los animales no fueron capaces de disipar el calor acumulado en horas de la mañana (Gaughan *et al.* 2008). Brown-Brandl *et al.* (2005) y Beatty *et al.* (2006) destacan que cuando la TR supera los 38 °C es indicativo que el ganado vacuno se encuentra bajo estrés calórico, por lo que se puede inferir que dicha situación se manifestó sólo después de las 10:30, pues en las primeras horas del día (entre 06:00 y 10:30) la TR estuvo todavía influenciada por las bajas temperaturas nocturnas (Brown-Brandl *et al.* 2005). Por su parte Tucker *et al.* (2008), argumentan que las vacas que usan la sombra para regular la temperatura corporal durante el día, tienen suficiente energía para enfriarse por la

noche, lo cual tiene implicaciones en una baja temperatura corporal en la mañana del siguiente día.

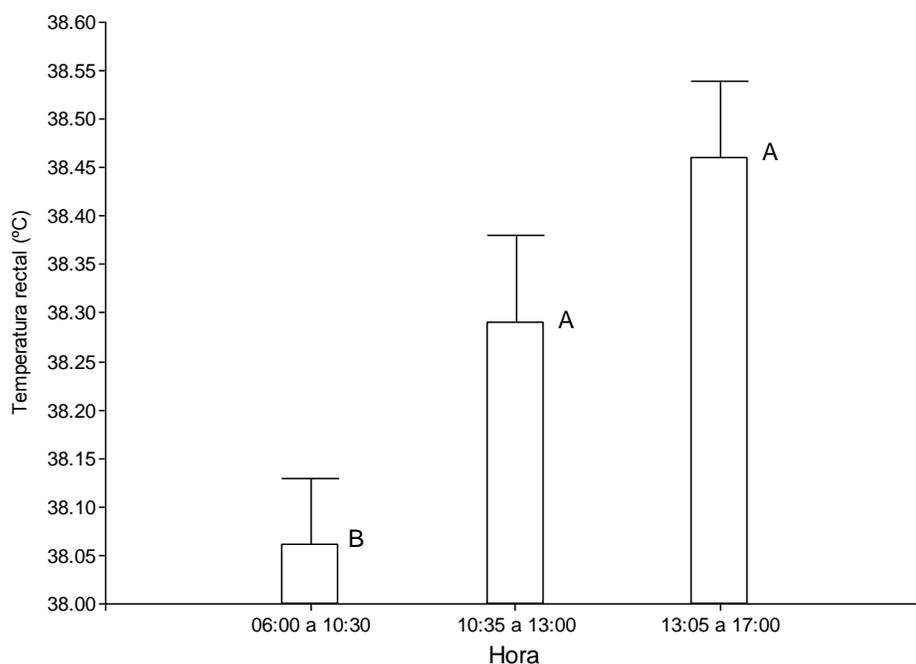


Figura 17. Temperatura rectal promedio (°C) del ganado lactante en los tres períodos de observación a lo largo del día

4.6.1.2 Interacción época × nivel de cobertura

La interacción entre la época del año y el nivel de cobertura tuvo un efecto significativo ($p= 0,0422$) sobre la TR. Los valores de TR no fueron afectados por la cobertura arbórea durante la época de lluvias; en cambio, en la época seca, se obtuvieron los mayores valores de TR con la mayor cobertura arbórea (Figura 18). Varios argumentos se podrían usar para explicar esta respuesta. Por un lado, la cobertura arbórea puede ayudar a reducir la temperatura ambiente, pero a la vez contribuye a incrementar la humedad relativa, y ello dificulta la disipación del calor por evaporación, resultando en un incremento de la TR (West 2003). Otra explicación podría ser que el animal busque realizar la rumia bajo la sombra de los árboles, y se sabe que la actividad fermentativa en el rumen puede contribuir al incremento de la temperatura corporal cuando la cantidad de celulosa y carbohidratos estructurales en la dieta proceden de forrajes tropicales maduros (Van Soest 1994), y ese tipo de forrajes son los que predominan en el período seco. Por ello, Shirley (1986) sugiere

el uso de dietas bajas en fibras durante el período más caluroso del año, como una estrategia para bajar la TR y mejorar la producción de leche.

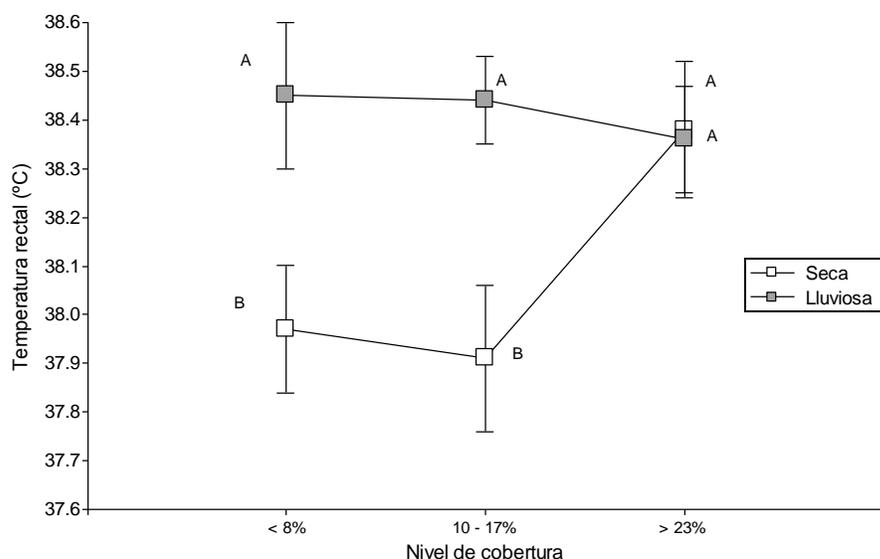


Figura 18. Interacción época × nivel de cobertura para la variable temperatura rectal (°C) en el ganado lactante manejado bajo pastoreo en la época seca y lluviosa

4.6.1.3 Efecto del ambiente

El ITH guarda una relación lineal positiva con la temperatura rectal ($p < 0,0001$), pero cuando se utilizaron todas las observaciones colectadas entre las 06:00 y las 17:00 horas se determinó que el coeficiente de determinación (r^2) para la predicción de TR en función de ITH fue de apenas 0,40 (Figura 19).

Brown-Brandl *et al.* (2005) señalan que el tiempo de exposición al sol tiene importancia en el calor ganado encontrándose que un 56% del calor obtenido se debe a la temperatura ambiental. Resultados similares fueron aportados por Dikmen y Hansen (2009) quienes encontraron que un 51% de la variación de la TR fue explicada por el ITH, además sugieren que la fracción no explicada por el modelo, quizá se deba al calor metabólico, o al calor producido por el desplazamiento del ganado.

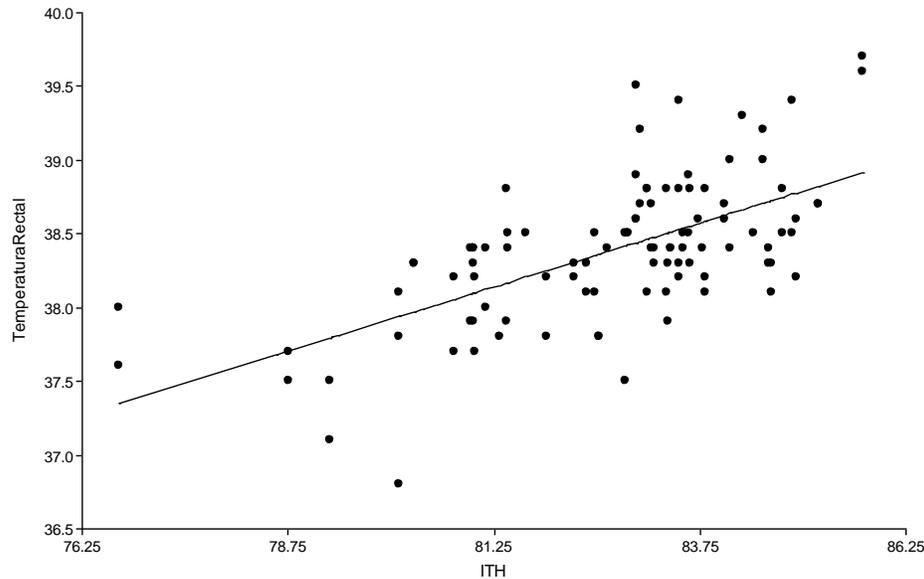


Figura 19. Regresión lineal entre las variables temperatura rectal y el ITH, para cruces de ganado *Bos taurus* × *Bos indicus*

Por lo anterior, se realizó un análisis de regresión entre variables ambientales y los parámetros fisiológicos, encontrando que durante la estación seca el viento ejerció un efecto benéfico en la reducción del estrés calórico, el cual se manifiesta en la reducción de la TR, ($r = -0,51$; $p < 0,001$) (Cuadro 11). Se sabe que el viento ayuda a que el animal disipe calor, pero además es posible que la sudoración sea de mucha importancia en la época seca, más aún que al trabajar con animales cruzados con *B. indicus*, pues se ha visto que los animales tipo cebú presentan un mayor número de folículos por unidad de superficie de piel que los animales de raza europea. Los valores observados para ganado *B. indicus* y *B. taurus* son 1698 y 1064/cm² respectivamente (Dowling 1955).

La correlación entre el ITH y la TR registrada quizá sea producto que los genotipos animales predominantes (cruces de *Bos taurus* × *Bos indicus*) presentan una zona de termoneutralidad más amplia que el ganado europeo *B. taurus* y están más adaptados a las condiciones cálidas; por lo tanto toleran de mejor manera el estrés calórico potencial provocado por las condiciones ambientales propias de las áreas tropicales bajas.

