



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Interacción entre cobertura arbórea y comportamiento animal durante las épocas seca y húmeda en pasturas del Magdalena Medio Tolimense

Jorge Rodrigo Serrano

Convenio
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Sede Palmira

Universidad del Tolima
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Ibagué, Colombia
2013

**Interacción entre cobertura arbórea y comportamiento animal
durante las épocas seca y húmeda en pasturas del
Magdalena Medio Tolimense**

Jorge Rodrigo Serrano

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias

Director:
Jairo Ricardo Mora Delgado, PhD.

Línea de Investigación: Producción Animal Tropical

Convenio
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Sede Palmira

Universidad del Tolima
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Ibagué, Colombia
2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN ANIMAL TROPICAL

En Palmira a los 19 días del mes de Abril de 2013, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los profesores RAÚL VELÁSQUEZ y HERNÁN ANDRADE
Para calificar la Tesis de Grado de:

JORGE RODRIGO SERRANO

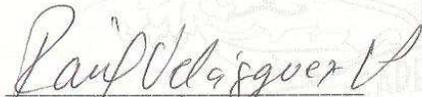
Titulada:

"INTERACCIÓN ENTRE COBERTURA ARBÓREA Y COMPORTAMIENTO ANIMAL DURANTE LAS ÉPOCAS SECAS Y HUMEDAS EN PASTURAS DEL MAGDALENA MEDIO TOLIMENSE" bajo la dirección de Jairo Mora Delgado, PhD.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los docentes RAÚL VELÁSQUEZ y HERNÁN ANDRADE, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA

REPROBADA


RAÚL VELÁSQUEZ


HERNÁN ANDRADE

La Facultad y los Jurados de tesis
no se harán Responsables de las
ideas emitidas por el autor.
Artículo 24, Resolución 04 de 1974

Agradecimientos

Alcanzar este logro tan importante en mi vida no hubiese sido posible sin el apoyo de las personas e instituciones que relaciono a continuación:

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad del Tolima, a la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Sede Palmira, por apoyar y facilitar los medios que hicieron posible este logro.

A **Jairo Ricardo Mora Delgado**. (Profesor Universidad del Tolima). Por haber sido mi amigo, maestro y tutor; generoso al compartir su conocimiento, inculcando siempre la importancia de la investigación para generar desarrollo y por brindarme la oportunidad de aprender-haciendo en tan importante proyecto.

A **Libia Elsy Guzmán Osorio**. (Decana Facultad M.V.Z. Universidad del Tolima). Por su ejemplo, amistad y apoyo incondicional en desarrollo del proceso formativo. Gracias por creer en mí.

A la **Dirección Central de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima** por el financiamiento del proyecto “Relaciones entre la distribución espacial y temporal de pastoreo de rumiantes y la estructura de las pasturas en el Magdalena Medio Tolimense”, en el marco del cual se desarrolló la presente tesis.

A la empresa **Organización Pajonales S.A.** Por facilitar a través de su personal técnico, infraestructura y hato bovino la realización del trabajo de campo objeto de la investigación.

A los Profesores de la Universidad del Tolima: **Hernán Jair Andrade, Gisou Díaz, Uriel Pérez y Roberto Piñeros**. Por su valiosa contribución y apoyo en desarrollo del estudio.

DEDICATORIA

*A Jehová Dios.
Por permitirme vivir este momento tan
especial.*

*A Doña Isabel, la mujer más maravillosa
de este mundo; por su temple, su
ejemplo y sus valores, por hacer de mí
un hombre de bien. Gracias Madre.*

*A mi Esposa, Andrea del pilar, por su
comprensión y apoyo incondicional.*

*A mi Hijo, Rodrigo Andrés, la continuación
de mi vida, el regalo más valioso que
Jehová Dios me ha dado.*

*A la Señora Amparo Arboleda,
empresadora, pujante y laboriosa;
siempre será parte importante de mi vida.
Gracias por todo lo que me ha enseñado.*

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL.....	1
ABSTRACT GENERAL.....	1
INTRODUCCION GENERAL.....	2
CAPITULO 1. COBERTURA ARBÓREA EN UN POTRERO DEL TRÓPICO SECO DEL MAGDALENA TOLIMENSE	6
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	10
1.2.1 Área de estudio.....	10
1.2.2 Inventario forestal y estimación de cobertura arbórea.....	10
1.2.3 Estimación de parámetros dasométricos	13
1.2.4 Oclusión de la copa	14
1.2.5 Medición de transmisión de radiación fotosintéticamente activa (RAFA).	14
1.2.6 Análisis estadístico	15
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
1.3.1 Inventario forestal y estimación de coberturas.....	15
1.3.2 Mediciones dasométricas	18
1.3.3 Oclusión de copas	21
1.3.4 Transmisión de radiación fotosintéticamente activa por las copas de leñosas perennes.	22
1.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
1.4.1 Conclusiones	25
1.4.2 Recomendaciones.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
CAPITULO 2. COBERTURA ARBÓREA EN UN POTRERO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA	31
RESUMEN	31

ABSTRACT.....	32
2.1 INTRODUCCIÓN.....	32
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
2.2.1 Localización del área de estudio	35
2.2.2 Estimación de la cobertura total del potrero.....	35
2.2.3 Disponibilidad de forraje.....	36
2.2.4 Muestreo para análisis bromatológico	38
2.2.5 Muestreo para análisis químico de suelos.....	38
2.2.6 Análisis estadístico	38
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
2.3.1 Disponibilidad de biomasa total	39
2.3.2 Análisis bromatológico.....	42
2.3.3 Propiedades químicas de suelos.....	45
2.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
2.4.1 Conclusiones	47
2.4.2 Recomendaciones.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
CAPITULO 3. Comportamiento de bovinos en pastoreo en un sistema arbolado del valle cálido del Magdalena Tolimense	53
RESUMEN	53
ABSTRACT.....	54
3.1 INTRODUCCIÓN.....	55
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	57
3.2.1 Localización del área de estudio	57
3.2.2 Interpretación de datos geográficos y modelamiento de la cobertura arbórea con el uso de SIG.....	58
3.2.3 Monitoreo del comportamiento de vacas en pastoreo.....	60
3.2.4 Información meteorológica	63
3.2.5 Observación de comportamiento animal para ajuste de datos	65
3.2.6 Construcción de base de datos	65
3.2.7 Comportamiento animal.....	69

3.2.8 Análisis estadístico	72
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
3.3.1 Interpretación de datos geográficos y modelamiento de la cobertura arbórea con el uso de SIG.....	73
3.3.2 Monitoreo de vacas con GPS	77
3.3.3 Observación de comportamiento animal para ajuste de datos	86
3.3.4 Comportamiento animal.....	89
3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
3.4.1 Conclusiones	109
3.4.2 Recomendaciones.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema, Tolima.	11
Figura 1-2: Ubicación espacial de parcelas en el potrero de estudio que representan las zonas ilustradas mediante óvalos, para la caracterización del componente leñoso perenne en pasturas del Magdalena Tolimense.	12
Figura 1-3. Ilustración de las celdas muestreadas para estimar cobertura arbórea en cada zona en un potrero con árboles dispersos en el Magdalena.	13
Figura 1-4. Abundancia relativa de especies leñosas del bosque seco tropical registradas en una pastura arbolada del Magdalena Tolimense.	16
Figura 1-5. Mapas de cobertura arbórea en un potrero del Magdalena Tolimense	17
Figura 1-6. Área de copa promedio de especies leñosas encontradas en un potrero del Magdalena Tolimense.	20
Figura 1-7. Altura total y de fuste promedio de especies leñosas de un potrero del Magdalena Tolimense.	20
Figura 1-8. Oclusión de copas de especies leñosas perennes en un potrero del Magdalena Tolimense.	22
Figura 1-9. Porcentaje de RAFA transmitida por la copa de especies arbóreas de un potrero del Magdalena Tolimense.	23
Figura 1-10. Grafica de dispersión para la correlación de porcentaje de Oclusión vs RAFA y porcentaje de Oclusión vs Área de copa de las especies arbóreas del potrero en estudio.	24
Figura 2-1: Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema Tolima.	36
Figura 2-2. Mapa de coberturas y ubicación espacial de las 19 parcelas para aforos en función de la cobertura arbórea en el potrero Lomitas (Ambalema-Tolima).	37
Figura 2-3: Disponibilidad de materia seca de <i>Bothriochloa pertusa</i> por corte durante época de lluvia y época predominantemente seca en función de la clasificación para cobertura arbórea en el potrero de estudio.	41

Figura 2-4. Ubicación espacial de parcelas seleccionadas para el análisis químico de suelos en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense.	46
Figura 3-1: Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema, Tolima.	58
Figura 3-2. Mapa temático de cobertura arbórea del potrero en estudio a partir de imagen del satélite Quikbird de Digital Globe y grilla superpuesta en ambiente para ArcGIS.	59
Figura 3-3. Vacas monitoreadas en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense con receptores para GPS (<i>Garmin eTrex Vista</i>) introducidos en collares de cuero.	61
Figura 3-4. Variación de temperatura en el potrero de estudio Ambalema Tolima. (Fuente: Estación meteorológica hda. Pajonales 2010). La línea roja indica la temperatura promedio en el área de estudio.	62
Figura 3-5. Temperatura promedio en la hda. Pajonales en Ambalema Tolima, durante el mes de diciembre 2009 a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas.	63
Figura 3-6 Temperatura promedio en la hda. Pajonales en Ambalema Tolima, durante el mes de enero 2010 a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas.	64
Figura 3-7. Comportamiento pluviométrico en Ambalema Tolima, durante los meses de diciembre-2009 y enero-2010 en desarrollo del estudio.	64
Figura 3-8. Base de datos producto del monitoreo de las vacas en estudio a partir del software para SIG MapSource.	67
Figura 3-9. Base de datos en ArcGIS 9.2 para número de visitas por GPS (vaca) para cada celda de 2500 m ² de las 350 que componen la Grilla modelada para el potrero de estudio.	68
Figura 3-10. Base de datos en ArcGIS 9.2 para cobertura arbórea por cada celda de 2500 m ² de las 350 que componen la grilla modelada para el potrero de estudio.	69
Figura 3-11. Posiciones espaciales de las vacas dentro del mapa temático para cobertura arbórea del potrero en estudio en la hda. Pajonales Ambalema Tolima.	70
Figura 3-12. Mapa temático incluido posiciones espaciales de las vacas y círculos con radio de 50, 100, 150 y 200 m de distancia a los bebederos del potrero en estudio, Ambalema Tolima.	72
Figura 3-13. Modelamiento de la cobertura arbórea a partir de la imagen satelital Quikbird, la grilla de 2500m ² y la configuración de contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS.	74

Figura 3-14. ..Posiciones .de 1 vaca Brahman .y 1 .vaca F1(puntos rojos vaca Brahman y puntos verdes vaca F1). registradas por los GPS y ubicadas en el mapa temático correspondientes al 16 (temperaturas altas) y 18 (temperaturas bajas) de diciembre 2009.	79
Figura 3-15. Posiciones de 1 vaca Br y 1 vaca F1 (puntos rojos vaca Br y puntos verdes vaca F1) registradas por los GPS y ubicadas en el mapa temático correspondientes al 16 (temperaturas altas) y 18 (temperaturas bajas) de enero 2010.	81
Figura 3-16. Recorridos promedio en kilómetros / día según la composición racial (Br: Brahman, F1: Holstein x Brahman) y la época en el total de los datos registrados.	82
Figura 3-17. Box-plot de los registros para distancia recorrida según actividad (T: Traslado y P: Pastoreo) y no actividad (NA) obtenidos para ajustar distancias medias recorridas por bovinos en pastoreo.	87
Figura 3-18. Actividad (T: traslado, P: pastoreo) y No Actividad (D: Descanso) promedio en minutos/hora durante días con temperaturas máximas y días con temperaturas mínimas durante la época predominantemente húmeda (Diciembre 2009) para las vacas monitoreadas según su composición racial en desarrollo del estudio.	92
Figura 3-19. Actividad (T: traslado, P: pastoreo) y No Actividad (D: Descanso) promedio en minutos/hora durante días con temperaturas máximas y días con temperaturas mínimas durante la época predominantemente seca (Enero 2010) para las vacas monitoreadas según su composición racial en desarrollo del estudio.	95
Figura 3-20. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas bajas (mínimas) en época predominantemente húmeda (Dic-2009).	98
Figura 3-21. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas bajas (mínimas) en época predominantemente seca (Ene-2010).	99
Figura 3-22. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas altas (máximas) en época predominantemente húmeda (Dic-2009).	100
Figura 3-23. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas altas (máximas) en época predominantemente seca (Ene--2010).	102

Figura 3-24. Número de visitas realizadas por las seis (6) vacas durante la toma de datos a los bebederos 1 y 2 teniendo en cuenta las distancias categorizadas (0 a 50m, entre 50 a 100m, entre 100 y 150m y entre 150 y 200m de radio desde cada bebedero) en desarrollo del estudio. 103

Figura 3-25. Posiciones registradas por los GPS para las vacas estudiadas a las 13:00 horas teniendo en cuenta diferentes radios desde los bebederos B-1 y B-2 (50m, 100m, 150m y 200m)..... 108

LISTA DE TABLAS

	<u>Pág</u>
Tabla 1-1: % de cobertura arbórea/Parcela/Cuadrante.....	16
Tabla 1-2. Diámetro de troncos (diámetro a la altura del pecho-DAP y diámetro a la base- DB) promedio e índice de valor de importancia-IVI de las especies más importantes encontradas en un potrero del Magdalena Tolimense.	19
Tabla 1-3. Matriz de correlaciones para área de copay RAFA transmitida; los valores corresponden a Coeficientes de Correlación de Pearson.	23
Tabla 2-1. Relación entre la disponibilidad de materia seca y la cobertura arbórea en el potrero de estudio. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas (P>0.005).	40
Tabla 2-2.Valores promedios de análisis bromatológico para colosoana (<i>Bothriochloa pertusa</i>) según clasificación de cobertura arbórea.	44
Tabla 2-3.Resultados de propiedades químicas de suelos para el potrero de estudio en función del porcentaje de cobertura arbórea en el Magdalena-Tolimense. (N: normal, MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, Ad: adecuado, Al: alto, MA: muy alto).	47
Tabla 3-1. Formato para diligenciar observaciones visuales de comportamiento para las vacas objeto de investigación.	66
Tabla 3-2. Distribución en porcentaje de la cobertura arbórea para el área del potrero en estudio hda. Pajonales Ambalema Tolima.	76
Tabla 3-3. Estadísticos descriptivos para los recorridos promedio en km/día por vaca en la época predominantemente húmeda (Dic-2009) y seca (Ene-2010).	78
Tabla 3-4. Comparación de medias para los recorridos promedio en kilómetros por día y por época para las vacas en estudio.	83
Tabla 3-5. Comparación de medias para los recorridos promedio en kilómetros/día por composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época en días con temperaturas máximas (T Máx.) y temperaturas mínimas (T Mín.).	84
Tabla 3-6. Número de visitas en función de la cobertura arbórea en un potrero arbolado en desarrollo del estudio, Ambalema Tolima.	84

Tabla 3-7. Coincidencias en porcentaje para datos producto de observaciones visuales con respecto a datos predichos o esperados.	88
Tabla 3-8. Puntos convertidos en horas totales de monitoreo y en horas/día dedicado por las vacas F1 (Holstein x Brahman) y Brahman en promedio (prom) al P: Pastoreo, T: Traslado y D: Descanso en desarrollo del estudio.	91
Tabla 3-9. Evaluación de comportamiento animal (Traslado, Pastoreo, Descanso) por composición racial(F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época durante el estudio.	94
Tabla 3-10. Evaluación de comportamiento animal (Traslado, Pastoreo, Descanso) por composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época en días de temperatura Baja (Mínima) y Alta (Máxima) en desarrollo del estudio.	97
Tabla 3-11. Evaluación de comportamiento animal en función de las visitas a bebederos a las 7:00 y 13:00 horas según composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman), época y temperatura	107

RESUMEN GENERAL

Evaluar el comportamiento animal bovino en función de los componentes del paisaje permite mejorar los indicadores de productividad con un enfoque sostenible. Este estudio tiene como objetivo relacionar el componente arbóreo y herbáceo con patrones de comportamiento animal en un potrero arbolado de 54 ha del Magdalena Tolimense. El inventario forestal se realizó mediante el establecimiento de parcelas temporales de muestreo y se estimó la cobertura arbórea con la ayuda de software para SIG. Se encontró que las áreas con una cobertura arbórea $\leq 40\%$ presentaron en promedio mayor disponibilidad de forraje 4,3 t/ha de MS por corte. Para la evaluación del comportamiento animal se instalaron collares con GPS en 6 vacas adultas. La interpretación de los registros de monitoreo con GPS se hizo con software para SIG. Se encontraron diferencias significativas entre los recorridos promedio por composición racial entre las dos épocas evaluadas y se observó que las vacas tienen preferencia por sitios de cobertura arbórea entre 0 y 40%.

Palabras claves: comportamiento animal, potrero, cobertura arbórea, monitoreo, vacas.

ABSTRACT GENERAL

Evaluate bovine animal behavior in terms of landscape components improves productivity indicators with a sustainable approach. This study aims to connect the component tree and herbaceous with patterns of animal behavior in a field of 54 ha of woodland Tolimense cupcake. The forest inventory was carried out by establishing temporary sampling plots and tree cover was estimated with the help of GIS software. We found that areas with a canopy cover $\leq 40\%$ had a higher mean forage availability 4,3 t DM/ha per cut. For the evaluation of animal behavior with GPS collars were installed in 6 adult cows. The interpretation of monitoring records seized with GPS for GIS software. Significant differences between the routes average racial composition between the two periods evaluated and it was observed that cows have a preference for tree cover sites between 0 and 40%.

Keywords: animal behavior, pasture, tree cover, monitoring, cows.

INTRODUCCION GENERAL

Conocer los factores que determinan la distribución espacial y temporal de los animales en su hábitat, se ha convertido en uno de los principales objetivos para investigadores dedicados a los sistemas de producción animal, conservación de fauna silvestre y la protección de los recursos naturales. Aspectos significativos en la actualidad mundial como el cambio climático, los tratados de libre comercio y la superpoblación, marcan en el sector pecuario una ruta orientada a implementar estrategias para aumentar los indicadores de productividad buscando cubrir la demanda alimentaria de la población y la producción agropecuaria sostenible. Bajar a la mitad los indicadores de pobreza y hambre son unos de los objetivos fundamentales trazados por las Naciones Unidas para este milenio (FAO, 2002). En los últimos años, se han intensificado los sistemas productivos pecuarios que involucran la producción de carne y leche debido a los aspectos antes mencionados (Delgado *et al.*, 1990).

En los países en vías de desarrollo el aumento del consumo de carne anual per cápita alcanzó el 100% entre 1980 y 2002, pasando de 14 a 28 kg/año. Esta demanda creciente ha obligado a intensificar los sistemas productivos ganaderos tipo carne y leche principalmente en países de economías emergentes como Brasil, India y China (Steinfeld *et al.*, 2008). La ganadería bovina es la principal actividad del sector rural en Colombia, generando el 3,6% del PIB total y el 27,0% del PIB agropecuario. Estos valores se explican debido a la crisis agrícola, especialmente en cultivos transitorios generada a partir de la apertura económica, donde a un área importante destinada inicialmente a la producción agrícola y zonas de bosque tropical se le cambió su uso a la ganadería sin tener en cuenta parámetros técnicos que permitieran ser eficientes productivamente y amigables con los recursos naturales (Fedegan, 2006). El inventario bovino en Colombia entre los años 1979 a 2005 pasó de 15.598.984 a 25.245.716 cabezas de ganado, trayendo consigo la

importación de razas bovinas especializadas y nuevas variedades de pastos (Kalmanovitz y López, 2007). El pastoreo como base de la alimentación bovina en el trópico le permite al productor suministrar alimento a bajo costo, aprovechando la radiación solar como fuente de energía; oportunidad importante en tiempos donde los altos costos de combustibles fósiles y de los alimentos limita el suplemento con concentrados (Holechek, 2007). Los parámetros productivos de los sistemas de producción bovina tipo carne han presentado un descenso significativo, debido en parte a la implementación de la ganadería extensiva con la incorporación indiscriminada de áreas sin importar su tipificación en el ordenamiento de uso del suelo. La omisión de este ordenamiento ha ocasionado experiencias desalentadoras siendo una de ellas la renovación de pasturas a partir de especies forrajeras no adaptadas, obteniendo como resultado pasturas degradadas y poco productivas (Pezo *et al.*, 1992).