Cuadro 11. Correlación de Pearson entre la temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%), punto de rocío (°C), velocidad del viento (m/s), radiación solar (W/m²), ITH, temperatura rectal –TR (°C), frecuencia respiratoria –FR (resp/min) para (a) época seca, y (b) época lluviosa. Los coeficientes de correlación se muestran debajo de la diagonal formada por el número uno (1,0) y las probabilidades se presentan por encima de dicha diagonal.

a) Época seca

	Temp	Humedad Rel	Pto Rocío	Vel Viento	Rad Solar	ITH	TR	FR
Temp	1,0	6,30 *10 ⁻⁶	0,07	0,01	0,05	0	6,80*10 ⁻⁸	3,00*10 ⁻³
Hmedad R	-0,54	1,0	1,30*10 ⁻⁹	0,51	0,01	0,93	0,09	5,80*10 ⁻⁴
Pto Rocío	0,24	0,68	1,0	2,30*10 ⁻³	0,27	6,90*10 ⁻¹¹	2,20*10 ⁻³	0,16
Viento Vel	-0,34	-0,09	-0,38	1,0	3,50*10 ⁻³	1,90*10 ⁻⁴	1,60*10 ⁻⁴	0,41
Rad Solar	0,25	-0,33	-0,14	0,37	1,0	0,44	0,65	0,86
ITH	0,84	-0,01	0,72	-0,46	0,1	1,0	9,60*10 ⁻⁹	0,18
TR	0,68	-0,24	0,42	-0,51	-0,07	0,71	1,0	0,07
FR	0,37	-0,43	-0,18	-0,11	0,02	0,17	0,19	1,0

b) Época lluviosa

	Temp	Humedad Rel	Pto Rocío	Vel Viento	Rad Solar	ITH	TR	FR
Temp	1,0	0	1,70*10 ⁻⁷	0,27	3,70*10 ⁻¹⁰	0	3,90*10 ⁻⁷	1,10*10 ⁻⁴
Humedad Rel	-0,96	1,0	3,40*10 ⁻³	0,20	1,20*10 ⁻⁹	0	6,60*10 ⁻⁶	6,30*10 ⁻⁴
Pto Rocío	0,64	-0,39	1,0	0,55	1,10*10 ⁻³	1,30*10 ⁻¹¹	3,80*10 ⁻⁴	4,60*10 ⁻³
Vel Viento	0,15	-0,18	0,08	1,0	0,07	0,25	0,98	0,26
Rad Solar	0,73	-0,71	0,43	0,25	1,0	2,00*10 ⁻⁹	0,07	0,36
ITH	0,98	-0,89	0,76	0,16	0,70	1,0	3,50*10 ⁻⁷	1,40*10 ⁻⁴
TR	0,63	-0,58	0,47	-3,80*10 ⁻³	0,25	0,63	1,0	4,10*10 ⁻⁶
FR	0,50	-0,45	0,38	-0,16	0,13	0,50	0,48	1,0

4.6.2 Frecuencia respiratoria

La frecuencia respiratoria (FR) fue afectada significativamente sólo por los efectos simples de los factores bajo estudio, a saber época del año, período del día y nivel de cobertura (Anexo 3).

4.6.2.1 Efecto de la época

Los mayores valores ($p < 0,0001$) de FR se registraron en la época lluviosa (Figura 20), y esto posiblemente esté asociado a la combinación de temperatura ambiente y humedad relativa altas (Schütz *et al.* 2008). Esta combinación conduce al estrés calórico en el animal, pues la humedad relativa alta reduce la capacidad para disipar el calor por medio de la

evaporación (West 2003); además que disminuye la efectividad del enfriamiento evaporativo a través de la sudoración y la respiración (Blackshaw y Blackshaw 1994). Es por ese motivo que en este estudio se ha insistido en el uso del ITH para relacionar los factores ambientales con los parámetros fisiológicos indicativos del estrés calórico. Condiciones ambientales similares a las registradas en este estudio fueron encontradas por Abreu (2002) quien reportó mayor humedad relativa y bajo efecto del viento en la época lluviosa.

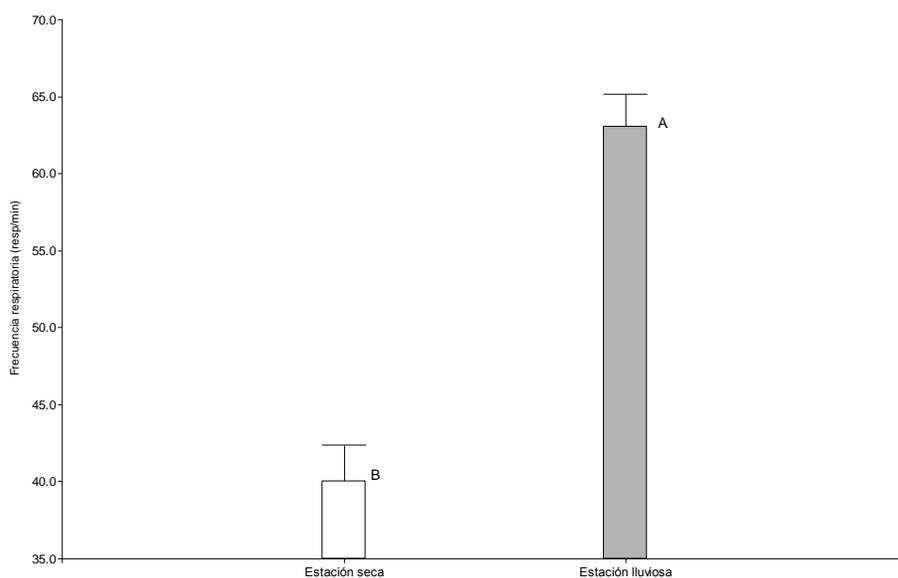


Figura 20. Frecuencia respiratoria promedio (resp/min) del ganado lactante en función de la época del año.

Los resultados de este estudio coinciden con lo señalado por Gaughan *et al.* (2000), quienes demostraron que la FR no sólo responde a la temperatura ambiente, sino que es influenciado por otros factores como es la condición corporal. Por otro lado, Finch (1985) menciona que bajo condiciones de carga calórica excesiva, la respiración contribuye únicamente a la pérdida de un 15% del calor; el resto debe ser liberado a través de conducción, convección, radiación y evaporación por la superficie del cuerpo, pero algunos de estos mecanismos de disipación de calor no funcionan eficazmente en condiciones de humedad relativa alta, como la registrada en la época de lluvias (Cuadro 2).

En términos generales se puede señalar que la época lluviosa fue más estresante para el ganado, por ello al medio día las vacas tomaron respiraciones profundas entre las respiraciones normales, lo cual puede atribuirse a valores altos de temperatura y humedad relativa o a la combinación de ambas. Estos también ha sido reportado por Brown-Brandl *et al.* (2005), quien en condiciones ambientales extremas, destacan la presencia de un incremento en la ventilación alveolar por el ganado, lo cual corresponde a tomar bocanadas profundas de aire en medio de la respiración.

4.6.2.2 Efecto de la hora del día

La FR presentó diferencias debidas a la hora del día ($p= 0,0113$), la cual siguió un patrón similar al observado para la TR, con incrementos a medida que avanzó el período de observación diurna (Figura 21). Se sabe que el incremento en la FR es una estrategia del ganado para regular la carga calórica (Brown-Brandl *et al.* 2005), por lo cual se presume que estos cambios podrían estar asociados con el efecto acumulativo de las condiciones conducentes al estrés calórico, como son el aumento de la temperatura (Cuadro 2) y del ITH (Cuadro 3) a medida que avanza el día.

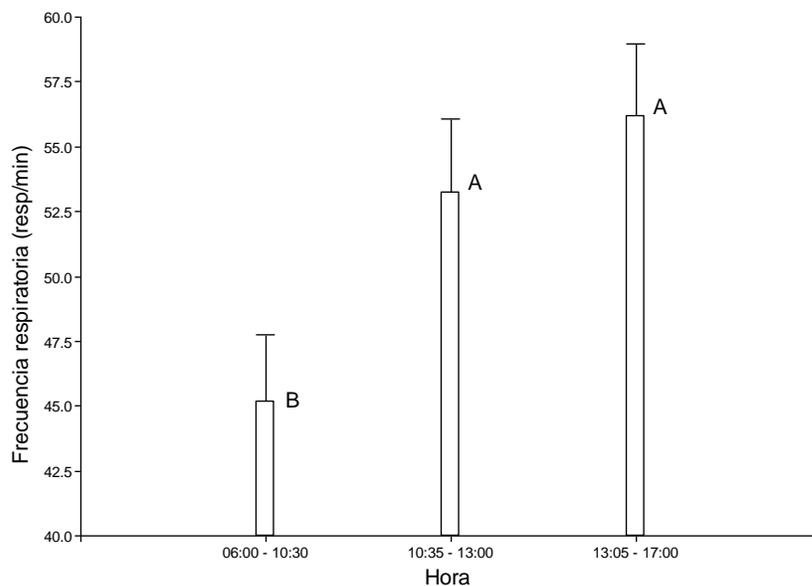


Figura 21. Frecuencia respiratoria promedio (resp/min) para el ganado lactante, en función del período del día

4.6.2.3 Efecto de la cobertura arbórea

La cobertura arbórea en los potreros también influyó la TR ($p=0,0020$), tal como se muestra en la Figura 22. Los valores más altos en TR ($58,6 \pm 2,5$) se presentaron a un nivel de cobertura media (10-17%); en cambio los valores inferiores de TR, se obtuvieron en el nivel alto y bajo de cobertura arbórea ($44,7 \pm 3,0$ y $51,3 \pm 2,7$ respectivamente).