En la búsqueda de modelos y estrategias eficientes que permitan optimizar la productividad a partir de los insumos involucrados en los sistemas de producción bovina, emergen los sistemas silvopastoriles como una opción legítima y eficaz. Hoy la utilización de especies leñosas forrajeras en las áreas destinadas a pastoreo recibe especial atención debido a sus múltiples aportes al sistema productivo, dentro de los que cabe destacar; biomasa disponible a muy bajo costo; disponibilidad en las fincas; accesibilidad; variabilidad en la dieta; influencia laxativa en el tracto digestivo, fuente de nitrógeno, energía, minerales y vitaminas (Urbano y Dávila, 2005). Desde años atrás, McDaniel y Roark (1956) reportaron beneficios reflejados en parámetros zootécnicos (ganancias de peso) atribuidos a la sombra suministrada por las especies arbóreas a los bovinos en pastoreo. Algunos sistemas ganaderos en el trópico encuentran en las especies leñosas un potencial importante para mejorar los parámetros productivos a partir del *confort* generado por las condiciones micro-climáticas bajo cobertura arbórea, la heterogeneidad de oferta en la dieta (Souza de Abreu *et al.*, 1999) y la posibilidad de ingresos adicionales por concepto de bienes tangibles y servicios ambientales (Kaimowitz, 2001). Otros estudios también reportan beneficios originados por las especies

leñosas en favor de las pasturas, mostrando incrementos en nitrógeno y materia orgánica para los primeros 20 cm de suelo cuando las pasturas se combinan con especies arbóreas (Mahecha *et al.*, 1999).

Los países tropicales se caracterizan por presentar valores altos en precipitación, humedad relativa, temperatura y radiación solar, generando condiciones ambientales heterogéneas en agroecosistemas con alta diversidad en oferta forrajera para alimentación animal a partir de especies leñosas y herbáceas. Dependiendo de la disponibilidad, disposición e interacción entre el componente arbóreo y herbáceo, el ganado puede favorecerse por la oferta forrajera, especialmente en la época predominantemente seca y mejorar la eficiencia zootécnica al reducir el estrés calórico en zonas de bosque seco tropical; al igual el suelo puede ser beneficiado por el incremento de la fertilidad (Belsky, 1993).

Demostrar la injerencia de las especies arbóreas y herbáceas de la pastura en el comportamiento animal bovino demanda evaluar patrones conductuales con la ayuda de herramientas tecnológicas (SIG, GPS). Estas herramientas permiten ser lo más precisos posible en el ámbito espacial y temporal, minimizando posibles sesgos en cuanto a lo tolerante que puede llegar a ser cada animal ante la actividad humana. La aplicación e interpretación de estas tecnologías en sistemas de producción bovina permiten controlar y planificar las actividades de manejo, optimizando el uso del recurso forrajero y mejorando las condiciones de *confort* (Ungar *et al.*, 2005), relacionando el movimiento espacial y temporal de los bovinos con las actividades diarias que éstos realizan. Entender los eventos conductuales en vacunos en cada zona de vida permitirá potenciar de manera sostenible los sistemas de producción bovina. El objetivo de este estudio comprende evaluar el comportamiento animal bovino en función de factores bióticos y abióticos en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense.

El presente documento contiene tres capítulos. El primer capítulo hace referencia a la caracterización del componente leñoso para el área de estudio, el segundo capítulo hace referencia a la caracterización del componente herbáceo de la pastura en función de la cobertura arbórea y el tercer capítulo hace referencia al estudio de la interacción entre la cobertura arbórea y el comportamiento animal en un potrero del Magdalena Tolimense.

CAPITULO 1. COBERTURA ARBÓREA EN UN POTRERO DEL TRÓPICO SECO DEL MAGDALENA TOLIMENSE

RESUMEN

Los recursos naturales exigen el diseño e implementación de modelos de producción bovina sustentables. El objetivo de este estudio es caracterizar la vegetación leñosa de un potrero arbolado del Magdalena Tolimense. El inventario forestal se realizó mediante el establecimiento de parcelas temporales de muestreo. La estimación de la fracción de copa abierta y el porcentaje de oclusión se obtuvo a partir del análisis con el software libre *Gap Light Analyzer* y la RAFA se midió con un ceptómetro Accupar LP-8. El inventario de leñosas perennes reunió 21 especies y la cobertura arbórea más dominante en el área de estudio fue la menor al 20%. Las especies arbóreas con menor porcentaje de oclusión fueron: *Pseudosamanea guachapele* (64%) y *Prosopis juliflora* (63%), lo que sugiere potenciarlas en diseños de SSP bajo las condiciones evaluadas. El coeficiente de correlación de Pearson para medir la relación entre el área de copa y RAFA transmitida, de manera general indica que entre las variables estudiadas se presenta una relación no muy fuerte e inversa ($r = -0.18$).

Palabras claves: potrero, cobertura arbórea, parcelas, inventario forestal, oclusión.

ABSTRACT

Natural resources require the design and implementation of sustainable cattle production models. The objective of this study is to characterize the woody vegetation of pasture woodland Tolimense cupcake. The forest inventory was carried out by establishing temporary sampling plots. The estimation of the fraction of open cup and the occlusion percentage was obtained from the analysis with the free Gap Light Analyzer software and RAFA was measured with a Accupar ceptómetro LP-8. The inventory of woody perennial species and 21 met the most dominant tree cover in the study area was less than 20%. Tree species with the lowest percentage of occlusion were *Pseudosamanea guachapele* (64%) and *Prosopis juliflora* (63%), suggesting empower SSP in designs under the conditions tested. The Pearson correlation coefficient to measure the relationship between the crown area and RAFA transmitted, generally indicates that among the studied variables not present a very strong relationship and inverse ($r = -0.18$).

Keywords: pasture, tree cover, land, forest inventory, occlusion.

1. INTRODUCCIÓN

Los países tropicales se caracterizan por presentar valores altos en precipitación, humedad relativa, temperatura y radiación solar, generando condiciones ambientales heterogéneas en agroecosistemas con alta diversidad en oferta forrajera para alimentación animal a partir de especies leñosas y herbáceas. Dependiendo de la disponibilidad, disposición e interacción entre el componente arbóreo y herbáceo, el ganado puede favorecerse por la oferta forrajera, especialmente en la época predominantemente seca y mejorar la eficiencia zootécnica al reducir el estrés calórico en zonas de bosque seco tropical; al igual el suelo puede ser beneficiado por el incremento de la fertilidad (Belsky, 1993). Aproximadamente el 50% de las zonas dedicadas a pastoreo en Colombia presentan algún nivel de degradación, situación que obliga a desarrollar estudios en renovación y rehabilitación de praderas, implementando nuevos diseños y modelos donde los sistemas silvopastoriles juegan un papel importante (Chamorro *et al.*, 1998).

Después de considerar los potreros arbolados como campos enmalezados y “no aptos” para la producción ganadera, los sistemas agroforestales pecuarios empiezan a generar otro enfoque válido y sostenible como opción de producción pecuaria. Así, en algunas fincas con tradición de uso de potreros sin árboles, se están estableciendo leñosas perennes en las pasturas con el fin de producir otros bienes y servicios diferentes a los pecuarios, principalmente madera, fibras y frutos, lo cual genera un sistema de producción sustentable con muchos beneficios ambientales (González-Hernández y Rozados-Lorenzo 2008, Harvey *et al.*, 2005). Uno de los sistemas agroforestales más frecuentes y dominantes en Colombia son aquellos donde en las áreas destinadas a pastoreo se han conservado árboles dispersos.

El componente leñoso en pasturas cumple un papel muy importante en la productividad de las fincas ganaderas ya que proveen múltiples bienes, como la madera y alimento para el ganado y servicios como la sombra, la fijación de carbono y la conservación de la biodiversidad (Andrade et al., 2008, Harvey y Haber 1999, Zamora *et al.*,2001). Algunos estudios han demostrado el impacto positivo de los árboles en la producción ganadera, por ejemplo, Souza de Abreu (2002) encontró que la presencia de sombra de árboles ha provocado incrementos de alrededor de un 13% en la producción de leche en la zona del trópico húmedo de Costa Rica.

Los árboles en pasturas son capaces de brindar beneficios ecológicos, como la contribución a conservar hábitats para especies animales, importantes en la dispersión de semillas arbóreas para la regeneración natural, y funcionan como corredores biológicos (Harvey y Haber, 1999). Además, las especies leñosas pueden contribuir a la restauración de pasturas degradadas (Szott *et al.*, 2000), como sumideros de carbono (Andrade *et al.*, 2008) y como alternativa estratégica para reducir la presión sobre los bosques (Kaimowitz y Angelsen, 2008).

Algunos estudios en fincas ganaderas del trópico húmedo de Costa Rica reportan una densidad de árboles dispersos en pasturas de 12 a 22 árboles ha⁻¹ (Souza de Abreu *et al.* 2000), mientras que en el trópico seco de Nicaragua se registraron densidades de 14 a 82 árboles ha⁻¹ (Zamora *et al.* 2001). Por otro lado, conocidos los efectos devastadores de la ganadería tradicional sobre el medio ambiente, basada en la tala y quema indiscriminada de árboles, se ha generado la necesidad de implementar modelos amigables con los recursos naturales como los sistemas agroforestales pecuarios, en los que se propende por conservar el componente arbóreo y el aprovechamiento de la diversidad de recursos forrajeros presentes en el medio. Ospina (2003) hace un recuento de las experiencias más favorables de árboles dispersos en potreros de Colombia, encontrándose una gran diversidad de especies que pueden ser utilizadas en sistemas de producción animal. La ganadería predominante en el valle cálido del alto Magdalena se ha orientado a la producción de carne y doble propósito, empleando pasturas degradadas y gramas naturales, las cuales se encuentran frecuentemente asociadas a especies arbóreas, aunque con un deficiente manejo y aprovechamiento (Andrade *et al.*, 2010).

En este contexto, la caracterización del componente leñoso perenne es necesaria para evaluar el efecto de la sombra sobre las zonas destinadas a pastoreo. El objetivo de este capítulo es caracterizar la vegetación leñosa (distribución de especies, cobertura arbórea, arquitectura de copa, transmisión de radiación fotosintéticamente activa –RAFA) de un potrero del Magdalena Tolimense.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

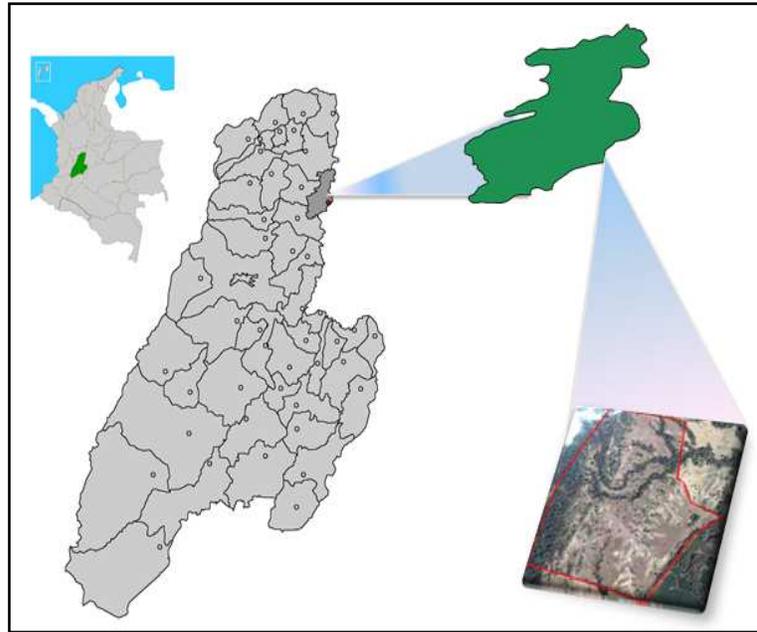
1.2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la hacienda Pajonales, perteneciente a la Organización Pajonales S.A., localizada en el municipio de Ambalema, departamento del Tolima (Colombia), parte alta de la cuenca del Magdalena. El sitio de estudio se encuentra en las coordenadas N 4° 45' 25.9" y W 74° 52' 20.8" a una distancia de 15 km del casco urbano del municipio de Ambalema (Figura 1-1). La zona presenta una precipitación media anual de 1270 mm, una temperatura media de 28 °C y una altitud de 300 m, ubicándose en una zona de vida de bosque seco tropical (Holdridge, 1967). La mayor parte de los suelos corresponden a vertisoles, inceptisoles y molisoles. Los sistemas productivos de la hacienda Pajonales están dirigidos a diversas actividades de tipo agropecuario, dentro de éstas la ganadería.

1.2.2 Inventario forestal y estimación de cobertura arbórea

La cobertura arbórea e inventario forestal se estimó en un potrero de 54 ha (Figura 1-1), con una topografía que varía entre plana y ondulada. El área de estudio se caracteriza por tener una variada cobertura arbórea que va desde 0 a 60%. El potrero en estudio se delimitó mediante geo-referenciación con un GPS submétrico (ver Anexo A), además, se contó con una delimitación física (cercas).

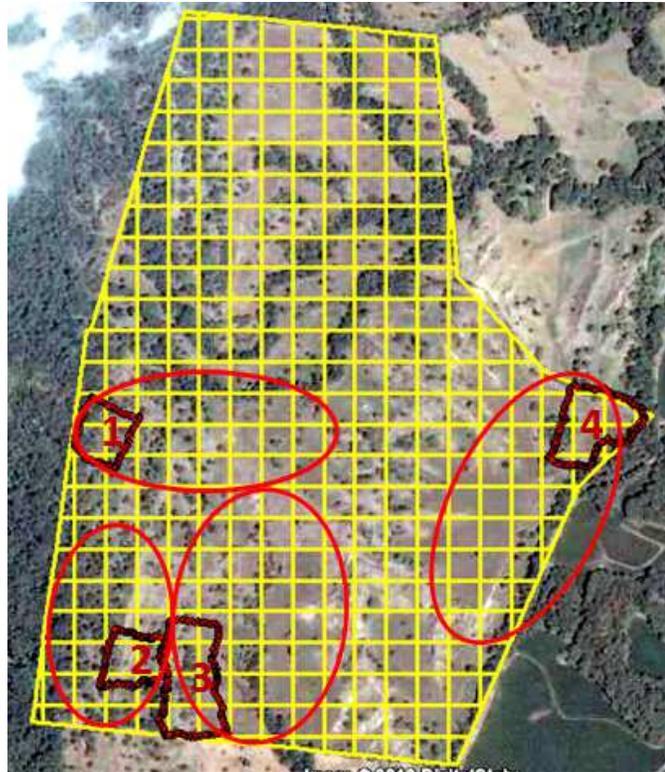
Figura 1-1. Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema, Tolima.



El inventario forestal se realizó mediante el establecimiento parcelas temporales de muestreo, de forma y tamaño variable localizadas en función de la distribución espacial del componente leñoso estimado visualmente. En estas parcelas se inventariaron las especies leñosas (nombre común y científico) y se ubicaron geográficamente por medio de un receptor de GPS (*Garmin eTrex Vista*). Cuando la especie no era identificada en el campo, se procedió a recolectar muestras de hojas, flores y frutos para una posterior identificación taxonómica en el Herbario Toli de la Universidad del Tolima.

La evaluación de la cobertura arbórea se realizó en la época lluviosa, octubre a diciembre de 2009. Se recorrió el potrero estableciendo cuatro parcelas geo referenciadas así: I y II de 7000 m², parcela III de 15000 m² y IV de 12000 m², las cuales eran representativas de la distribución del componente leñoso del potrero caracterizado en cuatro zonas del potrero en estudio (Figura 1-2).

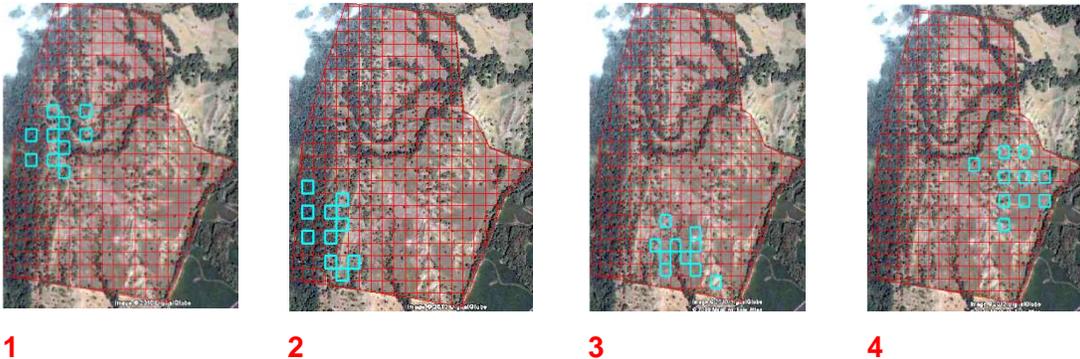
Figura 1-2.Ubicación espacial de parcelas en el potrero de estudio que representan las zonas ilustradas mediante óvalos, para la caracterización del componente leñoso perenne en pasturas del Magdalena Tolimense.



La cobertura del dosel fue estimada usando una imagen digital del satélite Quikbird de Digital Globe, la cual fue procesada en *Arc View3.2* para obtener un mapa de contornos que representaban los límites de las áreas bajo el dosel. Estas áreas fueron convertidas a polígonos, los que a su vez se transformaron a formato *raster*, para finalmente convertir la imagen a puntos distribuidos simétricamente cada metro. Para ello, se usó una imagen de contornos que fue superpuesta en una cuadrícula modelada en SIG con celdas que representaban 0,25 ha cada una. La cobertura arbórea de cada zona se estimó tomando una muestra de 10 celdas, en las cuales se calculó la cobertura con base al conteo de puntos localizados cada 5 m (Figura 1-3.). Las imágenes espaciales de alta resolución como en el caso de imágenes Quikbird pueden llegar a alcanzar precisiones geométricas de 1,10 metros RMSE (raíz cuadrada del error cuadrático medio), aunque la precisión final depende del terreno y de la calidad de los puntos de control (Kay et al. 2003); en

este caso los puntos de control o referencia se tomaron con un GPS submétrico cuyo error aproximado es de 1 metro.

Figura 1-3. Ilustración de las celdas muestreadas para estimar cobertura arbórea en cada zona en un potrero con árboles dispersos en el Magdalena Tolimense.



1.2.3 Estimación de parámetros dasométricos

Se estimó el Índice de Valor de Importancia (IVI) aplicando la metodología sugerida por Lamprecht (1990) para los datos obtenidos producto del inventario realizado a las especies arbóreas en las parcelas de muestreo y aplicando la fórmula:

$$IVI = \text{Abundancia Relativa} + \text{Dominancia Relativa (Área basal)} + \text{Frecuencia Relativa}$$

La abundancia relativa es la proporción porcentual de los individuos de cada especie entre el número total de los árboles. La frecuencia relativa es el cociente entre el número de parcelas en el que se encontró una especie y la frecuencia total de todas las especies por 100. La dominancia relativa se calcula como la proporción porcentual del área basal de unas especies respecto al área basal total del sistema.

Simultáneamente a la realización del inventario forestal, se tomaron mediciones dasométricas de las leñosas perennes, tal como el diámetro del tronco a la altura del pecho (a 1,3 m de altura, DAP), diámetro del tronco a la base (DAB); dos diámetros

perpendiculares de la proyección de la copa sobre el suelo (Bellow, 2000); y altura de árbol (de fuste y total) con ayuda de un clinómetro.

1.2.4 Oclusión de la copa

Se tomaron fotografías digitales convencionales verticales hacia arriba desde debajo del dosel de las diferentes especies arbóreas del potrero. Estas fotografías fueron tomadas en las primeras horas de la mañana para evitar interferencia de rayos solares. Las imágenes obtenidas fueron analizadas usando software libre *Gap Light Analyzer* el cual fue diseñado para analizar fotografías hemisféricas. Esta herramienta permitió estimar la fracción de copa abierta, el porcentaje de oclusión y la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (RAFA) a través del dosel de las leñosas perennes (Frazer *et al.*, 1999).

1.2.5 Medición de transmisión de radiación fotosintéticamente activa (RAFA).

La RAFA se midió con un ceptómetro AccuparLP-8, bajo el dosel, sobre la gotera y fuera de copa, tomando 10 mediciones en tres partes bajo el dosel. Además, se realizó una medición fuera de la copa, la cual fue considerada como la RAFA incidente. Las mediciones se realizaron a medio día (entre 11:00 y 13:00) con cielo completamente despejado. La transmisión de RAFA se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$RAFA_{t(\%)} = \frac{RAFA_t}{RAFA_i} \times 100$$

Dónde;

RAFA_t (%) : RAFA transmitida (%)

RAFA_t : RAFA transmitida (bajo copa, $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

RAFA_i : RAFA incidente (fuera de la copa, $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

1.2.6 Análisis estadístico

Se realizaron gráficos de barras para representar la abundancia relativa (%), área de copa (m²), altura (m), oclusión (%) y RAFA (%). Además se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para estimar la relación entre RAFA transmitida y área de copa. Los análisis estadísticos de la cobertura arbórea en un potrero arbolado del trópico seco del alto magdalena se hicieron con el paquete estadístico SPSS v. 20.

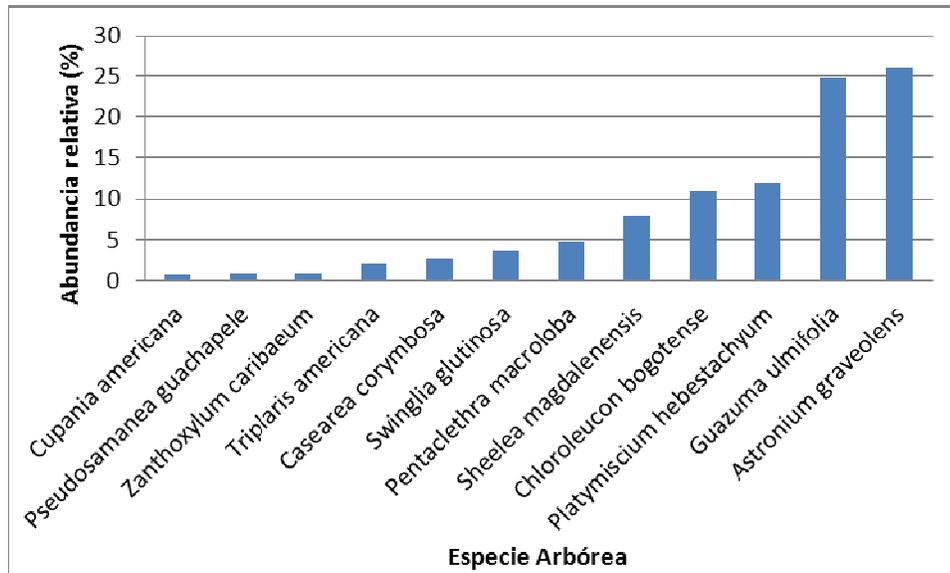
1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1 Inventario forestal y estimación de coberturas

El inventario de leñosas perennes reunió 21 especies correspondientes a igual número de géneros (Ver anexo B). Más del 81% de los individuos leñosos perennes cuantificados pertenecen a cinco especies: diomate (*Astronium graveolens*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), baho *Platymiscium hebestachyum*, angarillo (*Chloroleucon bogotense*) y palma de vino (*Sheelea magdalenensis*), con 26, 25, 12, 11 y 8% de abundancia relativa, respectivamente. (Figura 1-4.). Estos resultados concuerdan ampliamente con lo reportado por IAVH (1998) y Esquivel *et al.*, (2003) para *A. graveolens* y *G. ulmifolia*, respectivamente, las cuales son definidas como abundantes y frecuentes en zonas de bosque seco tropical.

Las especies leñosas perennes de la región son usadas básicamente para suministrar sombra al ganado; sin embargo, algunas son utilizadas como maderables para poste de cerca y como aporte en la dieta de los bovinos. De las especies leñosas predominantes en el potrero de estudio, *G. ulmifolia* ofrece follaje y semilla como opción alimenticia muy apetecida por los vacunos y equinos (Manríquez *et al.*, 2011), principalmente en épocas de escasez de forraje; mientras que *A. graveolens* es una especie arbórea con madera de alta resistencia a golpes, resistencia al rajado, buenas características de maquinado, lijado y dureza lateral alta, que la convierten en especie de uso maderable (Guadalupe, 1995).

Figura 1-4. Abundancia relativa de especies leñosas del bosque seco tropical registradas en una pastura arbolada del Magdalena Tolimense.



La cobertura arbórea varió entre el 23,4 y 77,4% a nivel de parcelas. Sin embargo, se encontró una alta heterogeneidad de la sombra en cada cuadrante, presentando un porcentaje de cobertura entre 5 y 35,2%. (Tabla 1-1).

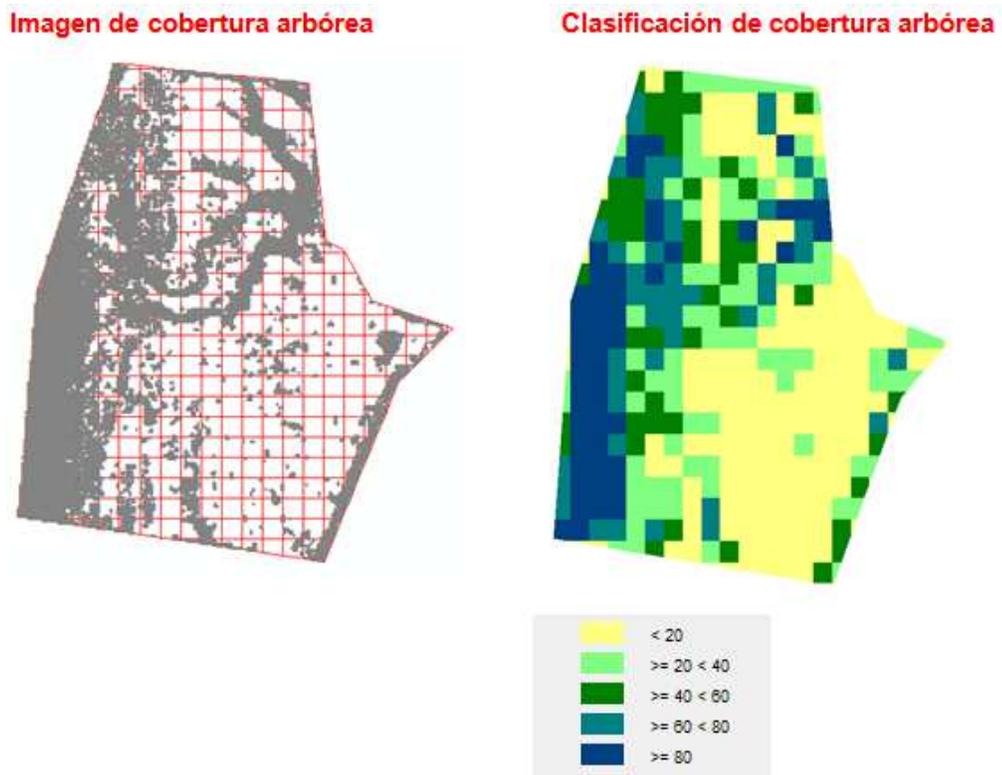
Tabla 1-1: % de cobertura arbórea/Parcela/Cuadrante

Cuadrante	Abundancia absoluta (individuos/ha)	Cobertura arbórea en parcelas (%)	Cobertura arbórea por cuadrante (%)
I	63	77,4	35,2
II	74	78	36
III	24	23,4	5
IV	36	41,9	9,3

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sánchez *et al.*,(2004)en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belén, Rivas, Nicaragua, pero difieren de lo reportado por Restrepo (2002) de la región de Cañas Costa Rica bajo condiciones de bosque seco tropical. En este último estudio, la cobertura arbórea varió entre 0 y a 60% pero con predominio de fincas con una cobertura arbórea relativamente baja (<20%).

La cobertura arbórea más dominante en el área de estudio fue la menor al 20%, cubriendo un 47% del área; en contraste, solo el 16% del área presentó una cobertura mayor al 60% (Figura 1-5).

Figura 1-5. Mapas de cobertura arbórea en un potrero del Magdalena Tolimense.



1.3.2 Mediciones dasométricas

Los valores de DAP para *G. ulmifolia* variaron entre 15 y 70 cm, lo cual está dentro del valor reportado por Zapata (2010) en un estudio realizado en los Municipios de Muy Muy y Matiguás, Departamento de Matagalpa, Nicaragua donde el valor de DAP para *G. ulmifolia* fue de 35.1 cm. La especie *A. graveolens* presenta un valor promedio para DAP menor a 60cm, lo cual indica que hay muchos individuos pequeños probablemente jóvenes (Arends *et al.*, 2005), es decir, existe alta capacidad de regeneración natural de esta especie. La dominancia relativa para área basal muestra que el 78% corresponde a cinco especies: Guásimo (*Guazuma ulmifolia*), Diomate (*Astronium graveolens*), Angarillo (*Chloroleucon bogotense*), Baho (*Platymiscium hebestachyum*) y Palma de vino (*Sheelea magdalenensis*) con (25,33), (15,80), (16,42), (3,95) y (16,32) por ciento respectivamente. El diámetro basal de *G. ulmifolia* en el potrero de estudio (45 cm; Tabla 1-2) se encuentra dentro del rango de los datos de un estudio realizado en un potrero de la comunidad de Lázaro Cárdenas, Municipio de Simojovel de Allende, Chiapas, México, donde se reporta para diámetro basal de *G. ulmifolia* valores entre 3 y 60 cm. (López *et al.*, 2003).

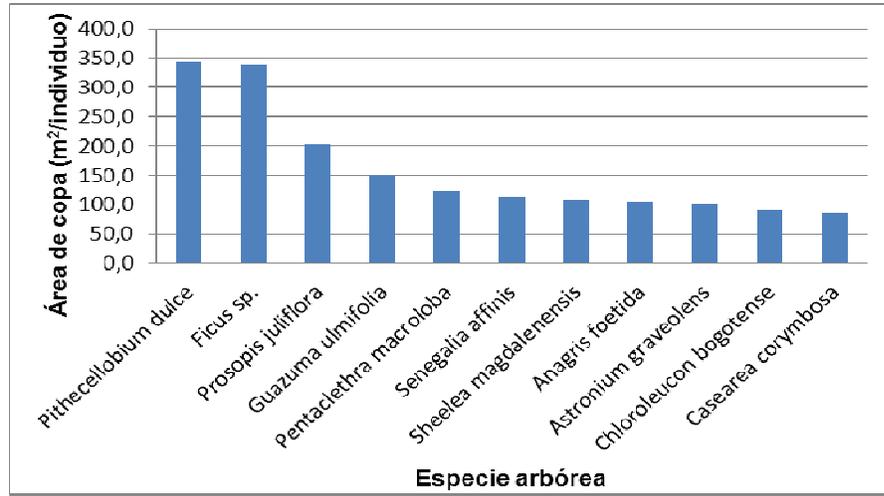
Pithecellobium dulce, *Ficus* sp. y *P. juliflora* fueron las especies en las que se encontraron individuos con mayor área de copa (344,2; 339,3 y 203,46 m²/individuo, respectivamente), siendo de esta manera las especies que proporcionan más sombra en el área del potrero. Algunos estudios reportan para la especie *Ficus* sp. un diámetro de copa promedio de hasta 25 m (Herrera, 2009), valor promedio dentro del cual se encuentra la especie en el potrero de estudio (21,6 y 20 m). El área de copa para un individuo de la especie *P. juliflora* (243 m²) del potrero en estudio difiere de manera muy marcada de lo reportado por Sánchez *et al.*, (2004), de 22 y 45 m² para esa especie en un estudio realizado en el estado Falcón Venezuela.

Tabla 1-2. Diámetro de troncos (diámetro a la altura del pecho-DAP y diámetro a la base-DB) promedio e índice de valor de importancia-IVI de las especies más importantes encontradas en un potrero del Magdalena Tolimense.

Especie	Promedio		(% IVI)
	DAP (cm)	DB (cm)	
Guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	37,0	45,0	93,7
Diomate (<i>Astronium graveolens</i>)	28,0	33,0	69,0
Angarillo (<i>Chloroleucon bogotense</i>)	31,0	42,0	60,2
Baho (<i>Platymiscium hebestachyum</i>)	23,0	29,0	50,4
Palma de vino(<i>Sheelea magdalenensis</i>)	54,0	66,0	38,7
Limón de cerca (<i>Swinglia glutinosa</i>)	53,0	70,0	16,3
Dormilón (<i>Pentaclethra macroloba</i>)	39,0	45,0	12,9
Ondquera (<i>Casearea corymbosa</i>)	19,0	21,0	8,9
Tachuelo (<i>Zanthoxylum caribaeum</i>)	18,0	28,0	8,5
Varasanta (<i>Triplaris americana</i>)	17,0	22,0	7,9

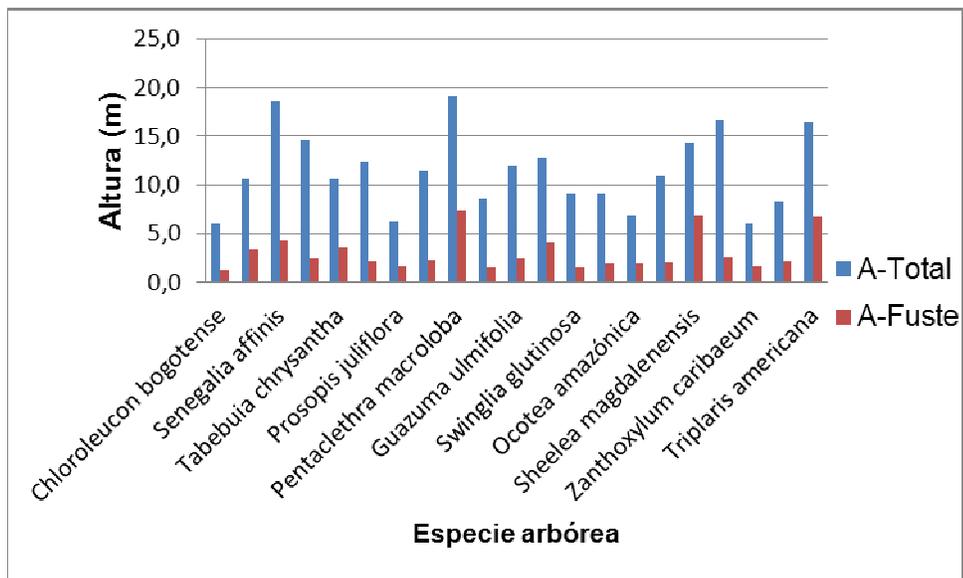
Las especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) presentan valores medios y altos en área de copa, tal como *G. ulmifolia*, *A. graveolens* y *C. bogotense* con 149,9 vs 103,1 vs 90,8 m²/individuo respectivamente (Figura 1-6).

Figura 1-6. Área de copa promedio de especies leñosas encontradas en un potrero del Magdalena Tolimense.



Pentaclethra macroloba, *Senegalia affinis*, *Pithecellobium dulce*, *Triplaris americana* y *Pseudosamanea guachapele* fueron las especies con mayor altura total y de fuste promedio (19,2 y 7,4 m; 18,6 y 4,3 m; 16,6 y 2,6 m; 16,4 y 6,8 m; 12,7 y 4,1 m, respectivamente; Figura 1-7).

Figura 1-7. Altura total y de fuste promedio de especies leñosas de un potrero del Magdalena Tolimense.

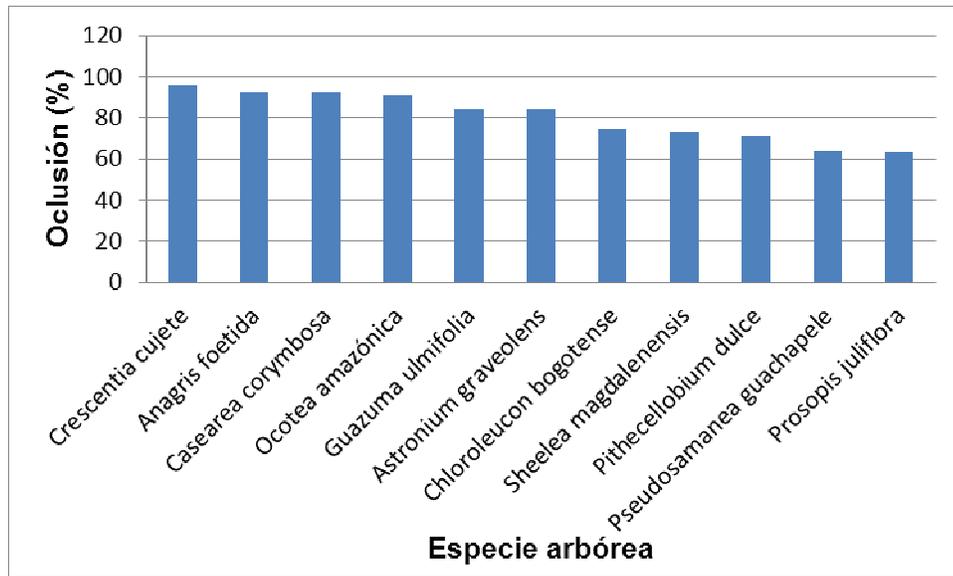


1.3.3 Oclusión de copas

Las especies leñosas perennes con mayor oclusión de su copa fueron *Crescentia cujete*, *Anagris foetida*, *Casearea corymbosa*, *Ocotea amazonica*, *Guazuma ulmifolia* y *Astronium graveolens* con 96, 92, 92, 91 y 84% respectivamente ejerciendo alta interferencia sobre el paso de radiación fotosintética activa transmitida, insumo básico para el buen desarrollo del estrato herbáceo existente bajo el dosel. Un estudio realizado en el Instituto de Ciencia Animal de la Habana Cuba evaluó el efecto de la sombra en el comportamiento productivo de *Panicum máximum* en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* teniendo en cuenta el porcentaje de área cubierta sol-sombra; reportando valores de 42 a 56 % para sombra u obstrucción de paso de luz a través del dosel en diferentes épocas (Alonso *et al.*, 2006), valores que están muy por debajo de los valores mostrados en este estudio para oclusión de copas.

En contraste, las especies de menor oclusión de copa, es decir, aquellas que generan una sombra más rala a la pastura fueron *Chloroleucon bogotense*, *Sheelea magdalenensis*, *Pithecellobium dulce*, *Pseudosamanea guachapele* y *Prosopis juliflora* con 74, 73, 71, 64 y 63% respectivamente (Figura 1-8). Estos datos sugieren que en el momento de establecer o mantener especies arbóreas en las pasturas se debe tener en cuenta su efecto de interferencia de luz para fotosíntesis al estrato herbáceo, originado por las copas y la densidad de la especie que impacta la competitividad por agua y nutrientes del suelo (Daccarett y Blydenstein, 1968). Lo anterior permite direccionar los diseños de sistemas silvopastoriles hacia modelos que involucren especies leñosas con valores bajos para oclusión de copas, facilitando de esta manera el buen desarrollo de las especies herbáceas presentes bajo el dosel a partir de buena disponibilidad de luz solar.

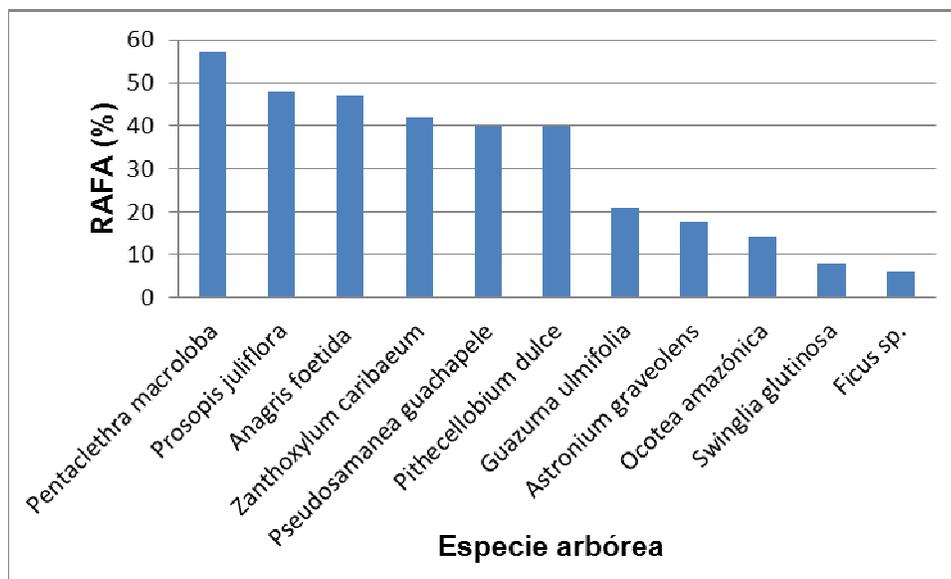
Figura 1-8. Oclusión de copas de especies leñosas perennes en un potrero del Magdalena Tolimense.