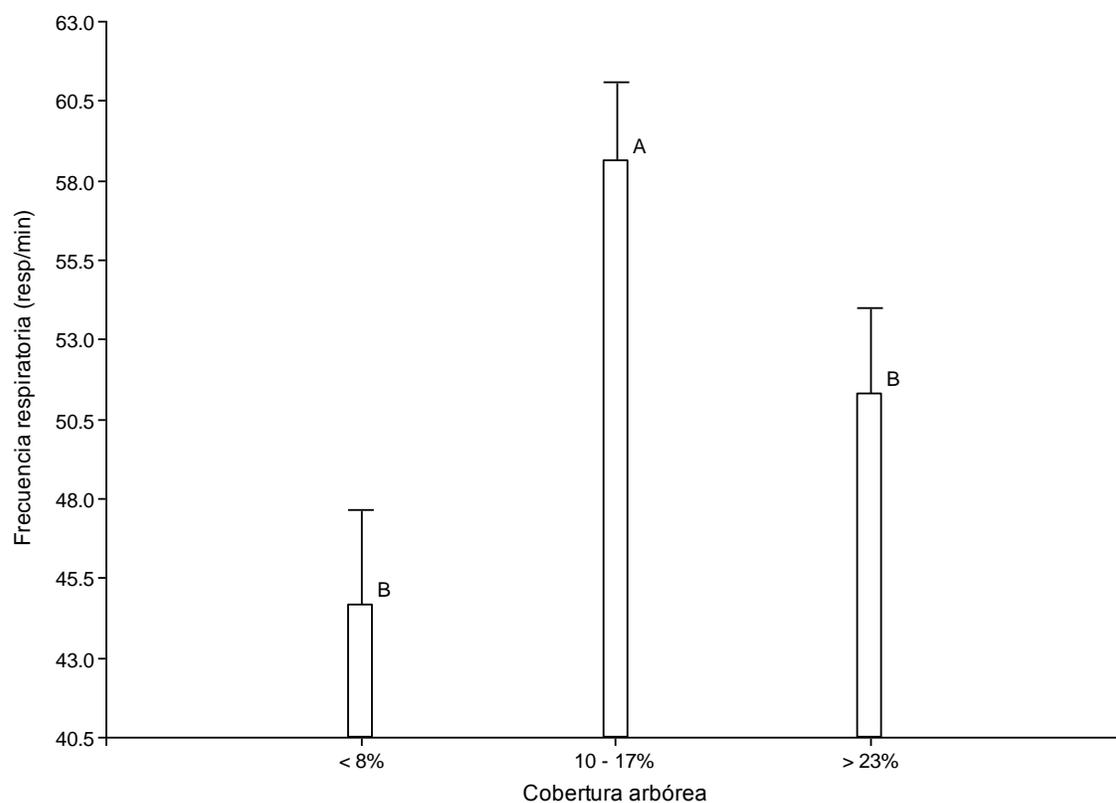


Figura 22. Frecuencia respiratoria (resp/min), del ganado lactante en función del nivel de cobertura arbórea en los potreros

No resulta fácil explicar el comportamiento de la FR en función de la cobertura arbórea, pero es posible que el menor ejercicio efectuado por el ganado en los potreros con baja cobertura haya incidido en valores más bajos de FR; en contraste, la mayor actividad física de desplazamiento efectuada por el ganado en los potreros con cobertura media puede haber resultado en un incremento de la FR.

Gaughan *et al.* (1999) mencionan que 20 a 60 respiraciones/min indican que el ganado está dentro de la zona de termoneutralidad; pero cuando se incrementa a niveles entre 80 y 120

respiraciones/min, el ganado está bajo un estrés calórico moderado. Con base a esos parámetros de referencia y los valores de FR observados en el presente estudio se podría decir que los animales no estuvieron sufriendo de estrés calórico, pese que la temperatura ambiente y humedad relativa fueron altas, pero hay que tener presente que se ha trabajado con animales cruzados *B. taurus* × *B. indicus* que están mejor adaptados a las condiciones tropicales de clima caliente (Beatty *et al.* 2006).

4.6.3 El ambiente y el balance térmico en el ganado

Durante 11 días (12/3, 13/3, 16/3, 8/4, 9/4, 12/4, 13/4, 15/4, 16/4, 3/5, 13/5) del período bajo estudio, la temperatura promedio superó los 32 °C, que es el umbral para el estrés calórico fijado por Singh *et al.* (2008) para el ganado *Bos indicus*. Por otro lado en el Cuadro 3 se resumen los valores para el ITH para tres periodos del día, en función de la época, del año.

De igual manera, se ha observado que el viento es un factor importante en la zona, por ello muchos productores usan bombas con aspas impulsadas por el viento para extraer agua de pozos en la época seca. Pero además el viento puede ayudar a reducir el calor corporal del ganado (Bohmanova *et al.* 2007; Dikmen y Hansen 2009); por ello se ha evaluado su impacto sobre la TR y la FR (Huhnke *et al.* 2004; Berman 2006).

4.6.3.1 Efecto del ambiente sobre los parámetros fisiológicos

Para evaluar el comportamiento de las variables de respuesta respecto a las variables ambientales, se confeccionó un gráfico *biplot* (Figura 23), en el cual también se incluyó el ITH, pues el mismo se ha citado que es un buen indicador del estrés calórico en el ganado (Bouraoui *et al.* 2002).

Para la época seca (Figura 23a), el eje 1 del gráfico representa el 42% de la inercia y el eje 2 explica el 24%. En dicho periodo las variables ambientales con mayor peso en el eje 1 son la temperatura ambiente (0,49) y la velocidad del viento (-0,29). Además se observa una alta relación de la TR con el ITH y de la FR con la temperatura ambiente. Por el contrario, se encontró que la TR no tiene relación con la radiación solar, la cual sugeriría que esta no contribuye a incrementar la carga calórica del animal, pero si tiene relación con la temperatura ambiente (Mader *et al.* 2006).

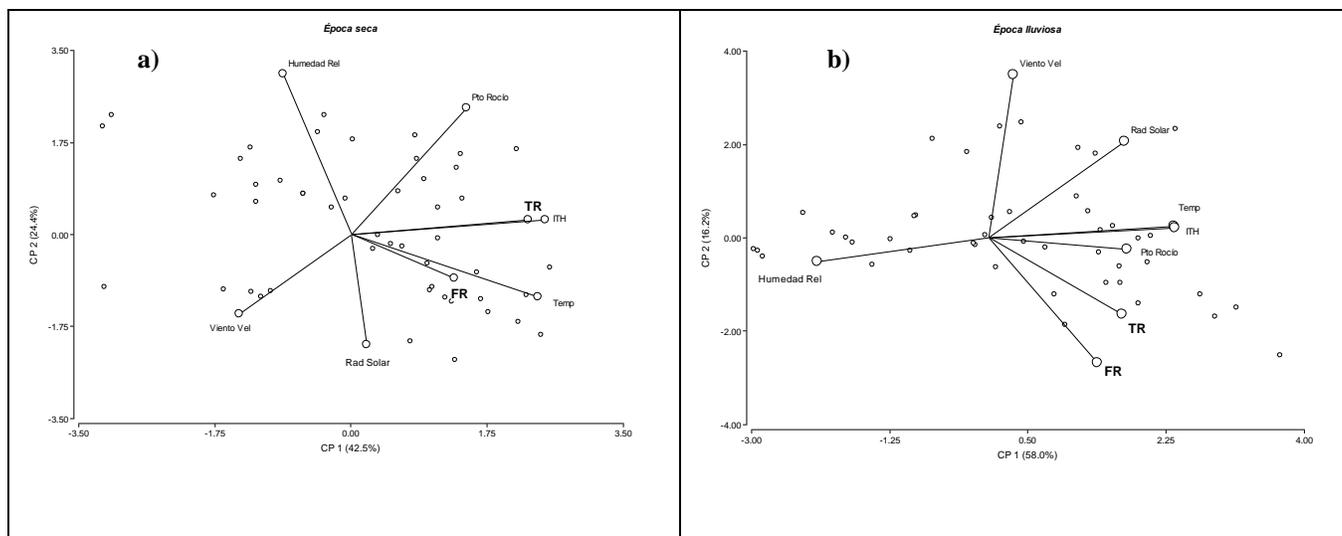


Figura 23. Gráfico *biplot* para la relación espacial entre la temperatura rectal TR (°C) y la frecuencia respiratoria FR (resp/min); con la temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), radiación solar (W/m²), velocidad del viento (m/s) e ITH en dos épocas; (a) seca, y (b) lluviosa.

Para la época lluviosa (Figura 23b), el eje 1 explica el 58% de la inercia y el eje 2 explica el 16%. En este período, las variables ambientales de mayor peso en el eje 1 son la temperatura ambiente (0,45) y la humedad relativa (-0,42). Aquí se observa que la TR y la FR se encuentran asociadas al punto de rocío, el cual es un buen indicador de la disipación de calor por evaporación en condiciones cálidas y secas (Kadzere *et al.* 2002). Por lo mencionado anteriormente, se podría afirmar que en la época seca la evaporación contribuyó al enfriamiento del ganado ya que los valores del punto de rocío registrados fueron mayores que en la época lluviosa. Con base a los resultados obtenidos se considera que en la zona donde se desarrolló esta tesis, el índice de sensación térmica a utilizar para la época seca debería incluir además una variable que tome en cuenta el efecto refrescante del viento.