1.3.4 Transmisión de radiación fotosintéticamente activa por las copas de leñosas perennes.

Se encontraron especies con arquitectura de copa que permite un alto porcentaje de transmisión de RAFA, dentro de éstas encontramos a *P. juliflora*, *Z. caribaeume*, *P. guachapele* con un 57, 48 y 47%, respectivamente. Otro grupo de especies presenta altos niveles de intercepción de RAFA, permitiendo que solo una pequeña fracción de ésta llegue hasta la pastura, tal como *G. ulmifolia*, *A. graveolens*, *O. amazonica*, *Swinglia glutinosa* y *Ficus* sp. con 21, 18, 14, 8 y 6%, respectivamente (Figura 1-9). La variabilidad en la transmisión de RAFA entre especies leñosas perennes se puede explicar por el índice de área foliar, ángulo de inserción de las hojas, la disposición de las hojas en el tallo y el tamaño, producción y renovación de las hojas (Campbell y Grime, 1989; Berendse et al., 1999; Valladares y Brittes, 2004; Kikuzawa 1995, 2003).

Figura 1-9. Porcentaje de RAFA transmitida por la copa de especies arbóreas de un potrero del Magdalena Tolimense.



El coeficiente de correlación de Pearson para medir la relación entre el área de copa y RAFA transmitida, de manera general indica que entre las variables estudiadas se presenta una relación no muy fuerte e inversa ($r = -0.18$), es decir que cuando el área de copa estimada para el potrero en estudio es mayor el porcentaje de RAFA transmitido es menor (Ver tabla 1-3).

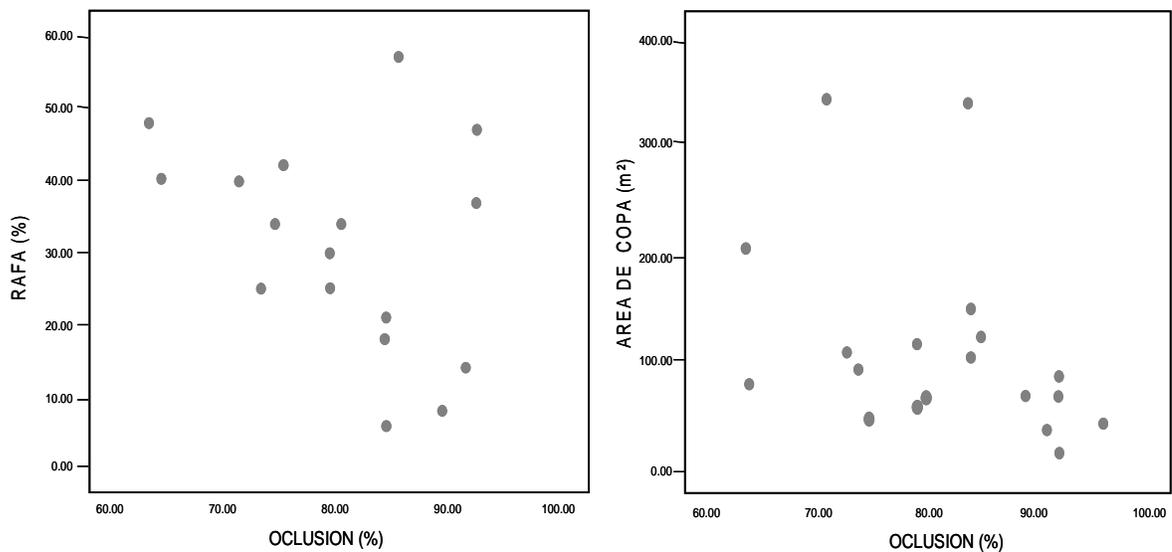
Tabla 1-3. Matriz de correlaciones para área de copa y RAFA transmitida; los valores corresponden a Coeficientes de Correlación de Pearson.

VARIABLES	RAFA	ÁREA DE COPA
RAFA	1	-0,18
ÁREA DE COPA	-0,18	1

La figura 1-10 muestra a través de la gráfica de dispersión el comportamiento inverso entre las variables estudiadas. Los valores en porcentaje de algunas especies arbóreas para RAFA muestran porcentaje alto en comparación con las demás; ante lo observado caben destacar especies como: Dormilón (*Pentaclethra maculoba*) (57 %), Cují (*Prosopis juliflora*) (48 %), Algarrobo hediondo (*Anagris*

foetida) (47 %); para porcentaje de Oclusión se observa la misma tendencia, valores en porcentaje muy altos para especies como: Totumo (*Crescentia cujete*) (96 %), Algarrobo hediondo (*Anagris foetida*) (92 %), Ondequera (*Casearea corymbosa*) (92 %), Chicala (*Tabebuia chrysantha*) (92 %), Mortesino (*Ocotea amazónica*) (91 %).

Figura 1-10. Grafica de dispersión para la correlación de porcentaje de Oclusión vs RAFA y porcentaje de Oclusión vs Área de copa de las especies arbóreas del potrero en estudio.



De acuerdo con Andrade *et al* (2010), *P. juliflora* presenta las mejores condiciones del dosel para su inclusión en sistemas silvopastoriles, ya que tiene una alta transmisión de RAFA (48%); otras especies leñosas como *Z. caribaeum* y *P. guachapele* también tienen gran potencial para plantarse en potreros, debido a su alta transmisión de RAFA unido a una baja área de copa (42,1 y 40,8% de RAFA transmitida y 44,4 y 66 m²árbol⁻¹ de área de copa, respectivamente).

1.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.4.1 Conclusiones

Se encontró una alta diversidad de especies leñosas perennes que tiene potencial para ser introducidas a pasturas debido a la poca sombra que generan al estrato herbáceo, propiciando condiciones más favorables para la fotosíntesis. Las especies de menor porcentaje de oclusión y que por lo tanto generan una sombra más rala a la pastura fueron *Chloroleucon bogotense*, *Sheelea magdalenensis*, *Pithecellobium dulce*, *Pseudosamanea guachapele* y *Prosopis juliflora* con 74, 73, 71 y 64 y 63%, respectivamente.

Estimar la transmisión de RAFA para las especies arbóreas del potrero estudiado permitió encontrar especies con arquitectura de copa que permite un alto porcentaje de transmisión de RAFA, situación que facilita y optimiza el ciclo vegetativo de las gramíneas situadas bajo el dosel; dentro las especies con valores altos para RAFA encontramos; *P. juliflora*, *Z. caribaeume*, *P. guachapele* con un 57, 48, 47, 42 y 40%, respectivamente. Los datos resultantes de este estudio para porcentaje de oclusión y RAFA sugieren que en el momento de diseñar e implementar sistemas silvopastoriles bajo las condiciones en las que se encuentra el potrero estudiado, se debería tener en cuenta las especies arbóreas que presentan características de arquitectura de dosel favorables para porcentaje de oclusión y RAFA potenciando el aporte positivo en el tema de mayor accesibilidad a la energía solar y, por lo tanto, beneficio en el proceso fotosintético de las pasturas.

1.4.2 Recomendaciones

Implementar estudios que puedan potenciar los valores bajos observados en este estudio para algunas especies arbóreas en función del % de Oclusión (*Chloroleucon bogotense*, *Sheelea magdalenensis*, *Pithecellobium dulce*, *Pseudosamanea guachapele* y *Prosopis juliflora*) y los valores altos observados en este estudio dados en porcentaje para otras especies arbóreas en función de RAFA (*P. juliflora*, *Z. caribaeume*, *P. guachapele*), buscando ampliar la disponibilidad de especies leñosas con características deseables en su arquitectura de copa para el diseño e implementación de sistemas silvopastoriles, debido al impacto positivo hacia el estrato herbáceo.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, J.; Febles, G.; Ruiz, T.E.; Achang, G. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 40, número. 4, pp.503-511.

Andrade, H. J., Brook, R., and M. Ibrahim. 2008. Growth, production and carbón sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil* 308:11-22.

Andrade, H., Serrano, R., Pinzón, M. 2010. Estructura, composición florística y características de copa del dosel de sombra en un sistema silvopastoril de árboles dispersos en potreros del Valle Cálido del Magdalena, Tolima, Colombia Memorias, VI Congreso Latinoamericano Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. CATIE, Panamá.

Arends, E., Sánchez, D., Villarreal, A., Serrano, J., Benítez, ME., 2005. Bosque Universitario El Caimital y La Estación Silvicultural El Manguito: Dos Lotes Boscosos de los Llanos Occidentales para la Conservación *In Situ* de Especies en Peligro. Págs. 1 – 19. *Rev. For. Lat.* N° 38.

Bellow, JG. 2000. Canopy variation in over story species and assessment of light availability forshaded crops in agroforestry systems. Mag Sc, Thesis.Florida, US.University of Florida.

Belsky, A. J., Mwonga. S. M., Duxbury, J. M. 1993. Effects of widelyspacedtrees and livestockgrazingon under story environments in tropical savannahs. *Agroforestrysystems* 24: 1-20.

Berendse, F., H. de Kroon., W. G. Braakhekke., 1999. Acquisition, use, and loss of nutrients. Páginas 315-346 en: F. I. Pugnaire, y F. Valladares (editores). *Hand book of functional plant ecology*. Marcel Dekker, New York, Estados Unidos.

Campbell, BD., y J. P. Grime., 1989. A comparative study of plant responsiveness to the duration of episodes of mineral nutrient enrichment.*New Phytologist* 112: 261-267.

Chamorro V., Diego R.; Gallo B., Jorge E.; Arcos D., Juan C.; Vanegas R., Miguel A., 1998. Gramíneas y leguminosas, consideraciones agrozootécnicas para ganaderías de trópico bajo, *Boletín de investigación, CORPOICA, Regional 6, Centro de investigación "Nataima", El Espinal, Tolima, Colombia.*

Daccarett, M., y Blydenstein, J., 1968. La influencia de árboles leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. *Turrialba*, 18(4): 405-408.

Esquivel, H., Ibrahim, M., Harvey, CA., Villanueva, C., Benjamin, t., Sinclair, FL., 2003. *Agroforesteria en las Américas Vol. 10 N° 39402003 Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica* página 3.

Frazer, GW., Canham, CD., and Lertzman, KP., 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0; Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Colombia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

González-Hernández, MP., Rozados-Lorenzo, MJ., 2008. Pasture production and tree growth in agroforestry systems of Northwest Spain. In Batish, DR., Kohli, RK., Jose, S., Singh, HP., (Eds.). *Ecological basis of agroforestry*. Boca Raton, Florida, Taylor and Francis Group, LLC. p. 361-376.

Guadalupe, M., Bárcenas Pazos., 1995. Caracterización Tecnológica De Veinte Especies Maderables De La Selva Lacandona, Chis., México *Madera y Bosques, primavera, año/vol. 1, número 001* Instituto de Ecología A.C Xalapa, México pp. 9-38.

Harvey, CA., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M., Ibrahim, M., Gómez, R., Taylor, R., Martínez, J., Navas, A., Sáenz, J., Sánchez, D., Medina, A., Vílchez, S., Hernández, B., Pérez, A., Ruiz, E., López, F., Lang, I., Sinclair, FL., 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment* 111: 200-230.

Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems*. 44: 37 – 68.

Herrera, S., 2009. *Árboles de la Universidad del Valle*. Cali: Universidad del Valle. Página 138.

Holdridge, LR., 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).

IAVH-Instituto Alexander von Humboldt. 1998. Programa de Inventario de la Biodiversidad Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA. *El Bosque seco Tropical en Colombia*, pagina 6.

Kaimowitz, D. and Angelsen, A. 2008 Will livestock intensification help save Latin America's forests? *Journal of Sustainable Forestry* 27(1-2): 6-24.

Kay, S., Spruyt, P., Alexandrou, K., 2003. "Geometric Quality Assessment of Orthorectified VHR Space Image Data." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69: 484-491.

Kikuzawa, K., 1995. Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. *Canadian Journal of Botany* 73: 158-163.

Kikuzawa, K., 2003. Phenological and morphological adaptations to the light environment in two woody and two herbaceous plant species. *Functional Ecology* 17: 29-38.

Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos*. Traducido del alemán por A. Cacillo. Eschborn, Alemania, GTZ. 365 p.

Lopez-Merlin D., Soto-Pinto L., Jimenez-Ferrer G., Hernandez-Daumas S., 2003. Relaciones alométricas para la producción de biomasa forrajera y leña de acacia pennatula y Guazuma ulmifolia en dos comunidades del norte de Chiapas México, *interciencia*, junio, año/vol.28, número 006, p 334-339.

Manríquez-Mendoza, Leonor Yalid., López-Ortiz, Silvia., Pérez-Hernández, Ponciano., Ortega- Jiménez, Eusebio., López-Tecpoyotl, Zenón Gerardo., Villarruel-Fuentes, Manuel., 2011. AGRONOMIC AND FORAGE CHARACTERISTICS OF Guazuma ulmifolia LAM Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 14, núm. 2, mayo- agosto, 2011, pp. 453-463.

Ospina, A. 2003. *Agroforesteria Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal*. Cali, Colombia, Asociación del Colectivo del Suroccidente Colombiano 205 p.

Restrepo, C., 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica, pagina 44.

Sánchez, A.J.; Pariacote, F.A.; Alfonso, S. y Flores, R. 2004. Arquitectura y Fenología de las Especies *Prosopis juliflora* [javascript:spLink\('bioline','en','Prosopis','juliflora',''\)](#) y *Acacia tortuosa* [javascript:spLink\('bioline','en','Acacia','tortuosa',''\)](#) en el Semiárido del Estado Falcón, Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, Vol. 12, No. 4s1, 2004, pp. 72-81.

Souza de Abreu, M.; Ibrahim, M.; Harvey, C.; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de la Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas* 7(26):53-56.

Souza de Abreu, María Helena., 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Thesis. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Szott, L.; Ibrahim, M. y Beer, J. 2000. *The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in central America*, CATIE, Costa Rica (en edicion).

Valladares, F., y D. Brittes., 2004. Leaf phyllotaxis: does it really affect light capture? *PlantEcology* 174: 11-17.

Zamora, S. Garcia, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C. A., and M. Ibrahim. 2001. Como utilizar los frutos de Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), genizaro (*Pithecellobium saman*) y jicaro (*Crescentia alata*) en alimentación animal. *Agroforesteria en las Américas* 8: 45-49.

Zapata Arango, Piedad Cecilia., 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. *Magister Scientiae*. Thesis. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

CAPITULO 2. COBERTURA ARBÓREA EN UN POTRERO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA

RESUMEN

Evaluar la productividad y calidad de la pastura es fundamental en la planificación y direccionamiento de los sistemas de producción bovina. El objetivo de este estudio es caracterizar el componente herbáceo de la pastura en función de la cobertura arbórea en un potrero del Magdalena Tolimense. Se seleccionaron 19 sitios a partir del levantamiento virtual de una grilla de 50 x 50 m superpuesta sobre una imagen satelital Quick Bird de Google earth usando ArcGIS 9.2. La biomasa total disponible se estimó con el método del Botanal y se realizaron análisis químicos para evaluar la calidad del forraje. El potrero presentó un valor promedio para disponibilidad de MS de 3,8 t/ha/corte; siendo las áreas con cobertura arbórea $\leq 40\%$ las que presentaron mayor promedio 4,3 t/ha/corte. El análisis de varianza realizado para explicar estadísticamente la producción promedio de biomasa (*Bothriochloa pertusa*) en función de la clasificación asignada a la cobertura arbórea en desarrollo del estudio ($p=0.0001$), indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de disponibilidad de MS/ha/corte en función de las 5 clases de cobertura arbórea.

Palabras claves: potrero, componente herbáceo, cobertura arbórea, análisis, disponibilidad.

ABSTRACT

To evaluate the productivity and quality of pasture is critical in planning and targeting of cattle production systems. The objective of this study is to characterize the herbaceous component of pasture according to tree cover in a paddock of Magdalena Tolimense. 19 sites were selected from a virtual uprising grid of 50 x 50 m superimposed on Quick Bird satellite image from Google Earth using ArcGIS 9.2. The total available biomass was estimated using the method of Botanal and chemical analyzes were performed to assess the quality of the forage. The paddock presented an average value of 3.8 Availability of MS t / ha / cut, being the areas with $\leq 40\%$ tree cover which had higher average 4.3 t / ha / cut. The analysis of variance to explain statistically average biomass production (*Bothriochloa pertusa*) depending on the classification assigned to developing tree cover of the study ($p = 0.0001$), indicating that there were significant differences between the values of availability of MS / ha / cut according to the 5 classes of tree cover.

Keywords: pasture, herbaceous component, tree cover, analysis, availability.

2.1 INTRODUCCIÓN

Hablar de la ganadería en el Magdalena medio tolimense es hablar de la dinámica de los sistemas de producción de ganado de carne y doble propósito en pastoreo extensivo. En el Magdalena medio tolimense, el manejo de estos sistemas de producción está basado en pastoreo sobre pasturas degradadas de colosoana (*Bothriochloa pertusa*), puntero (*Hyparrhenia ruffa*), angleton (*Dichanthium aristatum*) y en menor extensión con pastos mejorados de estrella (*Cynodon plectostachyus*), pangola y gramas naturales. La predominancia de pasturas degradadas trae como resultados al productor, una baja en los rendimientos de producción animal y unos altos costos de producción (Holmann *et al.*, 2004).

Es evidente que la sombra y la biomasa de los árboles tienen potencial para mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la disponibilidad de nitrógeno para las especies forrajeras herbáceas y mejorar la calidad del forraje, contribuyendo frecuentemente, a aumentar la producción de forraje. En este sentido, Bolívar *et al.*, (1999) reportan un aumento en la producción de materia seca del pasto *Brachiaria humidicola* en asocio con *Acacia mangium*, relacionado con el incremento de la concentración de N y P en el suelo en los sistemas silvopastoriles comparado con la pastura en monocultivo en un suelo ácido en el trópico húmedo. Igualmente, en el experimento de Castro *et al.*, (1999) encontraron un aumento del 20% en la producción de materia seca de *Panicum maximum* bajo sombra artificial.

El beneficio de la cobertura arbórea sobre las pasturas también se considera por la adición de nutrientes que las especies leñosas aportan al sistema a través de la deposición de biomasa y adquisición de nutrientes del suelo. Resultados de un experimento realizado en el Valle del Cauca, Colombia en el cual se evaluó el efecto de dos sistemas agrosilvopastoriles sobre algunas propiedades químicas del suelo, dentro del cual un sistema se estructuró a partir de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y algarrobo (*Prosopis juniflora*) y el otro sistema con pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) y algarrobo (*Prosopis juniflora*) en comparación con áreas donde predomina únicamente el pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), mostro a partir de muestras de suelo recolectadas a tres profundidades en las áreas objeto del estudio, que en las muestras a profundidades de 0-10 y 10-20 cm, los contenidos de N y MO fueron más bajos en el suelo con pasto estrella en monocultivo que en los suelos de los sistemas que tenían dentro de sus componentes especies leguminosas (Mahecha *et al.*, 1999).

Ospina (2003) hace un recuento de las experiencias más favorables de árboles dispersos en potreros de Colombia, mostrando una gran diversidad de especies apreciadas por los ganaderos en función de sus usos como fuente de valor agregado para la producción animal. En los valles interandinos se presentan extensas áreas de pasturas, las cuales comúnmente presentan especies leñosas perennes de regeneración natural. La ganadería predominante en el valle cálido del

alto Magdalena se ha orientado a la producción de carne y doble propósito, empleando pasturas degradadas y gramas naturales, las cuales se encuentran frecuentemente asociadas a especies arbóreas, aunque con un deficiente manejo.

La interacción entre el componente leñoso y herbáceo en las pasturas puede generar efectos negativos, como es el caso de la cobertura arbórea sobre el crecimiento de las gramíneas y leguminosas herbáceas por competencia de luz, pero puede ser también positiva por la conservación de humedad y disponibilidad de materia orgánica y nutrientes en el suelo (Ramírez, 1997). Algunas investigaciones reportan que las gramíneas existentes bajo cobertura arbórea son sometidas a transformaciones importantes debido a la cantidad y calidad de la radiación solar que reciben (Plevich *et al.*, 2002). Otros investigadores indican que la producción de biomasa en las gramíneas disminuye por el efecto que la sombra está ejerciendo sobre la longitud y número de brotes de pasto (Villafuerte *et al.*, 1999; Betancourt *et al.*, 2003), no obstante el área foliar y la eficiencia fotosintética aumenta dando como resultante forrajes de mejor calidad. La disminución de temperatura bajo copa reduce la temperatura foliar en la gramínea, lo que a su vez baja los niveles de transpiración, aumentando la eficiencia de uso de agua de la gramínea (Plevich *et al.*, 2002; Gil *et al.*, 2005).

Estas relaciones han generado interrogantes en cuanto al diseño de potreros y comportamiento animal, convirtiéndose en objeto de interés para estudiosos de los sistemas silvopastoriles. El objetivo de este capítulo es caracterizar el componente herbáceo de la pastura en función de la cobertura arbórea en un potrero del Magdalena Tolimense.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

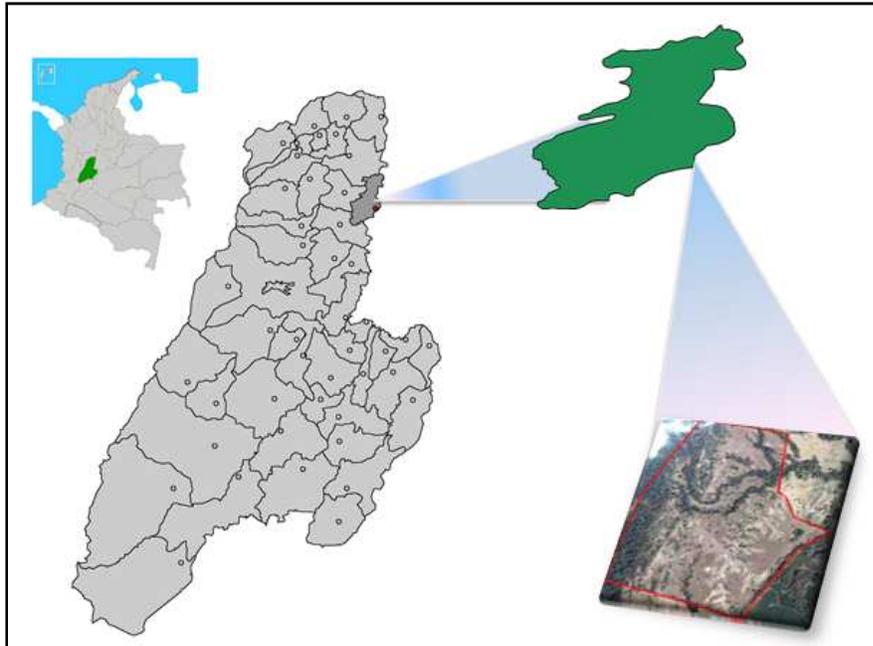
2.2.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la hacienda Pajonales perteneciente a la Organización Pajonales S.A., localizada en el municipio de Ambalema, departamento del Tolima (Colombia), parte alta de la cuenca del Magdalena, con coordenadas N 4° 45' 25.9" y W 74° 52' 20.8" y a una distancia de 15km del casco urbano del municipio de Ambalema (Figura 2-1). La zona presenta una precipitación media anual del sitio de 1270 mm, una temperatura media de 28 °C y una altura de 300 m, ubicándose en una zona de vida de bosque seco tropical según Holdridge (1967). La mayor parte de los suelos corresponden a vertisoles, inceptisoles y molisoles. Los sistemas productivos de la hacienda Pajonales están dirigidos a diversas actividades de tipo agropecuario dentro de éstas la ganadería.

2.2.2 Estimación de la cobertura total del potrero.

Para estimar la cobertura total del potrero se empleó una imagen satelital Quick Bird de Google earth, con base en la cual se procedió a realizar una modelación de la cobertura arbórea con fundamento en la diferenciación de las tonalidades de la cobertura vegetal. Para ello, se usó ArcGIS 9.2 que permitió realizar una delimitación de los contornos de la zona boscosa, la cual posteriormente fue convertida a polígonos, los que a su vez fueron representados en una imagen de puntos, separados a 1 m². Simultáneamente, se construyó una cuadrícula con celdas de 0,25 ha cada una, la cual fue superpuesta sobre la capa de puntos que representaban la cobertura del dosel.

Figura 2-1: Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema Tolima.



La cobertura total de cada cuadrante fue estimada con base en el análisis de la imagen digital, en la cual se creó un ambiente para SIG compatible con ArcGIS 9.3. Así, cada 0,25 ha quedó subdividida en 2500 cuadros de 1 m² cada uno, permitiendo estimar de manera porcentual las categorías de cobertura arbórea de la siguiente forma: A: <20%; B: ≥20% y <40%; C: ≥ 40% y <60%; D: ≥60% y <80% y E: ≥80% de cobertura arbórea.

2.2.3 Disponibilidad de forraje

Se seleccionaron 19 sitios a partir del levantamiento virtual de una grilla de 50 x 50 m superpuesta sobre la imagen satelital usando ArcGIS 9.2 a partir de la cual se había sectorizado el potrero en estudio según el porcentaje de cobertura arbórea. A su vez se hizo la estimación de biomasa y toma de muestras en 19 parcelas de 2500 m² diferenciadas en función de cobertura arbórea y disponibilidad de forraje como se puede apreciar en la figura 2-2.

Figura 2-2. Mapa de coberturas y ubicación espacial de las 19 parcelas para aforos en función de la cobertura arbórea en el potrero Lomitas (Ambalema-Tolima).



La biomasa total disponible se estimó usando marcos de madera de 50 x 50 cm (Haydock y Shaw, 1975; T'Mannetje y Haydock, 1963). En cada parcela se identificaron tres sitios con relación a la disponibilidad de biomasa: baja, media y alta, asignando calificaciones de 1, 2 y 3, respectivamente. En estos puntos el muestreo destructivo de la pastura (ver Anexo C), se realizó cortando al nivel del suelo biomasa disponible en marcos de 50 x 50 cm pesando en fresco en una balanza y tomando muestras para determinación de materia seca. Luego, se efectuó una evaluación visual de 60 sitios por parcela, teniendo en cuenta las calificaciones asignadas inicialmente, cada una de ellas espaciadas 10 m. Una vez pesado, el resultado de cada uno de los tres sitios se multiplicó el peso por el número de observaciones de cada categoría obtenida en la calificación visual, después de lo cual se procedió a identificar las especies herbáceas componentes de la pastura para pesarlas y definir la composición florística de la pastura a partir de valores porcentuales. Se hicieron cuatro aforos en diferentes periodos: 25 de noviembre de 2009 (invierno), 17 de mayo de 2010 (invierno), 30 de julio de 2010 (verano) y 25 de diciembre de 2010 (invierno).

2.2.4 Muestreo para análisis bromatológico

Para seleccionar la muestra destinada al análisis bromatológico se aprovechaba la cantidad de forraje obtenido a partir de los aforos, los cuales una vez pesados fueron homogenizados para tomar 1 kg de forraje, empacarlo y rotularlo en una bolsa plástica para enviar al Laboratorio de Ecofisiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad el Tolima. Se realizaron análisis para materia seca por el método de secado en estufa (prueba gravimétrica por diferencia de peso), la FDN, FDA y Lignina se determinaron a partir del método de Van Soest y la PC se determinó con el método de Kjeldahl.

2.2.5 Muestreo para análisis químico de suelos

El muestreo para el análisis químico de suelos se realizó seleccionando cinco parcelas de 50 X 50 m en función de la cobertura arbórea y del número de visitas de los animales a cada celda establecidas por las posiciones de GPS determinadas por el movimiento animal como se explica en el capítulo 3. De cada parcela seleccionada, se tomaron cinco muestras de suelo (esquinas y centro) con un barreno a 20 cm de profundidad, previa limpieza del mantillo del sitio a muestrear. Estas muestras fueron homogenizadas para luego tomar dos kg de la mezcla, empacar y rotular en una bolsa plástica para envío al laboratorio LASEREX de la Universidad del Tolima.

2.2.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de la producción de biomasa y su relación con la cobertura arbórea en un potrero arbolado, se analizó con el paquete estadístico SPSS v.20. Se realizaron gráficos de barras para representar la disponibilidad de materia seca en función de las épocas. Para explicar la producción de materia seca /t/hade (*Bothriochloa pertusa*) en función de las clases establecidas para cobertura arbórea se realizó un análisis de varianza, donde se interpretaron las clases de

cobertura como los tratamientos a comparar; y la prueba de comparación múltiple de Duncan. Para comparar la producción de materia seca /t/ha en función de las épocas se realizó una prueba t-Student para muestras independientes.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Disponibilidad de biomasa total

El pasto colosoana (*Bothriochloa pertusa*), gramínea naturalizada de crecimiento rastrero y alta capacidad invasora, se encontraba en una proporción superior al 94% de cobertura herbácea, el 6% restante estaba compuesto por orejitas de ratón (*Desmodium triflorum*), suelda consuelda (*Conmelina diffusa*), amor seco o pega-pega (*Desmodium tortuosum*), botón amarillo (*Aspilla tonella*) y panchecito (*Pavonia fruticosa*). Por estas características, la pastura del potrero se definió como monofítica, constituida casi en su totalidad por una sola especie de gramínea. En parte, esta condición puede atribuirse a que *Bothriochloa pertusa* presenta una alta producción de semilla, convirtiéndola en una gramínea invasora y agresiva que impide el desarrollo de otras especies de gramíneas y leguminosas en la pradera (CORPOICA, 2005).

La disponibilidad de materia seca promedio estimada teniendo en cuenta la clasificación porcentual de la cobertura arbórea en el potrero de estudio tuvo como resultados los valores observados en la tabla 2-1. El potrero estudiado presentó un valor promedio para disponibilidad de materia seca durante las dos épocas de 3,8 t/ha/corte; siendo las áreas con cobertura arbórea $\leq 40\%$ las que presentaron mayor promedio en disponibilidad de materia seca 4,3 t/ha/corte. La disponibilidad promedio de materia seca estimada para el potrero en estudio tiene similitud con otras investigaciones, en donde se reportan valores similares, o inclusive superiores, cuando interactúan pastos y especies arbóreas en los potreros (Scholes y Archer, 1997; Cruzet *et al.*, 1999; Mahecha *et al.*, 1999). Abaunza *et al.*, (1991) en un estudio realizado en el departamento del Cauca Colombia encontraron valores para algunas

gramíneas que difieren de manera general en algunos casos a los de *Bothriochloa pertusa*: *B. decumbens* (2,7 t/ha), *B. humidicola* (4,1 t/ha), *A. gayanus* (5,6 t/ha) y *P. plicatulum* (2,7 t/ha). Estas diferencias marcadas para materia seca entre algunas gramíneas puede ser debido a factores como la época, la frecuencia de pastoreo, por la calidad y cantidad de radiación solar incidente al estrato herbáceo en potreros con pasturas nativas o debido a la implementación de especies mejoradas en asocio con especies leñosas (Ella *et al.*, 1991 y Acciaresi *et al.*, 1994).

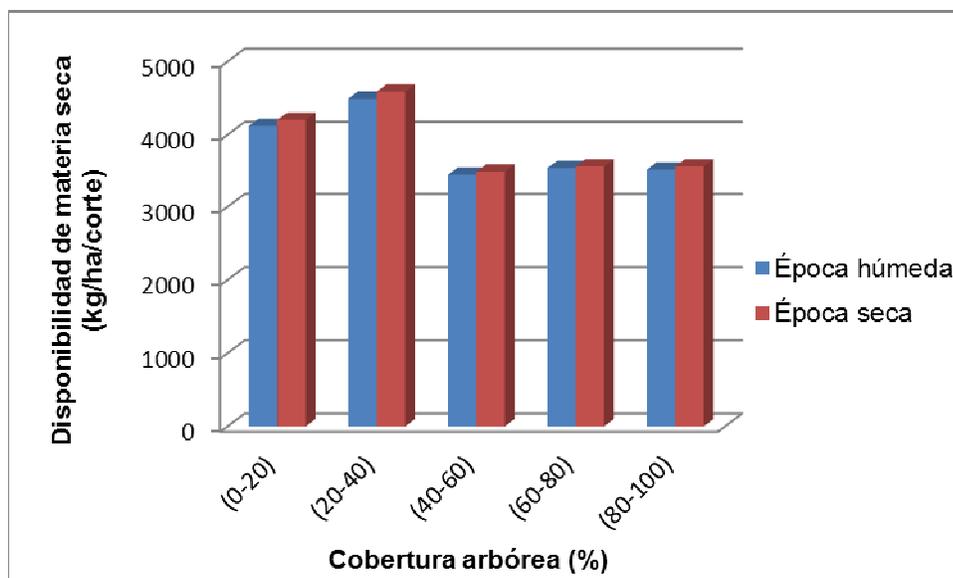
El análisis de varianza realizado para explicar estadísticamente la producción promedio de biomasa (*Bothriochloa pertusa*) en función de la clasificación asignada a la cobertura arbórea en desarrollo del estudio, indico que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de disponibilidad de materia seca/h/corte en función de las 5 clases de cobertura arbórea ($p=0.0001$) (ver Anexo D); mostrando que en las zonas de cobertura B se presentó el mayor valor para disponibilidad de materia seca en t/ha/corte, seguida de la cobertura A, mientras que en las áreas con coberturas clasificadas como C,D y E se presentaron los valores más bajos (ver tabla 2-1); situación que en parte puede explicarse a partir de lo reportado por Pezo e Ibrahim, (1999) cuando plantean que las especies de pastos tropicales (C4) tienen un crecimiento heterogéneo en función de la sombra.

Tabla 2-1. Relación entre la disponibilidad de materia seca y la cobertura arbórea en el potrero de estudio. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas ($p>0,05$).

Cobertura arbórea (%)	Disponibilidad de materia seca (t/ha/corte)
A: <20%	4,16 b
B: ≥ 20 - ≤ 40	4,54 c
C: ≥ 40 - ≤ 60	3,45 a
D: ≥ 60 - ≤ 80	3,53 a
E: ≥ 80	3,52 a

La figura 2-3 muestra la producción promedio de *B. pertusa* durante las épocas seca y húmeda en desarrollo del estudio teniendo en cuenta los diferentes rangos de cobertura arbórea y permite evidenciar que las áreas con una cobertura arbórea ≤ 40 % presentaron una mayor producción de biomasa disponible en materia seca si se compara con los demás valores correspondientes a los rangos establecidos para cobertura arbórea durante las dos épocas. Para comparar la producción de materia seca/t/ha en el potrero evaluado teniendo en cuenta las épocas (seca y húmeda) se realizó la prueba t- Student para muestras independientes, indicando que no se detectan diferencias entre las épocas para la producción de materia seca/t/ha. Lo anterior muestra una tendencia diferente en comparación a lo reportado por Chamorro, Evangelista, & Cuesta, (2005) en un estudio realizado en el municipio de Saldaña Tolima (Colombia) bajo condiciones de bosque seco tropical donde señalan que la disponibilidad de materia seca para *B. pertusa* teniendo en cuenta la época del año fluctuó presentando valores más altos durante la época predominantemente seca.

Figura 2-3: Disponibilidad de materia seca de *Bothriochloa pertusa* por corte durante época de lluvia y época predominantemente seca en función de la clasificación para cobertura arbórea en el potrero de estudio.



Un estudio realizado en la hacienda la candelaria de la Universidad de Antioquia para evaluar la producción de biomasa del pasto *Brachiaria humidicola* en asociación con *Acacia mangium* reporta reducción en la producción del pasto en 200 kg MS/ha pasando de 2,511 kg/ha (sistema de baja densidad) a 2,311 kg MS/ha (sistema de alta densidad) (Giraldo, 2000), lo que sugiere la importancia de tener en cuenta que los porcentajes de cobertura arbórea están relacionados con los indicadores para materia seca y se debe evaluar su impacto en la implementación de pasturas

2.3.2 Análisis bromatológico

Los valores promedio en porcentaje resultantes del análisis bromatológico para *Bothriochloa pertusa* en función de la clasificación de cobertura arbórea para el potrero en estudio muestran que para materia seca el valor más alto se presenta en coberturas $\geq 60\%$ y $\leq 80\%$ con (36%) y el más bajo en coberturas $> 80\%$ con (34%). Los valores para materia seca de las hojas y de otros componentes del follaje de las gramíneas tradicionalmente utilizadas en la alimentación animal; king grass (*P. purpureum* x *P. typhoides*) y pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) estudiados en Costa Rica reportan rangos entre 25 y 32 % de MS para las hojas; entre 23 y 29 % para los tallos tiernos y entre 24 y 45 % para el tallo leñoso (Benavides, 2000)..

Los valores más altos en porcentaje para proteína cruda en la biomasa disponible del potrero en estudio se encontró en las áreas con cobertura entre 60 y 80%, mientras los más bajos estuvieron en las áreas de cobertura entre 20 y 40% (8,3 y 7,2%, respectivamente). Piñeros et al (2011) reportan una mejora de la digestibilidad de *Bothriochloa saccharoides* a medida que se aumenta el porcentaje de cobertura de sombra, tanto en la época predominantemente seca como húmeda.

Los resultados de contenido de proteína cruda encontrados en este estudio difieren de los reportados por Abaunza *et al.*, (1991) para otras gramíneas tropicales; *B. decumbens* (14,1), *B. humidicola* (11,9), *A. gayanus* (11,8) y *P. plicatulum* (12), *B.*

brizantha (13,5) y *P. maximum* (13,4). Los reportes para otras gramíneas utilizadas comúnmente en el trópico, como *B. decumbens*, indican que la proteína cruda está directamente relacionado con el periodo vegetativo variando entre 9 y 4 % (Loch, 1977). La proteína cruda para *Bothriochloa pertusa* en el potrero evaluado se encontró dentro de ese rango. Otros estudios para pasto estrella evalúan la injerencia del ciclo vegetativo en los contenidos de proteína en biomasa reportando reducciones de hasta 33%, es decir, una reducción del 9,6% al 6,6% en función del día de corte (Rodríguez *et al.*, 1977). Mahecha *et al.*, (2001) evaluaron la disponibilidad de biomasa para *Panicum maximum* en asociación con *Eucalyptus tereticornis* de 10 y 5 m de altura, encontrando que en época predominantemente seca la producción de *P. maximum* en los sistemas que tenían árboles de 10 m de altura se redujo en un 66% en relación con los sistemas que tenían árboles de 5 m de altura. Igual tendencia encontraron estos mismos autores en la proteína cruda, la cual se redujo en un 59% (9,2 vs 3,76%), explicando de esta manera la injerencia del dosel en la producción y calidad de biomasa. Las variaciones climáticas favorables ocasionadas con la sombra bajo el dosel de las especies arbóreas, aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, desencadenando factores relacionados con la calidad de la biomasa disponible. Se han desarrollado estudios que evalúan esta temática, encontrando aumento en los contenidos de proteína cruda en las gramíneas que se asocian con especies arbóreas en comparación a pasturas no asociadas con especies leñosas que generen sombra (Bustamante, 1991; Belsky, 1993; Carvalho, *et al.*, 1994).

El mayor contenido de fibra detergente neutro se encontró en la cobertura entre 40 y 60% con un 70%; mientras que el menor se registró en coberturas entre 60-80% con 66%. En fibra detergente ácida, el valor más alto se presentó en cobertura de 40-60% (56%) y el menor en coberturas \leq 40% con (52%). La mayor lignina en la pastura fue registrada a 40-60% de cobertura, con un valor de 25%, mientras la menor se detectó a menos de 20% de cobertura (20%; ver tabla 2-2).

La variabilidad en el contenido proteína, fibra detergente neutro y fibra detergente ácida concuerda con reportes que mencionan variación en la calidad del forraje por efecto de la sombra, específicamente en lo relacionado a proteína y digestibilidad

(Pezo e Ibrahim, 1999). Los valores promedio en porcentaje de *Bothriochloa pertusa* para Fibra Detergente Neutro (68) y Fibra Detergente Acido (54) en función de los porcentajes de cobertura arbórea indican que *Bothriochloa pertusa* bajo las condiciones del potrero evaluado presenta baja digestibilidad y alto tiempo de retención en el tracto gastrointestinal de un rumiante. Estos valores promedio difieren de los reportados por Gaitán y Pabón (2003) a partir de un estudio realizado en el oriente Antioqueño Colombia para otras gramíneas como: Kikuyo (FDN 52.5%, FDA 35%), Ryegrass (FDN 46,4%, FDA 30.9%) y Falsa Poa (FDN 63.6%, FDA 42.4%) las cuales presentan de manera general valores en porcentaje más bajos, lo que indica mayor digestibilidad y menor tiempo de retención en el tracto gastrointestinal. Teniendo en cuenta que el contenido de fibra detergente neutro está correlacionado positivamente con la densidad del forraje y el llenado del rumen; se puede decir que un mayor contenido de fibra detergente neutro en la biomasa disponible para alimentación bovina provoca un menor consumo de materia seca (Belyea *et al.*, 1996).

Tabla 2-2. Valores promedios de análisis bromatológico para colosoana (*Bothriochloa pertusa*) según clasificación de cobertura arbórea.