Por otra parte, para identificar las relaciones entre las variables de respuesta fisiológica (FR y TR), respecto a las variables de carácter climático, se corrió el análisis de correlación múltiple que se presenta en el Cuadro 11. La TR y la velocidad del viento mostraron una relación negativa durante la época seca ($r = -0,51$; $p < 0,001$); lo cual confirma lo observado por Berman (2006) quien indica que el viento atenúa los impactos negativos de aquellos factores ambientales que contribuyen al estrés calórico del ganado. Se sabe que el viento

ayuda a que el animal disipe el calor, e incluso es posible que la sudoración sea de mucha importancia en la estación seca. Además al tratarse de ganado cruzado, este tiene algunas de las ventajas del ganado *Bos indicus* para adaptarse a los climas calientes como es la menor tasa metabólica que el ganado *B. taurus*, la facilidad de pérdida de calor por los pliegues de la piel, mayor número de glándulas sudoríparas, pelo corto y una buena distribución de la grasa en la zona intermuscular y en la giba (Turner 1980).

Por otro lado se encontró una relación negativa entre la temperatura ambiente y la humedad relativa, pero este valor fue mayor en la época lluviosa que en la seca ($r = -0,96$ y $-0,54$, respectivamente) (Cuadro 11). Además, se encontró que en la estación lluviosa el ITH tiene una relación lineal con la radiación solar ($p < 0,0001$), ($r^2 = 0,70$), y esta última ha sido identificada como contribuyente a la carga calórica en el ganado (Mader *et al.* 2006).

El ITH no fue tan buen predictor de la FR en la época seca, como lo fue en la época lluviosa ($r = 0,17$ y $0,50$, respectivamente). En la época de lluvias la temperatura ambiente también se correlacionó de manera aceptable con la FR ($r = 0,50$), pero en la época seca mostró una correlación más baja ($r = 0,37$). Esto aparentemente contradice lo encontrado por otros autores (Brown-Brandl *et al.* 2005) respecto a las relaciones entre temperatura ambiente y FR, pero hay que tomar en cuenta que muchos de estos estudios se refieren a ganado europeo (*B. taurus*), y que en este estudio en pocas ocasiones la temperatura superó los 30 °C, temperatura por encima de la cual Dale y Brody, citado por Blackshaw y Blacshaw (1994), detectaron que ocurrían incrementos en la frecuencia respiratoria.

4.6.4 Los árboles como agentes reductores del estrés calórico

En las fincas evaluadas, los árboles constituyen una forma práctica y barata para atenuar los efectos adversos del clima. Holtung (2008), encontró que el ganado mostró preferencia por la sombra de los árboles, comparado con la sombra artificial de sarán, y quizá esto se deba a que los árboles combinan el efecto de reducir la temperatura ambiente bajo su copa con la de proteger al ganado de los rayos solares.

4.6.4.1 Efecto de los árboles sobre las variables ambientales

En términos generales, los árboles ejercieron un efecto reductor de la temperatura, pero incrementaron la humedad relativa bajo su copa, (Cuadro 12). Esto confirma el que los

árboles crean un efecto microclimático bajo su copa, pues la temperatura se redujo en 1,49 °C ($p < 0,0001$); en cambio la humedad relativa se incrementó hasta en 4,5 unidades en por ciento ($p < 0,0001$). Por otro lado, el punto de rocío, que es un indicador de liberación de calor en climas con temperaturas extremas (Kadzere *et al.* 2002), fue inferior bajo la copa de los árboles (0,51 °C), de manera que el ganado necesitaría menor temperatura para refrescarse bajo la sombra de estos árboles,. Por otro lado, la temperatura de bulbo húmedo que indica la temperatura necesaria para refrescar un cuerpo en función de la humedad relativa y el viento, también fue inferior bajo la copa de los árboles (0,69 °C).

Cuadro 12. Diferencias en temperatura ambiente, humedad relativa, punto de rocío y temperatura del bulbo húmedo; fuera y bajo la sombra de los árboles preferidos por el ganado.

Variable	n	Diferencia Promedio	T	p(Bilateral)
Temperatura (°C)	45	-1,49	5,64	<0,0001
Humedad Relativa (%)	46	+4,52	-6,23	<0,0001
Punto de rocío (°C)	45	-0,51	2,91	0,0057
Bulbo húmedo (°C)	44	-0,69	3,80	0,0005

4.6.4.2 Especies de sombra preferidas por el ganado

No todas las especies de árboles presentes en los potreros mostraron el mismo efecto para atenuar el estrés calórico. En el Cuadro 13 se muestran las diferencias entre las mediciones a pleno sol y bajo la copa de los árboles tomadas entre las 09:00 y 16:00 horas, para 11 especies encontradas frecuentemente en los potreros. Los valores positivos denotan incremento, mientras que los negativos descenso para las cuatro variables evaluadas.

Las especies presentes en los potreros son producto de la selección del productor, y algunas de ellas se encuentren agrupadas, tal es el caso de *Byrsonima crasifolia* y *Pithecelobium dulce*, las cuales presentaron los valores más altos en cuanto a la reducción de temperatura y humedad relativa. El efecto reductor de la temperatura cuando los árboles están agrupados es superior que en árboles dispersos, porque se incrementa la intercepción de luz. Por otro lado, si bien *C. caracasana*, crece de forma aislada, esta posee muchos tallos y

hojas grandes de hasta 30 cm de largo y de 10 cm de ancho, lo cual le permite crear condiciones frescas bajo su copa, lo que quizás coadyuve a reducir la transpiración en el ganado.

Cuadro 13. Incremento (+) o descenso (-) para: temperatura (temp °C), humedad relativa, punto de rocío, y bulbo húmedo; para la posición “bajo copa” de 11 especies arbóreas.

Especie	Altura promedio (m)	Grupo fenológico	Temp (°C)	Humedad Relativa (%)	Punto de rocío (°C)	Bulbo húmedo (°C)
<i>Byrsonima crassifolia</i>	12	PER	-2,95	+12,95	-0,20	-0,80
<i>Pithecelobium dulce</i>	14	PER	-2,73	+5,26	-1,38	-1,61
<i>Coccoloba caracasana</i>	10	PER	-2,68	+8,83	-0,54	-1,00
<i>Guazuma ulmifolia</i>	12	CAD	-1,45	+3,08	-0,68	-0,81
<i>Gliricidia sepium</i>	11	CAD	-1,25	+4,45	-0,31	-0,50
<i>Albizia saman</i>	22	PER	-1,03	+1,78	-0,62	-0,70
<i>Mangifera indica</i>	20	PER	-0,95	+4,03	-0,25	+0,05
<i>Cordia dentata</i>	9	CAD	-0,77	+3,86	-0,02	-0,69
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	24	CAD	-0,55	+3,14	-0,10	-0,03
<i>Crescentia alata</i>	8	CAD	-0,48	+0,90	-0,31	-0,33
<i>Dalbergia retusa</i>	8	CAD	-0,40	-0,60	-0,50	-0,50

PER: Perennifolias

CAD: Caducifolias

En el Cuadro 14 se presenta el promedio de la temperatura ambiente fuera y bajo la copa de los árboles presentes en los potreros, medida en diferentes meses del año. El desbalance en los datos se debió a la ausencia de algunas especies en el potrero evaluado en un período determinado, o a la presencia de nuevas especies preferidas por el ganado que no fueron identificadas en periodos previos. En todos los casos, se observó que los árboles ejercen un efecto amortiguador de la temperatura, independientemente de la fecha en que se efectuó la evaluación.

Cuadro 14. Promedio de la temperatura fuera y bajo la copa de 11 especies arbóreas, para los meses de mayo, junio y julio.

Especie	Ubicación	Mayo	Junio	Julio
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Fuera	33,85	--	32,55
	Bajo sombra	32,81	--	29,60
<i>Pithecelobium dulce</i>	Fuera	--	34,95	--
	Bajo sombra	--	31,08	--
<i>Coccoloba caracasana</i>	Fuera	31,86	34,95	--
	Bajo sombra	30,55	30,17	--
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Fuera	31,86	34,95	31,79
	Bajo sombra	31,63	31,6	30,81
<i>Gliricidia sepium</i>	Fuera	--	--	32,02
	Bajo sombra	--	--	30,76
<i>Albizia saman</i>	Fuera	--	--	32,47
	Bajo sombra	--	--	31,43
<i>Mangifera indica</i>	Fuera	33,85	--	26,87
	Bajo sombra	32,70	--	25,91
<i>Cordia dentata</i>	Fuera	--	--	29,54
	Bajo sombra	--	--	28,77
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fuera	33,85	--	30,96
	Bajo sombra	32,5	--	30,43
<i>Crescentia alata</i>	Fuera	--	--	27,93
	Bajo sombra	--	--	27,46
<i>Dalbergia retusa</i>	Fuera	--	--	32,20
	Bajo sombra	--	--	31,80

La mayor diferencia para la temperatura bajo la copa, se presentó en los meses de Junio y Julio; cuando todas las especies presentaban hojas. Sin embargo, es posible que en otros períodos del año las diferencias hayan sido mayores, dado que en el Cuadro 13 se incluyen árboles caducifolios y perennifolios.