Cobertura (%)	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA(%)	LIGN(%)
<20	31,3	7,3	68	52	20
≥20 - <40	35,1	7,2	69	52	21
≥40 - <60	33,9	7,9	70	56	25
≥60 - <80	33,8	8,3	66	55	22
≥80	33,9	8,2	66	54	24

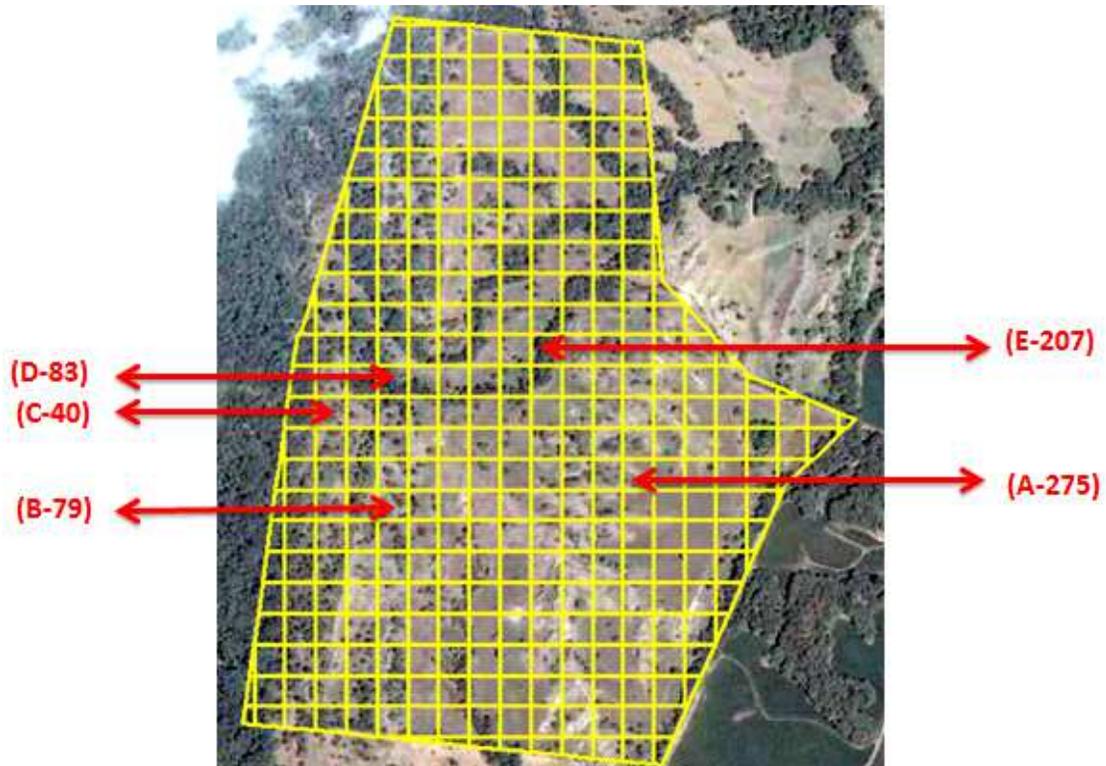
MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente acido; LIGN: Lignina.

2.3.3 Propiedades químicas de suelos

Los valores porcentuales para materia orgánica en el suelo del potrero evaluado muestra que en las parcelas D (83) y A (275) (ver figura 2-4) con cobertura arbórea entre 60 - 80 y <20 % es donde se reflejan los valores más altos con (1,3 y 1,2 % respectivamente) mientras que en la parcela E (207) con cobertura entre 80 y 100 % se presenta el valor más bajo con 0,3 % para materia orgánica. El valor de 0,3 % para materia orgánica en la cobertura arbórea superior al 80 % se puede explicar a partir de los valores porcentuales para la textura del suelo evaluado, si se tiene en cuenta el valor bajo para arcilla (6,5 %) y alto para arena (73,5 %) en comparación con los valores que presentó la parcela con mayor valor en materia orgánica (D 83) de (12,5 %) para arcilla y (65,5 %) para arena; lo anterior soportado en algunos estudios que reportan sobre la mayor capacidad de retención de materia orgánica en suelos arcillosos en comparación con suelos arenosos (Jenkinson, 1988; Amato y Ladd, 1992; Hassink, 1994). Los valores en porcentaje para materia orgánica en el potrero estudiado teniendo como parámetro los hallazgos de Somex S.A. (2008) para valores en porcentaje de materia orgánica en análisis de suelos para clima cálido (<2% Bajo, entre 2 y 3 Medio y >3 Alto) presentan de manera general valores bajos.

Los sistemas agroforestales pueden generar cambios en los componentes químicos del suelo, permitiendo la renovación constante de niveles de fertilidad a partir del retorno al suelo de hojas, frutos y ramas, lo cual incide significativamente en el aumento de la materia orgánica (Alonso *et al.*, 2007). Murray *et al.*, (2011) reportan variaciones con tendencia positiva en la MO de suelos en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México entre los años 2005 y 2010 arrancando con un valor de 0,51% hasta llegar a 3,85 % de MO; estos autores resaltan la importancia que tiene la cobertura arbórea para el mejoramiento de algunos componentes del suelo.

Figura 2-4. Ubicación espacial de parcelas seleccionadas para el análisis químico de suelos en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense.



En la tabla 2-3 se pueden observar los valores para macro y micro minerales resultantes del análisis químico de suelo. En la calificación para Calcio y Magnesio por parcela los valores promedio se encuentran entre Adecuado y Alto; para el Sodio la calificación en todas las parcelas es Normal. El Potasio en las cinco (5) parcelas tiene calificación Medio mientras que el Hierro, el Cobre y el Zinc, tienen calificación de Muy Bajo para las cinco (5) parcelas. El Aluminio presentó valor de cero (0) para las cinco (5) parcelas (LASEREX U.T. 2010). Los valores para Materia Orgánica, Calcio, Potasio, Boro, Cobre y Zinc para el análisis químico de suelo del potrero en estudio presentan similitud con lo reportado por Cuesta (2005) para potreros del municipio de Saldaña Tolima y el bajo Cauca Antioqueño con valores Bajos para Materia Orgánica (1,1%) y (1,3%), altos en Calcio y con bajos niveles para Potasio, Boro, Cobre y Zinc. El análisis químico de suelo recomendó aplicación de N-P-K por corte o rotación y aplicar elementos menores cada año.

Sánchez e Isbell (1979) reportan que el 55% de los suelos de América Tropical se clasifican de baja fertilidad, presentando limitantes químicas para la implementación de cultivos. Por otra parte, Sánchez y Salinas (1982) hablan que en América Tropical predominan los suelos ácidos debido a deficiencias en algunos macro y microelementos (P, N, K, S, Ca, Mg y Zn), toxicidad por aluminio y alta retención de fósforo.

Tabla 2-3. Resultados de propiedades químicas de suelos para el potrero de estudio en función del porcentaje de cobertura arbórea en el Magdalena-Tolimense. (N: normal, MB: muy bajo, B: bajo, M: medio, Ad: adecuado, Al: alto, MA: muy alto)

Parámetro químico	Unidad	Cobertura arbórea (%)				
		<20	20-40	40-60	60-80	>80
MO	%	1,2 (B)	0,6 (MB)	0,5 (MB)	1,3 (B)	0,3 (MB)
Fosforo	mg/kg	36,7 (M)	67,6 (Ad)	17,5 (MB)	21,5 (B)	68,5 (Ad)
Calcio	meq/100g	3,7 (Ad)	2,7 (Al)	3,2 (Ad)	8,2 (MA)	1,6 (Ad)
Magnesio	meq/100g	1 (M)	1,5 (Ad)	1,7 (Ad)	2,7 (MA)	0,7 (M)
Sodio	meq/100g	0,1 (N)	0,05 (N)	0,05 (N)	0,05 (N)	0,05 (N)
Potasio	meq/100g	0,12 (M)	0,12 (M)	0,14 (M)	0,29 (Ad)	0,11 (M)
Hierro	mg/kg	5,9 (MB)	5,6 (MB)	4,8 (MB)	1,3 (MB)	6,4 (MB)
Cobre	mg.Kg	0,2 (MB)	0,2 (MB)	0,4 (MB)	0,2 (MB)	0,3 (MB)
Zinc	mg.Kg	0,4 (MB)	0,3 (MB)	0,5 (MB)	0,3 (MB)	0,4 (MB)
Manganeso	mg.Kg	13,3 (Ad)	8,8 (B)	10 (B)	2,7 (MB)	22,4 (Al)
Boro	mg.Kg	0,4 (M)	0,6 (Al)	0,5 (M)	0,05 (MB)	0,5 (M)
Azufre	mg.Kg	30 (M)	103 (MA)	21,9 (M)	50,8 (MA)	68,3 (MA)

2.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.4.1 Conclusiones

La biomasa disponible del potrero en estudio bajo el entorno agroecológico de bosque seco tropical, muestra que las áreas con coberturas arbóreas menor o igual a 40% presentan la mayor producción promedio de materia seca 4,3 t/ha, mientras que la producción de biomasa promedio estimada para todo el potrero estuvo en 3,8 t/ha. Esto sugiere que bajo las condiciones del potrero evaluado los niveles de intermedios a bajos de cobertura arbórea ejercen un efecto positivo

sobre la disponibilidad de biomasa, causado posiblemente por la mayor transmisión de energía solar hacia el estrato herbáceo.

La participación en la composición herbácea de la pastura del potrero en estudio para *Bothriochloa pertusa* (94%), reafirma que su capacidad invasora y agresividad impide el desarrollo de otras especies. Lo anterior dimensiona la importancia de incluir algunas especies arbóreas y arbustivas en la composición de este tipo de pasturas, que ayuden a incrementar la fijación de Nitrógeno y el aporte proteico.

El porcentaje de materia seca para *Bothriochloa pertusa* teniendo en cuenta la clasificación para cobertura arbórea del potrero evaluado, muestra que cuando la gramínea estuvo bajo coberturas clasificadas entre 20 y 40% presentó los valores más altos (35,1%), entre 40 y 100% de cobertura presentó valores intermedios (33,9%) y que cuando estuvo bajo condiciones de coberturas <20% presentó el valor más bajo (31,3%), lo que sugiere la existencia de una relación directa entre cobertura arbórea y porcentaje de materia seca bajo las condiciones del potrero donde se desarrolló la investigación.

2.4.2 Recomendaciones

Realizar estudios para evaluar disponibilidad de biomasa en potreros arbolados donde predomine *Bothriochloa pertusa* como componente principal de la pastura, para estimar su productividad en t/MS/ha por corte en áreas del potrero con porcentajes de cobertura arbórea entre 0 y 40%, con el propósito de ratificar los valores medios y altos en t/MS/ha por corte encontrados en áreas con esta característica dentro del potrero estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

Abaunza, M. A.; Lascano, C. E.; Giraldo, H.; Toledo, J. M. 1991. Valor nutritivo y aceptabilidad de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales en suelos ácidos. *Pasturas tropicales*, Vol. 13 No. 2. p 3,4.

Acciaresi, H, Ansin, O.E. & Marlats, R.M. 1994. Sistemas Silvopastoriles: Efecto de la densidad arbórea en la penetración solar y rendimiento de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsh). *Agroforesteria en las Américas*. Comisión de investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires Argentina. Avances de Investigación. Octubre - diciembre de 1994. pp 6-9.

Alonso J, Sampaio R, Febles G, Achang G. 2007. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente *Revista Ciencias Agrícolas*, Cuba San José de las Lajas. La Habana; 41: 189-192.

Amato, M. and Ladd, J. N. 1992. Decomposition of ¹⁴C-labelled glucose and legume material in soils: Properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 24:455-464.

Belsky, A. J., Mwonga, S. M., Duxbury, J. M. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannahs. *Agroforestry systems* 24: 1-20

Belyea, RL., Steevens, B., Garner, G., Whittier, J., and Sewell, H., 1996. Using NDF and ADF To Balance Diets Missouri University Extension: G3161.

Benavides, J.E. 2000. La morera, un forraje de alto valor nutricional para la alimentación animal en el trópico. *Pastos y Forrajes*.

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

Bolivar, D.; Ibrahim, M.; Kass, D.; Jimenez, F.; Camargo, J. C. 1999. Productividad y calidad forrajera de *Brachiariahumidicola* en monocultivo y en asocio con *Acaciámangium* en un suelo ácido en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas*, Turrialba, 6 (23):48-50.

Bustamante, J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba Costa Rica CATIE 131 p.

Carvalho M M, Freitas V, Almeida D S, Villaca, H.1994. Efeito de árvore sisoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral da forragemem pastagens de braquiaria. Sociedade Brasileira de Zootecnia Vol. 23 (5): 709-719.

Castro, C.R.T.; Garcia, R.; Carvalho, M.M.; Couto, L. 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, 28 (5): 919-927.

Chamorro, D.R., Carulla, J.E., y Cuesta, P.A. 2005. Caracterización nutricional de dos asociaciones gramínea-leguminosa con novillas en pastoreo en el Alto Magdalena. CORPOICA.

CORPOICA., 2005. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos.Arteprint Ltda. Página 50.

Cruz P., J. Siera., JR. Wilson., M. Dulornme y R. Tournebize., 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. Ann. AridZone, 38(3&4): 335-361.

Cuesta, M. Pablo. Antonio., 2005. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las Regiones Caribe y Valles interandinos CORPOICA capítulo IV paginas 43-63.

Ella, A, Stur, W. W., Blair, G. J. & Jacobsen, C.N. 1991. Effect of plant density and cutting frequency on the yield of four tree legumes and interplanted Panicum maximum cv Riversdale. Tropic. Grassld. 25:281.

Gaitán, S., y Pabón, JD., 2003. Aplicación del modelo NRC 2001 en la caracterización energética y proteica de los pastos kikuyo (*Pennisetum clandestinum, hochst*), ryegras (*Lolium perenne*) y falsa poa (*Holcus, lanatus*,) en un hato lechero del oriente antioqueño. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Animal. 55 p.

Gil, JL., Espinoza, Y., Obispo, N., 2005. Relaciones suelo-planta-animal en sistemas silvopastoriles. Revista digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 9: 20-26. URL: www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos. Visitado el 06/03/2006

Giraldo LA. 2000. Sistemas silvopastoriles para la ganadería en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 87 p.

Hassink, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1221-1231.

Haydock, KP., and Shaw, NH., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15 (76): 662-670.

Holdridge, LR., 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).

Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, RD., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G., Medina, A., 2004. Beneficios y costos de la rehabilitación de pasturas degradadas en Honduras, Honduras. *Pasturas Tropicales*. Vol. 26, No. 3.

Jenkinson, D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. *In: Wild, A. (Ed.). Russel's soil conditions and plant growth*. 11th ed. Longman. New York, USA. p. 564-607.

LASEREX, 2010. Laboratorio de servicios de extensión. Universidad del Tolima. 2010.

Loch, D. S. 1977. *Brachiaria decumbens* (Signal grass). A review with particular reference to Australia. *Tropical Grass*, 11: 141-157.

Mahecha L, Arroyave JF, Monsalve MA. 2001. Evaluación de la ceba de novillos Cebú en sistemas silvopastoriles de *Eucalyptus tereticornis* y *Panicum maximum*, en la Reforestadora San Sebastián: I. Época predominantemente seca. En: Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias. Universidad de Antioquia, Medellín, 8 y 9 de Noviembre de 2001. p 5.

Mahecha, L., M. Rosales y C. Molina., 1999. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* – *Cynodon plectostachyus* - *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. En Sánchez M. y M. Rosales (Eds.) *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Serie FAO Producción y Salud Animal, No. 143. Roma, Italia. pp. 407-420.

Murray Núñez, RM; Bojórquez Serrano, JI; Hernández Jiménez, A; Orozco Benítez, MG; García Paredes, JD; Gómez Aguilar, R; Ontiveros Guerra, HM; Aguirre Ortega, J. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias* Julio 2011 Vol. 1 Núm. 3 Año 2 Páginas 27 a 35.

Ospina A., Alfredo. 2003. Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Cali, Colombia: ACASOC. 209 p.

Pezo, D., & Ibrahim, M., 1999. Sistemas silvopastoriles. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, Turrialba, Costa Rica. p. 276.

Plevich, J., Nuñez, C., Cantero, J., Deaestri, M., Viale, S., 2002. Biomasa del pastizal bajo diferentes densidades de pino (*Pinuselliottii*). Agroforestería en las Américas. 33-34: 19-23.

Piñeros, P; Mora Delgado, P; Holguín, V. A. 2011. Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* ([Sw.] Rydb.) a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima (Colombia). Revista CORPOICA. Volumen 12 - No. 1. 40-50 p.

Ramírez, H., 1997. Evaluación de dos sistemas silvopastoriles integrados por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*. En: Seminario Internacional de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. CIPAV. Cali.

Rodríguez Carrasquel, S. y D.E. Morillo. 1977. Effect of cutting frequency and application. Offertilizeronyiel and chemical composition of *Cynodon nlemfuensis*. Agronomía Tropical 27: 613.

Sánchez P.A, Isbell R.F. 1979. Comparación entre los suelos de los Trópicos de América Latina y Australia. In: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. L.E. Tergas y P.A. Sánchez (eds.). CIAT, Serie 0365-5 29-58 p.

Sánchez, Salinas J. 1982. Suelos ácidos, estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Bogotá, Colombia SCCS. 93 p.

Scholes R.J y S.R. Archer. 1997. Tree-grass interactions in savannas. Ann. Rev. Ecol. Syst., 28: 517-544.

T'Mannetje, L., and Haydock, KP., 1963. The dry-weight rank method for the botanical analysis of pasture. Journal of the British Grassland Society 18 (4): 268-275.

Villafuerte, L., Arze, J., Ibrahim, M., 1999. Rendimiento de pasturas con y sin sombra en el trópico húmedo de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 6:2-23. 54-56.

CAPITULO 3. Comportamiento de bovinos en pastoreo en un sistema arbolado del valle cálido del Magdalena Tolimense

RESUMEN

Evaluar el comportamiento de los bovinos en función del uso que hacen de los recursos naturales, requiere registros de la ubicación espacial y temporal. El objetivo de este estudio es evaluar la interacción existente entre la cobertura arbórea y el comportamiento animal en época seca y húmeda, en días de altas y bajas temperaturas y respecto a ubicación de bebederos, en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense. La clasificación de la cobertura arbórea se realizó a partir de una imagen del satélite Quikbird de Digital Globe y la configuración de contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS y su expresión en puntos para su posterior conversión a polígonos y puntos superpuestos en una grilla de 350 celdas con área de 2500 m². Se monitorearon 6 vacas mayores de 4 años con el uso de tecnología GPS, los receptores fueron programados para registrar la ubicación de las vacas cada 5 minutos durante un pastoreo continuo de 4 semanas por época. En el análisis estadístico descriptivo para recorridos promedio en km por día y por época, el valor para la media indica que las vacas de manera general recorrieron mayores distancias en época predominantemente húmeda 7.3 km que en época predominantemente seca 6.1 km. La prueba de chi-cuadrado mostró que existe una relación de dependencia entre la cobertura arbórea y el número de visitas ($p=0.007$) los datos indican que las vacas en este estudio prefieren áreas con cobertura arbórea < 20%.

Palabras claves: comportamiento animal, cobertura arbórea, registros, vacas, época, pastoreo.

ABSTRACT

Evaluate the behavior of cattle based on their use of natural resources, requires records of spatial and temporal location. The objective of this study is to evaluate the interaction between tree cover and animal behavior in dry and wet seasons, days of high and low temperatures and over watering location in a wooded pasture Tolimense cupcake. The classification of tree cover is made from a satellite image from Digital Globe Quikbird and setting contours constructed Spatial Analyst for Arc GIS and its expression in points for subsequent conversion to polygons and points on a grid superimposed 350 cells with area of 2500 m². 6 cows were monitored over 4 years with the use of GPS technology, the receivers were programmed to record the location of the cows every 5 minutes during a continuous grazing period of 4 weeks. In the descriptive statistical analysis for average miles traveled per day per day, the average value indicates that cows generally traveled greater distances in wet season 7.3 km to 6.1 km in the dry season. The chi-square test showed that there is a dependency relationship between tree cover and the number of visits ($p = 0.007$), the data indicate that cows in this study prefer areas with tree cover < 20%.

Keywords: animal behavior, tree cover, records, cows, time, grazing.

3.1 INTRODUCCIÓN

Existe poca información en cuanto a la interacción existente entre cobertura arbórea y comportamiento animal. El estudio del comportamiento animal en lo relacionado al uso que estos le dan al paisaje requiere registros de la ubicación espacial y temporal (Hulbert *et al.*, 2001), situación que ha enfrentado a los investigadores a través de los años con la difícil tarea de recopilar información sobre el movimiento y la distribución de individuos y poblaciones. Inicialmente la metodología para realizar monitoreo de comportamiento animal se basó en la observación visual con algunas ayudas como la utilización de VHF (Very High Frequency) radio-telemetría; lo cual exigía un seguimiento permanente a pie, en vehículo, barco o en algunos casos en avión (Kenward, 1987). Sin embargo, esta tecnología tenía sus limitantes, cuando se trataba de grandes animales, debido a que éstos pueden hacer recorridos muy extensos en periodos cortos por paisajes agrestes e inaccesibles para el hombre. Hasta que los adelantos tecnológicos, a partir de la radio-telemetría y los equipos satelitales, suministraron instrumentos de avanzada para desarrollar y avanzar en este tipo de investigaciones, siendo el alce norteamericano (*Cervus elaphus*) el primer animal en ser rastreado desde el espacio (Craighead *et al.*, 1972) utilizando el sistema de ILRS temprano (Servicio Internacional de Telemetría por Laser).

Hoy con el desarrollo de la era digital, se han desarrollado otras herramientas que permiten estudiar patrones de comportamiento animal en función de la composición espacial de las pasturas. Dentro de estas herramientas se tiene la teledetección y el sistema de información geográfico (SIG) (Turner *et al.*, 2000), las cuales mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución permiten generar información de las características espaciales de las áreas dedicadas a pastoreo con alto margen de precisión.

La deforestación indiscriminada en los últimos años a la que se han visto sometidas las regiones tropicales ha generado la necesidad del uso de la teledetección, por tener dentro de sus ventajas la capacidad de estudiar áreas extensas a bajo costo (Guariguata, 2002). Los adelantos en la teledetección por satélite ofrecen al investigador herramientas visuales de clasificación más precisas debido a la reducción del tamaño de pixel, situación que anteriormente dificultaba esta labor principalmente por el gran tamaño de píxel de las imágenes Landsat TM y SPOT imaginarios (Aspinall, 2002). Las imágenes de satélite multispectrales facilitan la identificación, cuantificación y diferenciación de los diversos tipos de vegetación existentes en la superficie terrestre, lo que las convierte en una de las principales fuentes de información utilizada por la teledetección. La importancia de las imágenes de satélite radica en la información que se puede extraer de ellas, ya que permiten tener una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre coadyuvando en la comprensión de las relaciones espaciales y temporales existentes entre fauna y flora (Karfs *et al.*, 2001).

Casi tan pronto como los primeros satélites se lanzaron al espacio, la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) estaba investigando el papel potencial que los sistemas de satélites podrían tener para el seguimiento de la fauna y los requisitos de un número de usuarios potenciales (Garvin *et al.*, 1972). Los recientes adelantos en equipos de monitoreo ha posibilitado el estudio de la selección del hábitat animal y el análisis de su movimiento en función de factores bióticos y abióticos. El uso de nuevas tecnologías como las imágenes satelitales, sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de localización GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y GPRS (Servicio General de Paquetes Vía Radio) facilitan a investigadores el estudio de los patrones de comportamiento animal (Vavra y Ganskopp 1998, Ganskopp *et al.*, 2000). Estas tecnologías aplicadas a sistemas de producción bovina se convierten en herramientas de planificación y control en tiempo real, suministrando información veraz sin ningún tipo de injerencia por parte del hombre y minimizando posibles sesgos en cuanto a lo tolerante que puede llegar a ser cada animal ante la actividad humana; permitiendo al productor tomar decisiones en función del comportamiento conductual normal de los vacunos (Ungar *et al.*, 2005), correlacionando el

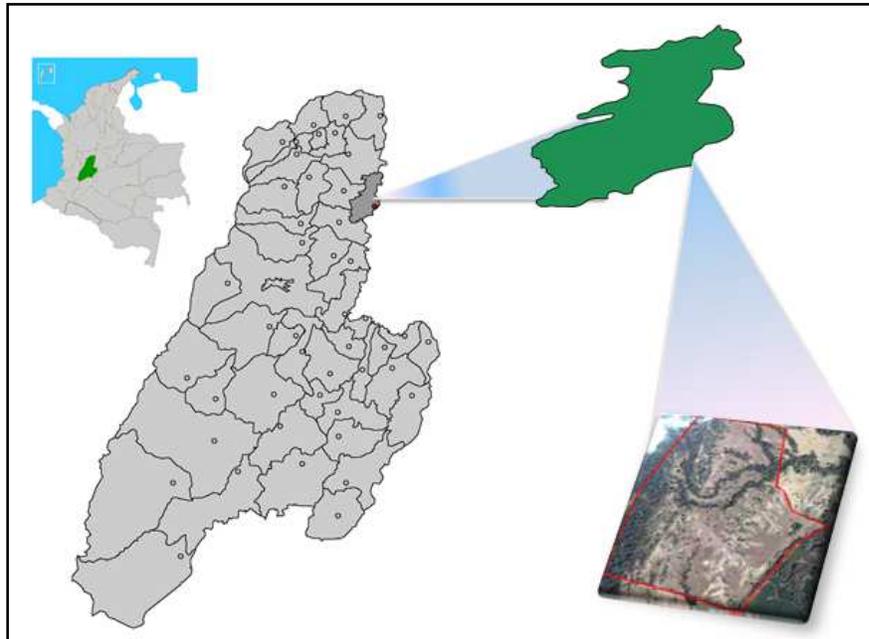
movimiento de los bovinos con el uso que estos le dan a su entorno; entendiendo lo fundamental que esto resulta ser para el mantenimiento de la productividad y la biodiversidad de los pastizales, propendiendo por el bienestar y confort animal que a su vez repercute positivamente en los parámetros productivos del sistema (Frost *et al.*,1997, Aparicio *et al.*,2007 y Bartolomé Rodríguez *et al.*,2008) y es bajo esas condiciones que podemos hablar de ganadería de precisión. El objetivo de este capítulo es evaluar la interacción existente entre la cobertura arbórea y el comportamiento animal en la época predominantemente seca y predominantemente húmeda, en días de altas y bajas temperaturas y respecto a ubicación de bebederos en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la hacienda Pajonales perteneciente a la Organización Pajonales S.A., localizada en el municipio de Ambalema, departamento del Tolima (Colombia), parte alta de la cuenca del Magdalena, con coordenadas N 4° 45' 25.9" y W 74° 52' 20.8"y a una distancia de 15km del casco urbano del municipio de Ambalema (Figura 3-1). La zona presenta una precipitación media anual del sitio de 1270 mm, una temperatura media de 28 °C y una altura de 300 m, ubicándose en una zona de vida de bosque seco tropical según Holdridge (1967). La mayor parte de los suelos corresponden a vertisoles, inceptisoles y molisoles. Los sistemas productivos de la hacienda Pajonales están dirigidos a diversas actividades de tipo agropecuario dentro de éstas la ganadería.

Figura 3-1: Potrero Lomitas, hacienda Pajonales, Ambalema, Tolima.



3.2.2 Interpretación de datos geográficos y modelamiento de la cobertura arbórea con el uso de SIG

Se utilizó material aerofotográfico digital (Líneas de vuelo C-1852-0035, C-1852-0036, C-1852-0037) con escala 1:10.000 y la plancha número 226-IV-A del plano topográfico con escala 1:25.000 obtenido en el Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para determinar la cobertura arbórea del potrero en estudio, se importó a ArcGIS 9.2 una imagen del satélite Quikbird de Digital Globe para Google Earth (ver Anexo E) del área en estudio y se creó una grilla con celdas de 2500m² que se sobrepuso sobre la imagen para establecer áreas en función de la densidad de árboles y cobertura arbórea mediante la configuración de contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS y su expresión en puntos para su posterior conversión a polígonos y puntos. (Ver figura 3-2). La tabla de atributos de ArcGIS 9.2 para la modelación de la cobertura arbórea muestra el porcentaje de cobertura a partir del conteo de puntos que realiza en cada cuadro de la grilla que esta

superpuesta sobre la imagen satelital. La modelación con la herramienta *spatial analyst* para ArcGIS con puntos permitió elaborar un mapa de coberturas para las 54 hectáreas estudiadas con el siguiente rango de cobertura arbórea: <20; 20-40; 40-60; 60-80 y >80%. Se usó *Hawth's Analysis Tools* para GIS con el objeto de cuantificar el número de puntos correspondientes a visitas de posiciones de los animales y puntos correspondientes a cobertura arbórea en cada celda.

Figura 3-2. Mapa temático de cobertura arbórea del potrero en estudio a partir de imagen del satélite Quikbird de Digital Globe y grilla superpuesta en ambiente para ArcGIS 9.2.



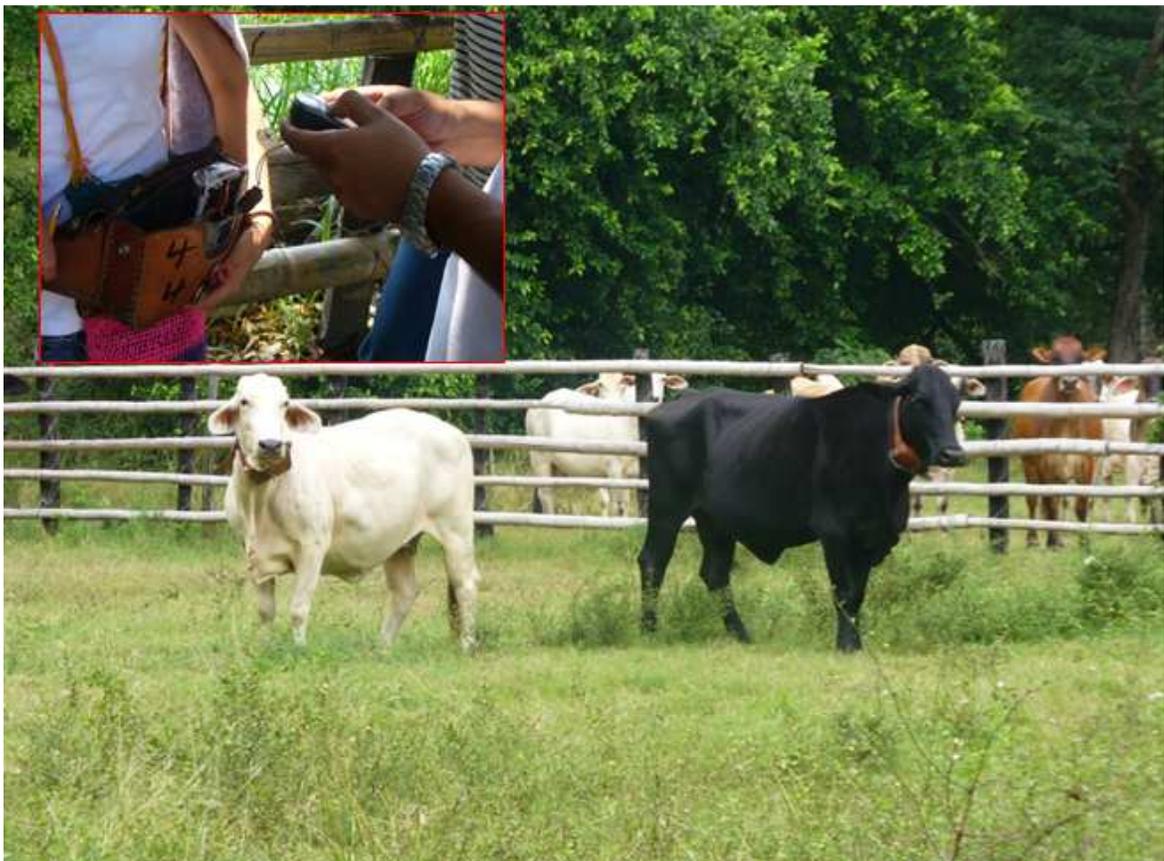
3.2.3 Monitoreo del comportamiento de vacas en pastoreo

La utilización del Sistema de Posicionamiento Global como herramienta tecnológica para estudiar el uso que los bovinos hacen del paisaje, permite acceder a un buen registro de datos sobre la ubicación espacial y temporal a nivel individual y grupal. De un grupo de 100 vacas horras en pastoreo, se monitorearon 6 vacas mayores de 4 años con la siguiente composición racial: tres (3) *Bos indicus* (Brahman) y tres (3) F1 *Bos taurus* (Holstein negro) por *Bos indicus* (Brahman). Para el monitoreo de los bovinos en estudio se implementó el uso de tecnología GPS (*Garmin eTrex Vista*). (Ver figura 3-3). A los receptores para GPS se les aumentó la capacidad de almacenamiento de datos a partir de la instalación adicional de una memoria de 2 GB. Debido al interés de interferir lo menos posible en el comportamiento habitual de los bovinos en estudio, se hicieron pruebas para estimar el tiempo de energía suministrado por las pilas de referencia AA (se usaron alcalinas), para las cuales está fabricado el receptor, obteniendo como resultado una capacidad para funcionamiento de 18 h. Esto motivó una adaptación para repotenciar las dos pilas alcalinas AA con cuatro pilas de referencia D, aumentando así el suministro de energía para el receptor. Con esta modificación, los receptores lograron una autonomía de hasta 17 días de toma de datos.

Los receptores para GPS se introdujeron en un collar de cuero, el cual fue colocado en el cuello de las vacas monitoreadas. Estos receptores fueron programados para registrar la ubicación de las vacas cada 5 minutos durante un pastoreo continuo de 4 semanas en época predominantemente húmeda (diciembre de 2009) y de 4 semanas en época predominantemente seca (enero de 2010). Se implementó un periodo de acostumbamiento en las vacas objeto del estudio colocándoles los collares equipados durante 3 días, previo al inicio de toma de datos. Se hizo cambio de pilas cada 15 días, y en ese momento también se exportaban los datos registrados del receptor a un computador. Se eliminaron todos los registros de la memoria del receptor, garantizando capacidad de almacenamiento durante los siguientes 15 días de toma de datos.

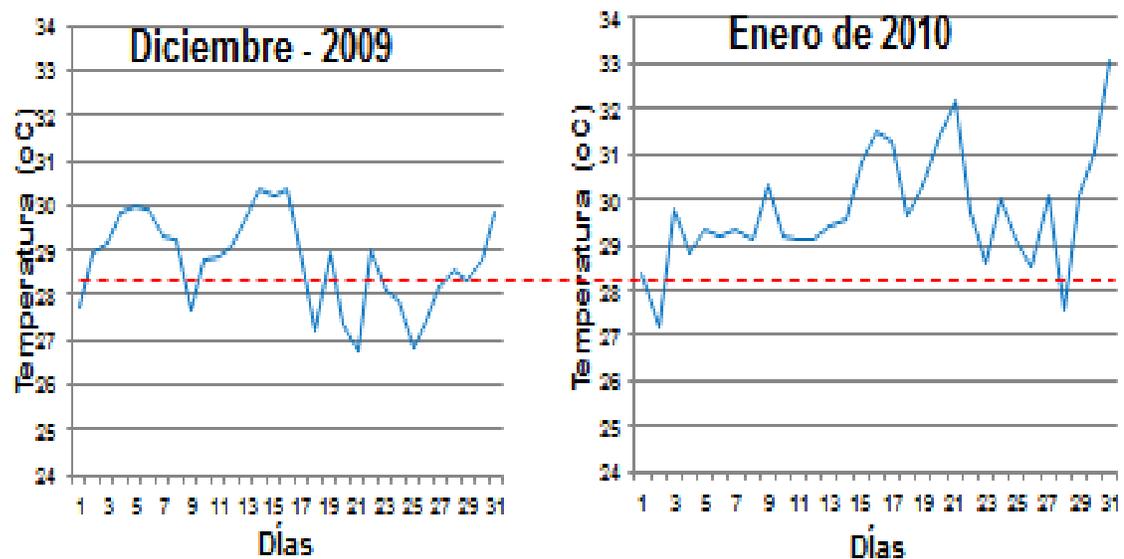
Los datos de posiciones de los animales se procesaron inicialmente con el software para *Garmin eTrex Vista Map Source* para luego guardarlos con extensión *.dxf*, la cual es compatible con ArcGIS y convertirlos en archivos *shapefiles .shp*. Los datos también fueron copiados desde *Map Source* a Microsoft Excel, facilitando el procesamiento de la información. Estas bases de datos permitieron analizar el comportamiento y estimar el recorrido de las vacas monitoreadas de manera general y según su composición racial en las épocas. Adicionalmente, se filtró la información para conocer el recorrido por vaca y por época en función de los días con temperaturas altas y bajas.

Figura 3-3. Vacas monitoreadas en un potrero arbolado del Magdalena Tolimense con receptores para GPS (*Garmin eTrex Vista*) introducidos en collares de cuero.



Para ello, se analizaron datos de días que cumplieran con la condición de haber presentado temperaturas altas o bajas en promedio durante el estudio y tener registro de monitoreo por día completo, es decir las 24 h. Los días que cumplieron estas condiciones fueron: temperatura alta en época predominantemente húmeda durante diciembre de 2009 (14 y 16 con 30,4 y 30,4°C, respectivamente) y en época predominantemente seca durante enero de 2010 (16 y 17 con 31,5 y 31,3°C, respectivamente); mientras que los días con temperatura baja fueron: en época predominantemente húmeda diciembre de 2009 (9 y 18 con 27,7 y 27,2°C, respectivamente) y en época predominantemente seca enero de 2010 (14 y 18 con 29,6 y 29,7°C, respectivamente) (Ver figura 3-4).

Figura 3-4. Variación de temperatura en el potrero de estudio Ambalema Tolima. (Fuente: Estación meteorológica hda. Pajonales 2010). La línea roja indica la temperatura promedio en el área de estudio.

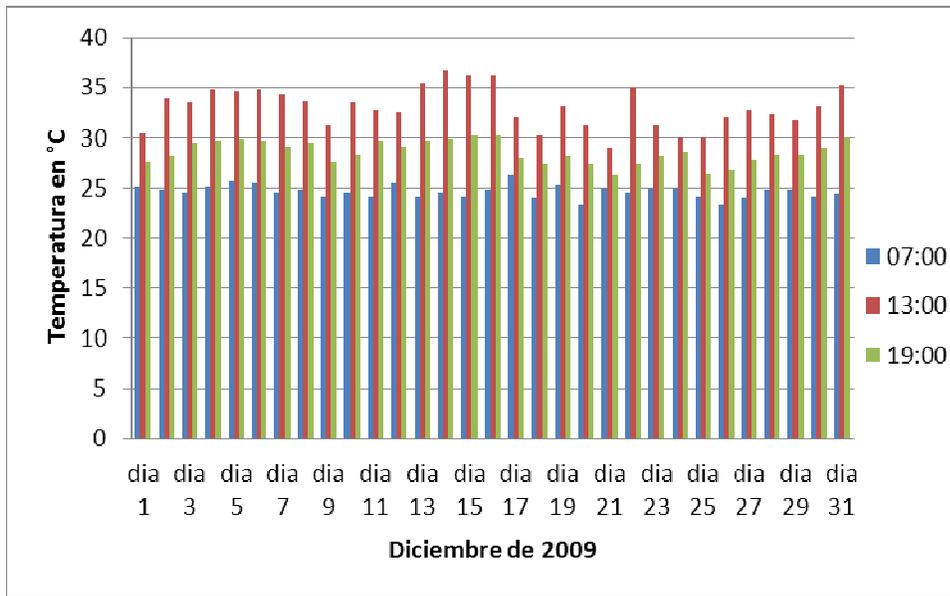


El uso de herramientas para SIG permitió crear un mapa temático digital en el cual se sobrepuso una grilla creada a partir de ArcGIS con celdas de 0,25 ha para contar las posiciones de los animales por cada celda. Este mapa se sobrepuso con el de cobertura arbórea, para establecer correlaciones entre el comportamiento animal en función de las visitas y la cobertura arbórea.

3.2.4 Información meteorológica

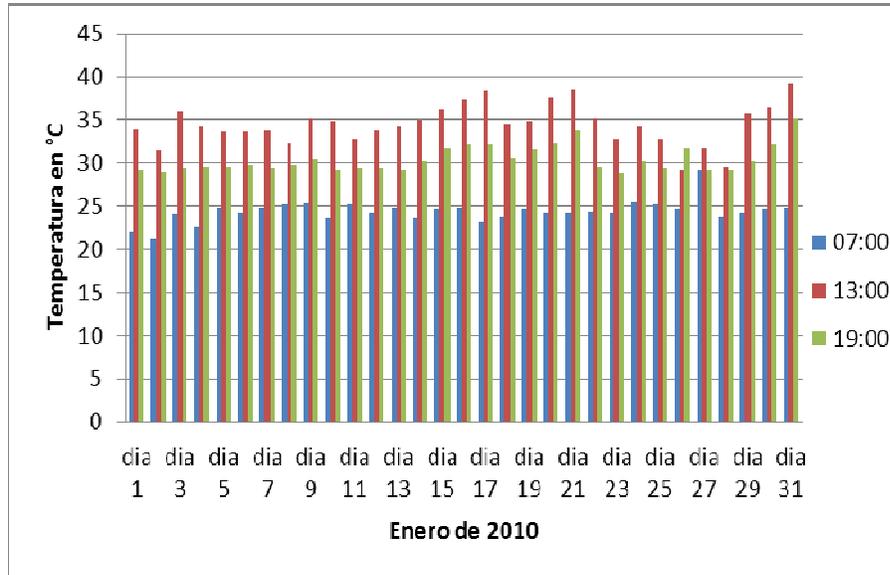
La información de precipitación y temperatura correspondiente a la zona de estudio para los meses de diciembre-2009 y enero-2010 se analizó a partir de información registrada en la estación meteorológica de la Empresa Pajonales S.A. ubicada en el municipio de Ambalema, Tolima. Los datos de temperatura comprenden los registros a las 07:00, 13:00 y 19:00 horas. Además los promedios por día y la información del comportamiento pluviométrico que permitió definir la época predominantemente húmeda y seca.