Los valores para los índices de área foliar (LAI) encontrados por Olivero (2010) para dichas especies, muestran una relación directa ($r^2= 0,68$) con el efecto reductor de la temperatura que ejerce la copa de los árboles (Figura 24). Esto se asocia con la capacidad de absorción de la radiación que poseen las especies con mayor área foliar, lo cual tiene implicaciones en una mayor reducción de temperatura, y consecuentemente en la creación de condiciones ambientales más frescas para el ganado.

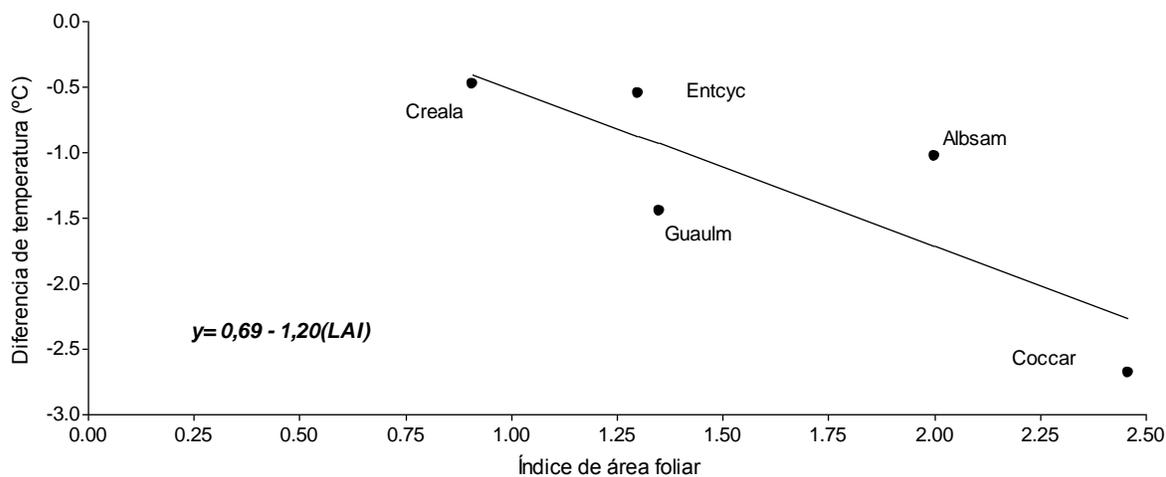


Figura 24. Relación entre la diferencia en la temperaturas a pleno sol y bajo la copa vs. el índice de área foliar para *Albizia saman* (Albsam), *Cocoloba caracasana* (Coccar), *Crescentia alata* (Creaala), *Enterolobium cyclocarpum* (Entcyc) y *Guazuma ulmifolia* (Guaulm).

4.6.4.3 Efecto de los grupos fenológicos

En términos generales los árboles modifican el microclima a través de la temperatura, el vapor del agua, y la velocidad del viento (Jose *et al.* 2004). Sin embargo, cuando se agrupan las especies de acuerdo a su fenología, separando las perennifolias de las caducifolias, tal como se mostró en el Cuadro 13, los efectos pueden diferir. Para las mediciones realizadas entre las 09:00-16:00, se encontró que la temperatura ambiente (°C) varió entre los dos grupos ($p=0,0244$), siendo la reducción de temperatura mayor en el caso de las perennifolias que las caducifolias (2,2 °C vs 0,8 °C, respectivamente), tal como se muestra en la Figura 25.

En este sentido, el efecto de las perennifolias puede ser mejor para el ganado desde el punto de vista de la reducción del estrés calórico, pero desde el punto de vista del estrato herbáceo

las caducifolias muestran ventaja desde el punto de vista del reciclaje de nutrientes a través de las hojas caídas (Gamboa 2009).

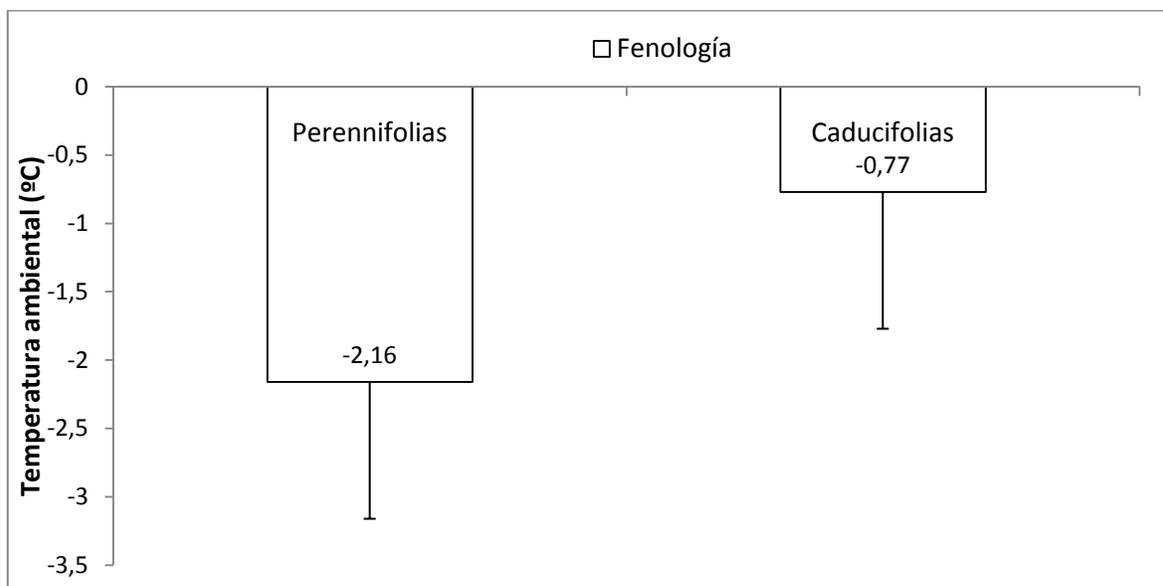


Figura 25. Reducción de la temperatura ambiente (°C) en las plantas caducifolias y perennifolias evaluadas en el estudio.

Por otro lado las perennifolias también tendieron a mantener más humedad bajo la copa (Figura 26). En este caso, las perennifolias tendrías ventaja desde el punto de vista del estrato herbáceo, pues la mayor humedad bajo la copa puede contribuir a atenuar la evapotranspiración de los pastos, favoreciendo el desarrollo de los pastos, especialmente durante el período seco, e incrementando el contenido de proteína cruda y digestibilidad en algunas plantas (Burner y Brauer 2003). Pero desde el punto de vista del animal tendría un efecto detrimental, pues exacerbaría el efecto de la temperatura alta.

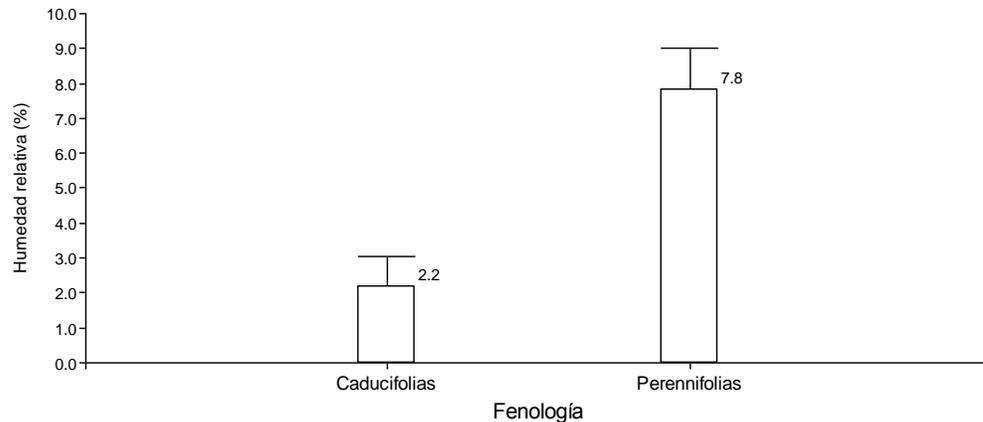


Figura 26. Incremento de la Humedad Relativa (%) bajo la copa en las plantas caducifolias y perennifolias evaluadas en el estudio.

Sin embargo, hay que considerar que el efecto del tipo de especies -caducifolias vs perennifolias- es temporal, debido a la estacionalidad en la caída de las hojas. En efecto, Zapata (2010) ha encontrado que hay variaciones en la densidad de la copa debidas a la época del año, y esto tiene impacto en la vegetación que crece bajo su sombra, pero también la tendría en la atenuación del estrés calórico en los animales.

Cuando se combinaron los factores temperatura y humedad relativa en el ITH no se encontró diferencias entre ambos grupos fenológicos ($p=0,1413$) (Figura 27); no obstante, este índice tendió a ser ligeramente inferior para las perennifolias que las caducifolias ($83,26 \pm 0,20$ vs $84,13 \pm 0,29$, respectivamente). La diferencia tan pequeña en el ITH encontrado para los dos grupos fenológicos ($p= 0,0547$), puede ser irrelevante desde el punto de vista del estrés calórico, pero dicho efecto va a depender de la época del año ($p= 0,0004$) (Anexo 4). Con base en los valores de ITH registrados para las diferentes especies en las épocas seca y lluviosa, se sugiere que durante la época seca las especies *Gliricidia sepium*, *Coccoloba caracasana* y *Enterolobium cyclocarpum* contribuyen de mejor manera al confort de los animales, a su vez *Mangifera indica*, *Crescentia alata*, y *Cordia dentata* lo hacen en la época lluviosa (Cuadro 15).

Cuadro 15. ITH promedio (°C) bajo copa para la interacción época×especie

Época	Especie	Promedio	E.E.	*
Lluviosa	<i>Dalbergia retusa</i>	86.74	0.87	a
Lluviosa	<i>Albizia saman</i>	85.82	0.81	ab
Lluviosa	<i>Guazuma ulmifolia</i>	85.33	0.23	ab
Lluviosa	<i>Gliricidia sepium</i>	85.25	0.49	ab
Lluviosa	<i>Pithecelobium dulce</i>	85.20	0.59	abc
Lluviosa	<i>Tabebuia rosea</i>	84.94	0.89	abcd
Lluviosa	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	84.56	0.51	abcd
Lluviosa	<i>Cocoloba caracasana</i>	84.21	0.67	abcd
Lluviosa	<i>Byrsonima crassifolia</i>	84.01	1.46	abcd
Seca	<i>Dalbergia retusa</i>	83.64	0.79	bcd
Seca	<i>Acrocomia vinifera</i>	83.47	1.03	bcd
Seca	<i>Crescentia alata</i>	82.97	1.46	bcde
Seca	<i>Mangifera indica</i>	82.94	1.03	cde
Seca	<i>Byrsonima crassifolia</i>	82.89	0.57	de
Lluviosa	<i>Cordia dentata</i>	82.61	0.58	de
Seca	<i>Guazuma ulmifolia</i>	82.44	0.31	de
Seca	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	82.38	1.03	de
Seca	<i>Cocoloba caracasana</i>	82.26	0.51	de
Seca	<i>Gliricidia sepium</i>	82.05	1.46	def
Lluviosa	<i>Crescentia alata</i>	80.53	0.53	ef
Lluviosa	<i>Mangifera indica</i>	78.81	0.77	f

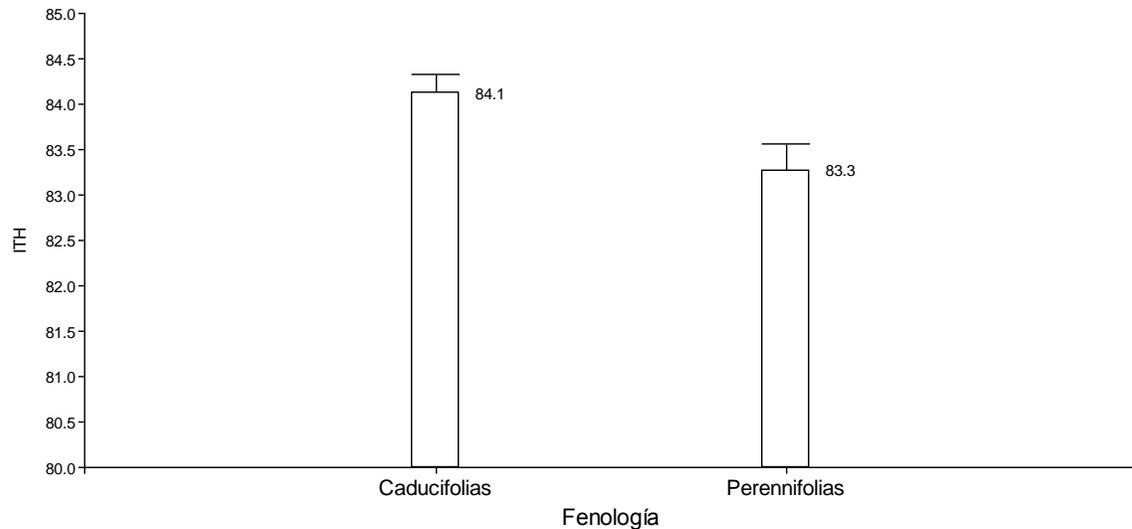


Figura 27. Comparación del ITH bajo la copa de especies perennifolias y caducifolias evaluadas en el estudio

4.6.4.4 Preferencia del ganado por la sombra de los árboles para permanecer acostada y para realizar la rumia

Se destaca que en los días cálidos, el ganado busca desesperadamente la sombra para refrescarse (Blackshaw y Blackshaw 1994). Por tal razón, a través de la aplicación de una regresión logística, se trató de evaluar la preferencia del ganado por realizar las actividades bajo la sombra, cuando las variables ambientales pueden conducir al estrés.

De ello se obtuvo que la temperatura ambiente, tuvo incidencia en la preferencia por permanecer acostada bajo la sombra ($p < 0,0001$). El umbral de temperatura ambiente al cual las vacas buscaban la sombra es de aproximadamente 29,7 °C, a esa temperatura la probabilidad que las vaca estuvieran bajo la sombra fue del 50%, pero dicha probabilidad crece aceleradamente con el incremento de la temperatura ambiente prácticamente el 100% de las vacas estuvieron acostadas bajo sombra cuando la temperatura alcanzó los 33 °C (Figura 28).

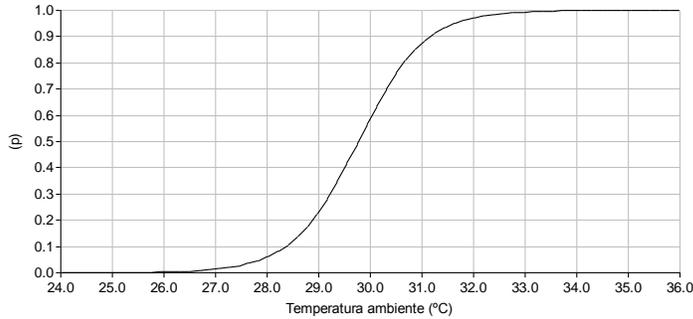


Figura 28. Probabilidad (p) que la vaca permanezca acostada bajo la sombra en función de la temperatura ambiente

De igual manera, se observó el ganado prefiere la sombra para realizar la rumia. Tal preferencia es función de la temperatura ($p < 0,0001$) y el umbral al cual el 50% de los animales tuvieron ese comportamiento es de 30 °C, y la probabilidad de que esto ocurra, crece de manera que a los 36 °C prácticamente el 100% de los animales manifiesta ese comportamiento (Figura 29).

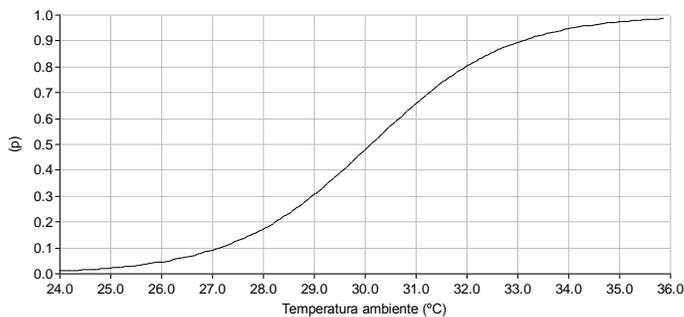


Figura 29. Probabilidad (p) que las vacas estén bajo la sombra rumiando en función de la temperatura ambiente

La probabilidad que la vaca esté parada bajo la sombra, depende de la velocidad del viento ($p < 0,0001$). Del modelo se obtuvo que el umbral para la velocidad del viento es 0,73 m/s, en este punto la probabilidad que la vaca permanezca parada bajo la sombra es del 50%, y conforme aumenta la velocidad del viento, se incrementa la probabilidad, y prácticamente el 100% de las vacas lo harían cuando la velocidad del viento se acerca a 10 m/s (Figura 30).

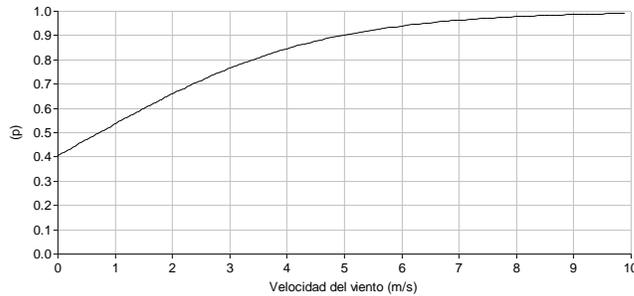


Figura 30. Probabilidad (p) que la vaca permanezca parada bajo la sombra en función de la velocidad del viento

4.6.5 Manejo de la finca

Los productores localizados en las comarcas de Mata de Caña y Cantimplora, en el Municipio de Belén (Rivas Nicaragua) donde se efectuó el estudio, emplean prácticas y toman decisiones para manejar el hato adaptándose a las condiciones ambientales. Entre ellas se cuenta el permitir el libre acceso al agua, abriendo los portillos de varios potreros; con la finalidad que las vacas busquen los sitios más adecuados para aliviar el calor producido por las altas temperaturas, y para alimentarse. Además, en la mayoría de abrevaderos hay árboles que permiten reducir los efectos directos de los rayos solares.

Así también debido a la baja en la producción de biomasa de los pastos durante la estación seca; en la mayoría de fincas se acostumbra suplementar con pastos de corte, grancilla de arroz o pollinaza, los cuales ofrecen en el corral durante la noche y antes del ordeño por la mañana.

Estas prácticas contribuyen en alguna medida a mantener la producción de leche o carne en el verano, previniendo primero pérdidas de peso exageradas y eventualmente la muerte de los animales. Sin embargo, dichas prácticas también inciden sobre el comportamiento diurno de los animales en pastoreo.

4.7 BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, MHS, de. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. Ph.D. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 52, 47 p.
- Beatty, DT; Barnes, A; Taylor, E; Pethick, D; McCarthy, M; Maloney, SK. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84(4):972-985.
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *Journal of Dairy Science* 89(10):3817-3825.
- Blackshaw, J; Blackshaw, A. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34(2):285-295.
- Bohmanova, J; Misztal, I; Cole, J. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science* 90(4):1947-1956.
- Bouraoui, R; Lahmar, M; Majdoub, A; Djemali, M; Belyea, R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51(6):479-491.
- Brown-Brandl, T; Eigenberg, R; Nienaber, J; Hahn, G. 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering* 90(4):451-462.
- Burner, DM; Brauer, DK. 2003. Herbage response to spacing of loblolly pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. *Agroforestry Systems* 57(1):69-77.
- Di Renzo, J; Casanoves, F; González, L; Tablada, E; Díaz, M; Robledo, C; Belzarini, M. 2008. *Estadística para las ciencias agropecuarias*. 7 ed. Córdoba, AR, Brujas. 356 p.
- Dikmen, S; Hansen, PJ. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92(1):109-116.
- Dowling, D. 1955. The hair follicle and apocrine gland populations of Zebu (*Bos indicus* L.) and Shorthorn (*B. taurus* L.) cattle skin. *Australian Journal of Agricultural Research* 6(4):645-654.
- Finch, V. 1985. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Australian Journal of Agricultural Research* 36(3):497-508.
- Finch, VA. 1986. Body temperature in beef cattle: Its control and relevance to production in the tropics. *Journal of Animal Science* 62(2):531-542.

- Gamboa Morillo, HA. 2009. Efecto de la sombra de genízaro (*Albizia saman* Jacq.) y coyote (*Platymiscium parviflorum* Benth.) sobre la productividad primaria neta aérea y la composición química de pastizales seminaturales en fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Josey, MJ; Rowan, KJ. 1999. Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science* 77(9):2398-2405.
- Gaughan, JB; Holt, SM; Hahn, GL; Mader, TL; Eigenberg, R. 2000. Respiration rate - is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13(Suppl.):S329-S332.
- Gaughan, JB; Mader, TL; Holt, SM; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234.
- Hahn, GL; Mader, TL. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. *In Proceedings 5th International Livestock Environment Symposium, ASoAE. ed. 1997. St. Joseph, MI. pp. 563-571.*
- Holtung, H. 2008. Factors attracting cattle to trees: The importance of shade and sub-canopy vegetation. MSc. Thesis. Trondheim, Norway, Norwegian University of Science and Technology. 40 p.
- Huhnke, RL; McCowan, LC; Meraz, GM; Harp, SL; Payton, ME. 2004. Using evaporative cooling to reduce the frequency and duration of elevated temperature-humidity indices in Oklahoma. *Applied Engineering in Agriculture* 20(1):95-99.
- Jose, S; Gillespie, AR; Pallardy, SG. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* 61-62(1):237-255.
- Kadzere, CT; Murphy, MR; Silanikove, N; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science* 77(1):59-91.
- Mader, TL; Davis, MS; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 84(3):712-719.
- Mitlohner, FM; Morrow, JL; Dailey, JW; Wilson, SC; Galyean, ML; Miller, MF; McGlone, JJ. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 79(9):2327-2335.
- NRC (National Reserch Council, US). 1984. Nutrient requirements of beef cattle. 6 ed. Washington, USA, National Academy Press. 90 p. Disponible en http://books.google.co.cr/books?id=Q2MrAAAAYAAJ&lpg=PA76&ots=VXaPcVxIrD&dq=nutrient%2Brequirements%2Bbeef%2Bcattle*national%2Bresources%2Bcenter&pg=PA90#v=onepage&q&f=false

- Olivero Lora, S. 2010. Functional traits approach to assess the ecological processes of drought tolerance and water use efficiency in silvopastoral systems of Rivas MSc Thesis. Turrialba, CR. *En prensa*.
- Rao, M; Nair, P; Ong, C. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38(1):3-50.
- Schroth, G; Sinclair, F. 2003. Impacts of trees on the fertility of agricultural soils. *In*. 2003. *Trees, crops and soil fertility*. Bangor, UK, CABI. pp. 1-9.
- Schütz, KE; Cox, NR; Matthews, LR. 2008. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science* 114(3/4):307-318.
- Shirley, RL. 1986. Nitrogen and energy nutrition of ruminants. California, US, Academic Press, Inc. 358 p.
- Singh, SV; Upadhyay, RC; Ashutosh. 2008. Impact of temperature rise on bovine production performance under limited available feed resources. *Journal of Farming Systems Research and Development* 14(1):140-143.
- Tucker, CB; Rogers, AR; Schütz, KE. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behaviour Science* 109(2/4):141-154.
- Turner, JW. 1980. Genetic and biological aspects of zebu adaptability. *Journal of Animal Science* 50(6):1201-1205.
- Van Soest, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2 da. ed. USA, Cornell University Press. 476.
- West, JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(6):2131-2144.
- Zapata Arango, PC. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 153 p.

4.8 CONCLUSIONES

- El efecto de la cobertura arbórea y el período del día sobre el tiempo dedicado a pastorear por vacas de doble propósito varía en función de la época del año. En cambio, el estadio de lactancia parece no afectar mayormente el comportamiento de pastoreo en dichos animales.
- Durante el período seco el tiempo dedicado a pastorear es menor cuando los potreros tienen una cobertura arbórea baja (<8%); en cambio en el periodo de lluvias la cobertura arbórea prácticamente no afecta el tiempo de pastoreo.
- En el período seco las vacas pastorean menos en las primeras horas que llegan al potrero, posiblemente debido a que reciben forraje complementario en el corral.
- La humedad relativa alta que se presenta en el período de lluvias, hace más marcado el efecto de la temperatura sobre el estrés calórico, resultando en una mayor temperatura rectal y frecuencia respiratoria más alta que en el período seco.
- El índice de temperatura-humedad (ITH) es un mejor predictor del comportamiento de pastoreo y los parámetros fisiológicos (temperatura rectal y frecuencia respiratoria) en el ganado, que las variables ambientales independientes (temperatura, humedad relativa, radiación velocidad del viento).
- No se detectaron diferencias en el ITH entre árboles caducifolios y perennifolios, sin embargo se determinó que las especies *Gliricidia sepium*, *Coccoloba caracasana* y *Enterolobium cyclocarpum* pueden contribuir mejor al confort de los animales en la época seca; mientras que *Mangifera indica*, *Crescentia alata*, y *Cordia dentata* lo harán en el período de lluvias.
- En animales cruzados *B.taurus* × *B. indicus*, 29,7 °C de temperatura es el umbral para la búsqueda de sombra, mayormente para rumiar. Por otro lado cuando la velocidad del viento se aproxima a 10 m/s, las vacas se ubican bajo la sombra y dejan de pastorear.

4.9 RECOMENDACIONES

- En sistemas de doble propósito, con vacas cruzadas *B. taurus* × *B. indicus*, es conveniente incorporar árboles en los potreros para ayudar a reducir el estrés calórico de los animales, en especial si las temperaturas superan los 30°C y se presenta una humedad relativa alta.
- Para entender mejor el efecto de la cobertura arbórea, la época del año y el estado de lactancia sobre el comportamiento en pastoreo debería observarse el comportamiento animal en horas nocturnas, pues bajo condiciones de estrés calórico los animales tienden a posponer el pastoreo para horas con temperatura más fresca.
- En estudios en que se relacionan los factores de manejo con el estrés calórico, es importante registrar no sólo la temperatura ambiente, sino también la humedad relativa y otros parámetros ambientales que interactúa con ellos como determinantes del estrés calórico. En ese sentido, se recomienda estimar el Índice de Temperatura-Humedad (ITH) como una variable integradora de los factores ambientales.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las fincas, cobertura arbórea por potrero, área del potrero, clase de cobertura y fisiografía

Productor	Nombre del potrero	Cobertura arbórea (m)	Área del potrero (m)	Clase de cobertura arbórea	Fisiografía
Giorgio Ottinetti	La loma	3651,5	28924,2	Medio	Plano
Giorgio Ottinetti	La uva	10,2	35548,5	Bajo	Plano
Humberto Brenes	# 2	3002,6	45942,6	Bajo	Ondulado
Humberto Brenes	# 3	20409,1	88179,4	Alto	Ondulado
Marcial Corrales	Guácimo	2636,5	79150,0	Bajo	Plano
Marcial Corrales	Loma 1	44442,8	6143,8	Medio	Ondulado
Marcial Corrales	Mango	40637,9	14756,5	Alto	Plano
Marcial Corrales	Manguito	37414,4	135852,0	Alto	Plano
Martín Mena	Acetuno	1290,9	25462,7	Bajo	Plano
Martín Mena	Carmen peña	2477,4	32236,8	Bajo	Ondulado
Martín Mena	Hospital	2598,9	26113,3	Medio	Plano
Martín Mena	Jícaros	480,5	16679,5	Bajo	Plano
Martín Mena	Pochote	2568,0	17677,5	Medio	Ondulado
Marcelino Ugarte	Carol	2466,5	21825,7	Medio	Plano
Marcelino Ugarte	El plan	1483,9	17555,9	Bajo	Ondulado
Marcelino Ugarte	Espavel	2802,4	25362,1	Medio	Plano
Marcelino Ugarte	Guanacaste	4483,1	16618,5	Alto	Plano
Marcelino Ugarte	La huerta	1031,0	17158,5	Bajo	Ondulado
Marcelino Ugarte	Mango	5616,5	18952,3	Alto	Ondulado
Marcelino Ugarte	Níspero	5579,1	22298,5	Alto	Ondulado
Wilfredo Aguilar	Capulín	23992,6	98552,9	Alto	Ondulado
Wilfredo Aguilar	El plan	20224,9	87764,3	Alto	Plano
Wilfredo Aguilar	Guanacaste	7288,4	80595,4	Medio	Ondulado
Wilfredo Aguilar	Limón	15136,5	76883,9	Medio	Ondulado
Wilfredo Aguilar	Madero	9279,3	59390,7	Medio	Ondulado

Plano: pendiente menor a 3 %

Ondulado: pendiente mayor a 3 y menor a 6%

Anexo 2. Resultado del análisis de varianza (ANDEVA) para el tiempo dedicado a cinco actividades

FV	GL	p-valor				
		Pastoreando	Rumiando	Parada	Caminando	Acostada
Época	1	0,3736	0,0268	0,6341	0,0030	0,0286
Cobertura	2	0,0028	0,4682	0,2943	0,0010	0,0180
Lactancia	1	0,0742	0,8330	0,1548	0,0069	0,9657
Hora	2	0,0517	0,4006	0,7782	0,0003	0,0707
Época×Cobertura	2	0,0089	0,4442	0,4310	0,0179	0,0285
Época×Hora	2	0,0159	0,1888	0,4364	0,0007	0,4700
Época×Lactancia	1	0,0551	0,5480	0,0759	0,0026	0,8777
Cobertura×Hora	4	0,5656	0,8130	0,7361	<0,0001	0,0911
Cobertura×Lactancia	2	0,4019	0,5071	0,2942	0,0174	0,8266
Lactancia×Hora	2	0,6354	0,6413	0,5309	0,0171	0,5227
Época×Cobertura×Hora	4	0,2471	0,4618	0,7750	<0,0001	0,2950
Época×Cobertura×Lactancia	2	0,8361	0,3244	0,1064	0,0117	0,9187
Época×Lactancia×Hora	2	0,6028	0,4675	0,8766	0,0296	0,2117
Cobertura×Lactancia×Hora	4	0,6331	0,7219	0,9929	0,0001	0,5272
Época×Cobertura×Lactancia×Hora	4	0,0553	0,7328	0,9952	0,0028	0,2137

Anexo 3. Resultado del análisis de varianza (ANDEVA), para las variables temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR)

Factor	Temperatura rectal		Frecuencia respiratoria	
	GL	p-valor	GL	p-valor
Época	1	<0,0001	1	<0,0001
Hora	2	<0,0001	2	0,0113
Cobertura	2	0,2474	2	0,0020
Lactancia	1	0,4565	1	0,8989
Época×Hora	2	0,6223	2	0,3378
Época×Cobertura	2	0,0422	2	0,3334
Época×Lactancia	1	0,0903	1	0,2528
Hora×Cobertura	4	0,9667	4	0,9829
Cobertura×Lactancia	2	0,1071	2	0,4195
Hora×Lactancia	2	0,1913	2	0,9428
Época×Hora×Cobertura	4	0,7503	4	0,9515
Época×Cobertura×Lactancia	2	0,9239	2	0,8188
Época×Hora×Lactancia	2	0,9021	2	0,9044
Hora×Cobertura×Lactancia	4	0,7708	4	0,8495
Época×Hora×Cobertura×Lactancia	3	0,6390	4	0,9982

Anexo 4. Resultado del análisis de varianza (ANDEVA), para las variables temperatura (°C), humedad relativa (%), punto de rocío (°C), Bulbo húmedo (°C) e ITH bajo la copa de los árboles

FV	GL	Temperatura	Humedad Relativa	Punto de Rocío	Bulbo Húmedo	ITH
Época	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Período del día	2	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0132	0.0079
Fenología	1	0.0557	0.2934	0.3486	0.2914	0.0547
Especie	12	<0.0001	<0.0001	0.0014	<0.0001	<0.0001
Época×Período del día	2	0.0097	0.0577	0.2830	0.5160	0.1817
Época×Fenología	1	0.0019	0.3069	0.0066	0.0027	0.0004
Época×Especie	6	0.0007	0.0151	0.8455	0.2367	0.0049
Período del día×Fenología	2	0.9819	0.8373	0.5444	0.6582	0.7950
Período del día×Especie	14	0.0033	0.0583	0.3257	0.0562	0.0061

Anexo 5. Descripción de las características de las fincas en el experimento, el manejo y el ganado.

Nombre del Productor:	Martín Mena	
Localidad	Cantimplora	
No. de potreros:	8	
Área de los potreros:	16,2 ha	
Distancia hacia los potreros	1.300 m	
Pastura presente:	Pastura natural, Jaragua, Anglenton.	
Número de vacas en edad lactante:	Verano	Invierno
	13	18
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Pollinaza Pasto de corte (Taiwán) Zacate ⁱ	Sales minerales con sal blanca.
Tiempo en el corral		1 hora
Rotación de potreros		2 a 3 días
Control de malezas:	Chapeo, Fumiga	
Hora de ordeño:	07:00 A 08:30	
Hora de pastoreo:	10:00 A 06:00 (siguiente día)	
Descripción:	Las vacas duermen en el potrero y las llegan a buscar por la mañana, cerca del corral hay un potrero donde las vacas pastorean luego del ordeño.	
Nombre del Productor:	Giorgio Ottinetti	
Localidad:	Cantimplora	
No. de potreros:	5	
Área de los potreros:	33,3 ha.	
Distancia hacia los potreros	400 m	
Pasturas presentes	Jaragua, Anglenton, Pastura natural	
Número de vacas en edad lactante:	Verano	Invierno
	14	17
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Sal ⁱ	Sales minerales
Tiempo en el corral		2 horas
Rotación de los potreros		4 a 7 días
Control de malezas:	Chapeo, Fumiga	
Hora de ordeño:	0500 A 0600	
Hora de pastoreo	0630 A 1600	
Descripción:		

Las vacas duermen en el potrero contiguo al corral, la mayoría de los potreros tienen un nivel bajo de cobertura, por ello el productor lleva a las vacas a beber agua de 1100 a 1200, y allí mismo separa a los terneros de las vacas.

Nombre del Productor:	Humberto Brenes	
Localidad	Cantimplora	
No de potreros:	6 (alquila un potrero de 17 ha)	
Área de los potreros:	24,5 ha	
Distancia hacia los potreros	400 m	
Pasturas presentes:	Pastura natural	
	Verano	Invierno
Número de vacas en edad lactante:	15	17
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Ninguno	Ninguno
Tiempo en el corral		1 hora
Rotación de los potreros	4	2
Control de malezas:	Chapeo	
Hora de ordeño:	06:00 A 07:00	
Hora de pastoreo	07:00 A 15:30	
Descripción:	Los potreros tienen un nivel medio de cobertura arbórea, predomina <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Pithecelobium dulce</i> , los cuales son podados en verano para alimento del ganado.	

Nombre del Productor:	Marcial Corrales	
Localidad:	Cantimplora	
No de potreros:	7	4
Área de los potreros:	24,5 ha	97,9 ha
Distancia hacia los potreros	600 m	2. 350 m
Pasturas presentes:	Anglenton, Jaragua, Pastura natural	
	Verano	Invierno
Número de vacas en edad lactante:	17	23
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Pasto de corte Melaza Sal blanca ⁱ	
Cantidad		
Tiempo en el corral:		1 hora
Rotación de los potreros:		
Control de malezas:	Chapeo Fumiga	

Hora de ordeño:	05:00 A 06:30
Hora de pastoreo	07:00 A 15:30
Descripción:	Las vacas son manejadas en dos fincas y duermen en el corral.

Nombre del Productor:	Marcelino Ugarte	
Localidad:	Mata de Caña	
No de potreros:	8	
Área de los potreros:	20,5 ha	
Distancia hacia los potreros	500 m	
Pasturas presentes	Pastura natural	
	Verano	Invierno
Número de vacas en edad lactante:	13	10
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Pollinaza, Pasto de corte, sal blanca ⁱ	Sal blanca
Tiempo en el corral		1 h
Rotación de los potreros:	2 días	1 día
Manejo de la maleza	Chapeo Fumiga	
Hora de ordeño:	05:00 a 06:30	
Hora de pastoreo	07:00 a 18:00	
Descripción:	Las vacas permanecen con los terneros por la mañana, en dos potreros “El plan” y “La huerta”, donde son complementadas con pasto de corte. A las 11:30 las llevan a tomar agua y son suplementadas con pollinaza o sal blanca. A las 13:00 se apartan los terneros de las vacas y éstas se llevan a pastorear.	

Nombre del Productor:	Wilfredo Aguilar	
Localidad:	Mata de caña	
No de potreros:	5	
Área de los potreros:	31,5 ha	
Distancia hacia los potreros	2.200 m	
Pasturas presentes	Gamba, pastura natural, Angleton	
	Verano	Invierno
Número de vacas en edad lactante:	32	35
ALIMENTACION		
Tipo de suplemento/complemento	Pollinaza ⁱ	Pollinaza

Cantidad		136,07 kg
Tiempo en el corral		2 horas
Manejo de la maleza:	Chapeo	
	Fumiga	
Hora de ordeño:	0500 a 0630	
Hora de pastoreo:	10:00 a 0500 (del siguiente día)	
Descripción:	Es uno de los mayores productores en la zona, acostumbra a llevar al ganado a los potreros a las 10:00, las vacas duermen en los potreros y son llevadas al corral para ser ordeñadas.	

ⁱ Chica, DM. 2010. Estrategias de manejo por los productores ganaderos durante la época seca, en la zona de Mata de caña y Cantimplora, Rivas, Nicaragua. Turrialba, CR. CATIE. Comunicación personal.