Figura 3-5. Temperatura promedio en la hda. Pajonales en Ambalema Tolima, durante el mes de diciembre 2009 a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas.



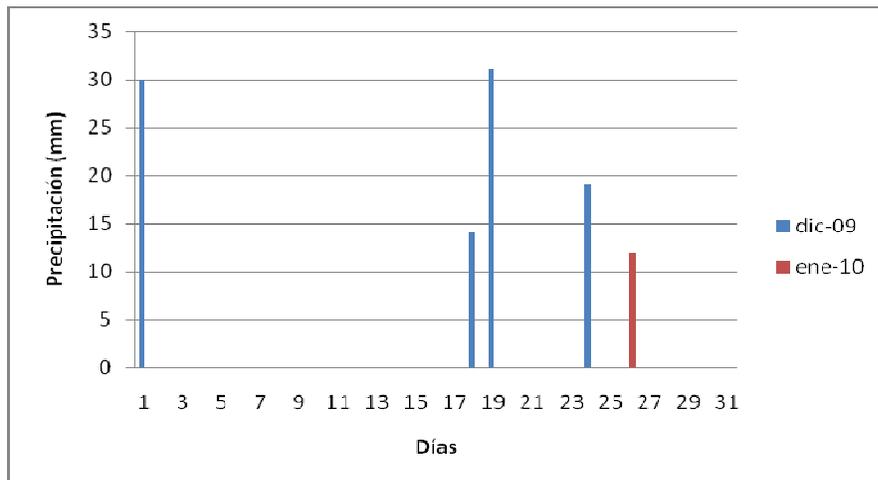
El comportamiento de la temperatura en la zona del potrero de estudio a partir de los datos suministrados por la estación meteorológica de la hda. Pajonales durante los meses de diciembre 2009 y enero de 2010 se observan en las figuras 3-5 y 3-6.

Figura 3-6 Temperatura promedio en la hda. Pajonales en Ambalema Tolima, durante el mes de enero 2010 a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas.



Los datos de precipitación para el mes de diciembre-2009 totalizaron 94 mm y para enero-2010 fue 12 mm (Ver figura 3-7). Estos datos permitieron definir al mes de diciembre-2009 como periodo de época predominantemente húmeda y enero-2010 como periodo de época predominantemente seca.

Figura 3-7. Comportamiento pluviométrico en Ambalema Tolima, durante los meses de diciembre-2009 y enero-2010 en desarrollo del estudio.



3.2.5 Observación de comportamiento animal para ajuste de datos

En el potrero estudiado se realizaron observaciones visuales del comportamiento de cuatro vacas con sus respectivos collares equipados durante tres días (octubre 15, 16 y 17 de 2010) entre las 9:00 y 17:00 horas; dos Brahman y dos F1 Holstein por Brahman con periodos de 15 minutos, registrando la actividad desarrollada en mayor proporción durante cada minuto, para obtener 15 observaciones por periodo. Se sincronizó la hora de los receptores para GPS con los relojes convencionales de pulso utilizados por los investigadores, con el propósito de llevar un registro manual del tiempo en minutos y de las diferentes actividades realizadas por los bovinos. De esta manera, se pudo tener puntos de referencia y comparación entre la interpretación de los datos provenientes del receptor para GPS y la información producto del seguimiento y observación visual en campo para el ajuste de datos. La observación visual del comportamiento bovino se efectuó utilizando la metodología de "muestreo de animal focal" ("*focal sampling*"), la cual tiene como fundamento la observación del comportamiento de un animal durante un espacio determinado de tiempo (Martin y Bateson 1991).

Los observadores se ubicaron a una distancia entre 20 y 30 m, realizando poco movimiento y en forma silenciosa, procurando no afectar el comportamiento habitual de las vacas en pastoreo. Se diseñó un formato para registrar durante cada minuto el tipo de actividad realizada por las vacas observadas, marcando con una x en la casilla correspondiente para los siguientes ítems: traslado, pastoreo y descanso. Estas actividades se clasificaron a su vez en actividad (traslado y pastoreo) y no actividad (descanso). En el formato se incluyó visitas a bebederos, la cual fue otra variable a evaluar (Ver tabla 3-1).

3.2.6 Construcción de base de datos

El empleo de las bases de datos diseñadas a partir de software para Sistema de Información Geográfica-SIG brinda muchas ventajas, tal como importar y exportar

de manera fácil y organizada la información de campo, explorar, observar y analizar los registros, fácil actualización y compatibilidad con software libres.

Tabla 3-1. Formato para diligenciar observaciones visuales de comportamiento para las vacas objeto de investigación.

FORMATO PARA DILIGENCIAR OBSERVACIONES DE COMPORTAMIENTO ANIMAL EN VACAS BRAHMÁN Y F1 (HOLSTEIN X BRAHMÁN) EN DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN TITULADA: INTERACCIÓN ENTRE COBERTURA ARBÓREA Y COMPORTAMIENTO ANIMAL DURANTE LAS ÉPOCAS SECA Y HÚMEDA EN PASTURAS DEL MAGDALENA MEDIO TOLIMENSE.					
Vaca: 642 -03			GPS: 2		
Nombre del observador: Rodrigo Serrano					
Hora	Minutos	Traslado	Pastoreo	Descanso	Bebedero
13:46	1			X	
13:47	2			X	
13:48	3				X
13:49	4				X
13:50	5			X	
13:51	6			X	
13:52	7			X	
13:53	8			X	
13:54	9			X	
13:55	10			X	
13:56	11			X	
13:57	12			X	
13:58	13			X	
13:59	14			X	
14:00	15			X	

Los datos almacenados en la memoria de los receptores para GPS instalados en los collares y ubicados en el cuello de las unidades experimentales durante los diferentes segmentos de trabajo en campo, inicialmente fueron exportados desde el receptor para GPS en archivo GDB hasta un computador que tenía instalado el programa para *Garmin eTrex Vista* MapSource de Garmin Corporation. La información en archivo GDB se convirtió a archivo tipo DXF desde MapSource para volverlo compatible con ArcGIS y convertir archivos DXF en archivos SHP *shapefiles* de ArcGIS. Para la construcción de las bases de datos desde el programa MapSource se hace doble clic en el track seleccionado para que automáticamente aparezca una ventana que muestra toda la información registrada por el GPS (puntos, fecha, tiempo en horas minutos y segundos, altitud, distancia recorrida, velocidad en el recorrido y coordenadas geográficas o planas). Esta información se seleccionó y copió para pegarla en una hoja de cálculo de Microsoft Excel permitiendo el análisis de datos.

Las posiciones registradas por los receptores para GPS *Garmin eTrex Vista* instalados en el cuello de las vacas monitoreadas, cuando fueron exportados al software de *Garmin MapSource* con archivo de extensión GDB generaron una base de datos por vaca (Ver figura 3-8). Cada registro incluyó datos para las siguientes variables: tiempo, altitud, distancia recorrida (m), velocidad (km/h), curso y posición en coordenadas geográficas. Las bases de datos creadas en *MapSource* para las seis vacas totalizaron 45.755 registros por cada variable, los cuales se llevaron a un archivo de *Microsoft Excel* para facilitar su depuración y análisis.

Figura 3-8. Base de datos producto del monitoreo de las vacas en estudio a partir del software para SIG *MapSource*.

Index	Time	Altitude	Leg Length	Leg Time	Leg Speed	Leg Course	Position
1	05/12/2009 12:57:29 p.m.	289 m	18 m	0:05:02	0.2 km/h	242° true	N4 45.840 W74 51.645
2	05/12/2009 01:02:31 p.m.	289 m	12 m	0:05:00	0.1 km/h	210° true	N4 45.835 W74 51.653
3	05/12/2009 01:07:31 p.m.	289 m	5 m	0:05:00	0.1 km/h	110° true	N4 45.829 W74 51.657
4	05/12/2009 01:12:31 p.m.	289 m	7 m	0:04:59	0.1 km/h	255° true	N4 45.828 W74 51.654
5	05/12/2009 01:17:30 p.m.	287 m	12 m	0:05:00	0.1 km/h	90° true	N4 45.828 W74 51.658
6	05/12/2009 01:22:30 p.m.	288 m	8 m	0:05:00	0.1 km/h	273° true	N4 45.827 W74 51.651
7	05/12/2009 01:27:30 p.m.	286 m	11 m	0:05:00	0.1 km/h	336° true	N4 45.828 W74 51.655
8	05/12/2009 01:32:30 p.m.	285 m	1 m	0:05:00	0.0 km/h	35° true	N4 45.833 W74 51.657
9	05/12/2009 01:37:30 p.m.	284 m	16 m	0:05:00	0.2 km/h	163° true	N4 45.834 W74 51.657
10	05/12/2009 01:42:30 p.m.	282 m	2 m	0:05:00	0.0 km/h	341° true	N4 45.825 W74 51.654
11	05/12/2009 01:47:30 p.m.	282 m	2 m	0:05:00	0.0 km/h	257° true	N4 45.826 W74 51.655
12	05/12/2009 01:52:30 p.m.	282 m	141 m	0:05:00	2 km/h	249° true	N4 45.826 W74 51.656
13	05/12/2009 01:57:30 p.m.	281 m	370 m	0:05:00	4 km/h	201° true	N4 45.799 W74 51.727
14	05/12/2009 02:02:30 p.m.	280 m	609 m	0:05:00	7 km/h	211° true	N4 45.614 W74 51.800

Points	Length	Area	Elapsed Time	Avg. Speed
7575	191 km	0.6 sq km	54 days	0.1 km/h

La información en archivo tipo GDB se convirtió a archivo tipo DXF desde *MapSource* para volverlo compatible con el software para SIG *ArcGIS 9.2*. Estos archivos tipo DXF se convirtieron en archivos tipo SHP *shapefiles* de *ArcGIS 9.2* a partir de los cuales se generó una base de datos con 350 registros del potrero arbolado en *Ambalema-Tolima-Colombia*, donde cada registro muestra datos para las siguientes variables: número de celda, forma (polígono), coordenadas planas y GPS de cada vaca. Los datos para los GPS que aparecen en la base de datos (ver

figura 3-9) permiten cuantificar el número de visitas por vaca para cada celda de 2500 m² de las 350 que componen la grilla modelada. Los registros de la base de datos se pasaron a un archivo de Microsoft Excel para facilitar su análisis. Algunos investigadores han realizado estudios de distribución de pastoreo usando collares con receptores para GPS colocados en el cuello de bovinos; analizando las bases de datos producto del monitoreo con ArcGIS 9.2 y Microsoft Excel. (Kjellqvist, 2008, Johnson *et al.*, 2009). Estudios de comportamiento en ovinos también han construido bases de datos teniendo como herramientas tecnológicas el software para SIG ArcGIS 9.2 y Microsoft Excel. (Williams *et al.*, 2010).

Figura 3-9. Base de datos en ArcGIS 9.2 para número de visitas por GPS (vaca) para cada celda de 2500 m² de las 350 que componen la Grilla modelada para el potrero de estudio.

FID	Shape	ID	XMIN	XMAX	YMIN	YMAX	gps1	gps2	gps3	gps4	gps5	gps6
0	Polygon	0	-74,874183	-74,873735	4,750895	4,751343	1	0	0	0	3	0
1	Polygon	0	-74,874183	-74,873735	4,751343	4,75179	3	3	3	1	5	5
2	Polygon	0	-74,874183	-74,873735	4,75179	4,752238	0	7	1	1	0	0
3	Polygon	0	-74,874183	-74,873735	4,752238	4,752685	0	0	0	0	0	0
4	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,750895	4,751343	0	0	0	1	9	0
5	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,751343	4,75179	15	18	9	15	23	5
6	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,75179	4,752238	39	23	10	3	15	7
7	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,752238	4,752685	31	9	10	17	5	17
8	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,752685	4,753133	9	5	9	7	11	18
9	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,753133	4,75358	1	12	5	4	5	9
10	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,75358	4,754028	2	18	8	0	7	19
11	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,754028	4,754475	1	5	2	0	6	5
12	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,754475	4,754923	4	4	0	1	1	1
13	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,754923	4,75537	4	2	2	1	6	4
14	Polygon	0	-74,873735	-74,873288	4,75537	4,755818	0	0	0	0	0	0
15	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,750895	4,751343	36	6	5	7	20	0
16	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,751343	4,75179	44	118	6	11	57	2
17	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,75179	4,752238	24	8	5	2	26	2
18	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,752238	4,752685	4	4	12	20	25	2
19	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,752685	4,753133	5	4	6	7	21	8
20	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,753133	4,75358	18	18	15	12	11	5
21	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,75358	4,754028	16	34	30	9	12	29
22	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,754028	4,754475	6	26	16	8	13	15
23	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,754475	4,754923	28	14	22	6	14	12
24	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,754923	4,75537	34	49	31	20	83	152
25	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,75537	4,755818	4	65	8	42	88	28
26	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,755818	4,756265	37	34	24	35	44	19
27	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,756265	4,756713	47	103	49	22	97	38
28	Polygon	0	-74,873288	-74,87284	4,756713	4,75716	1	8	5	4	4	2

Para la construcción de las bases de datos desde el programa ArcGIS se inicia con ArcToolBox y se abre la carpeta de conversión tools para seleccionar *to shapefile* y abrir *feature class to shapefile* donde se ingresa el archivo DXF y se selecciona la geometría de los elementos espaciales ya sea puntos, líneas o polígonos para finalizar ingresando el nombre de la carpeta donde queda la información con la extensión SHP y así poder analizar los datos con ArcGIS.

A partir de la imagen del satélite Quikbird de Digital Globe para Google Earth del área en estudio y la modelación de la grilla superpuesta en la imagen del potrero estudiado, se configuraron contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS y su expresión en puntos para su posterior conversión a polígonos y puntos en archivo tipo SHP *shapefiles*. Este modelamiento generó una base de datos (ver figura 3-10) con 350 registros, donde cada registro muestra datos para las siguientes variables: número de celda, forma (polígono), coordenadas planas, porcentaje de cobertura y correcciones. Los datos para porcentaje de cobertura que aparecen en la base de datos permitieron estimar los porcentajes totales para cobertura arbórea según la clasificación propuesta; <20, 20-40, 40 - 60, 60 - 80 y ≥80% de cobertura arbórea. Los registros de la base de datos se pasaron a un archivo de Microsoft Excel para facilitar su análisis.

Figura 3-10. Base de datos en ArcGIS 9.2 para cobertura arbórea por cada celda de 2500 m² de las 350 que componen la grilla modelada para el potrero de estudio.

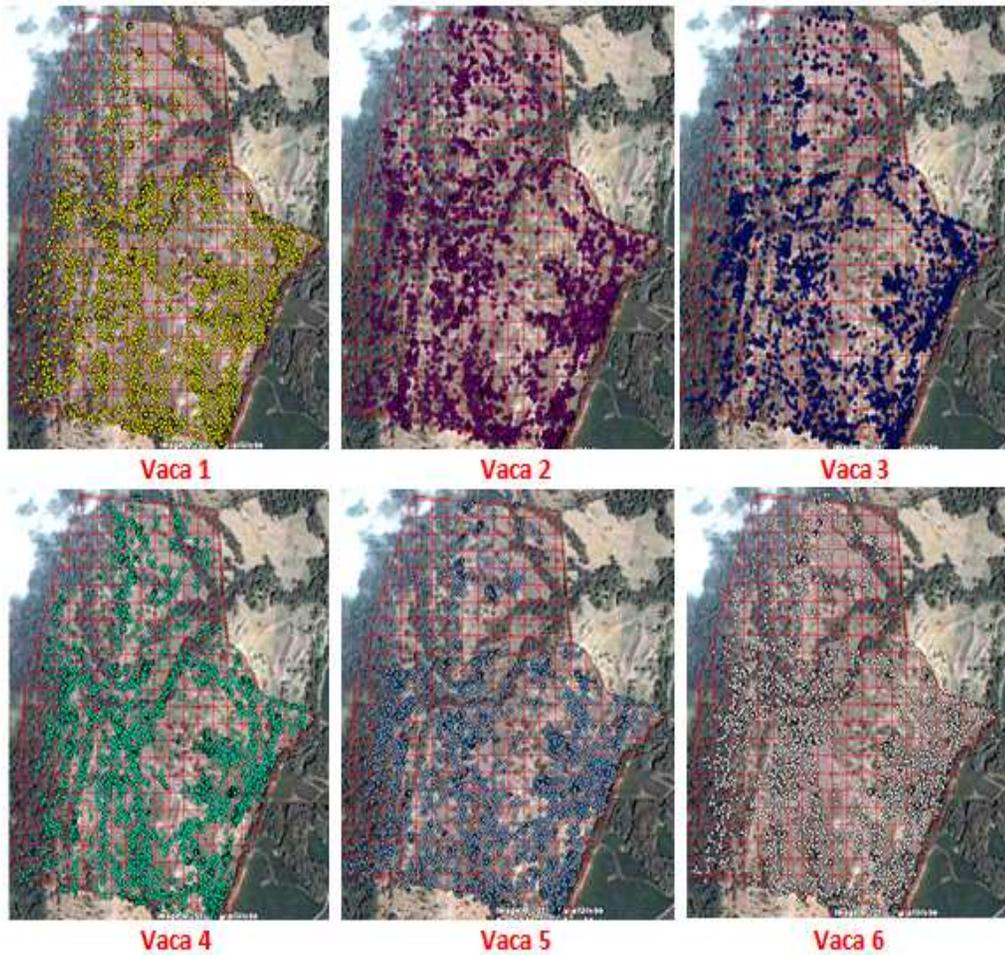
FID	Shape	Id	XMIN	XMAX	YMIN	YMAX	cover%	fixes
0	Polygon	0	513910	513960	525130	525180	0	0
1	Polygon	0	513910	513960	525180	525230	80	23
2	Polygon	0	513910	513960	525230	525280	70	3
3	Polygon	0	513910	513960	525280	525330	68	0
4	Polygon	0	513910	513960	525330	525380	60	0
5	Polygon	0	513910	513960	525380	525430	45	0
6	Polygon	0	513910	513960	525430	525480	42	2
7	Polygon	0	513910	513960	525480	525530	37	0
8	Polygon	0	513910	513960	525530	525580	24	0
9	Polygon	0	513910	513960	525580	525630	18	0
10	Polygon	0	513910	513960	525630	525680	13	0
11	Polygon	0	513910	513960	525680	525730	4	0
12	Polygon	0	513910	513960	525730	525780	0	0
13	Polygon	0	513960	514010	525130	525180	7	5
14	Polygon	0	513960	514010	525180	525230	100	66
15	Polygon	0	513960	514010	525230	525280	90	28
16	Polygon	0	513960	514010	525280	525330	100	4
17	Polygon	0	513960	514010	525330	525380	100	2
18	Polygon	0	513960	514010	525380	525430	90	11
19	Polygon	0	513960	514010	525430	525480	100	4
20	Polygon	0	513960	514010	525480	525530	100	15
21	Polygon	0	513960	514010	525530	525580	90	1
22	Polygon	0	513960	514010	525580	525630	100	0
23	Polygon	0	513960	514010	525630	525680	100	4
24	Polygon	0	513960	514010	525680	525730	90	0
25	Polygon	0	513960	514010	525730	525780	83	0
26	Polygon	0	513960	514010	525780	525830	51	2
27	Polygon	0	513960	514010	525830	525880	19	0
28	Polygon	0	513960	514010	525880	525930	1	0

3.2.7 Comportamiento animal

La evaluación del comportamiento de los bovinos en estudio se realizó a partir del análisis de los datos suministrados por los receptores para GPS (*Garmin eTrex Vista*) los cuales una vez convertidos a formato SHP se analizaron con ArcGIS 9.2

lo que permitió observar las posiciones de las vacas objeto del estudio dentro del mapa temático modelado en el software para SIG; que incluye la imagen satelital Quikbird de Digital Globe y la grilla con cuadrícula de 2500 m² para cada cuadro. (Ver figura 3-11). Una vez se introduce la información de los puntos que indican las posiciones de las vacas, el software para GIS ArcGIS 9.2 muestra en la tabla de atributos el número de posiciones por cuadro en la grilla, información que a su vez se relaciona con el valor en porcentaje de cobertura arbórea correspondiente para cada cuadro de la grilla.

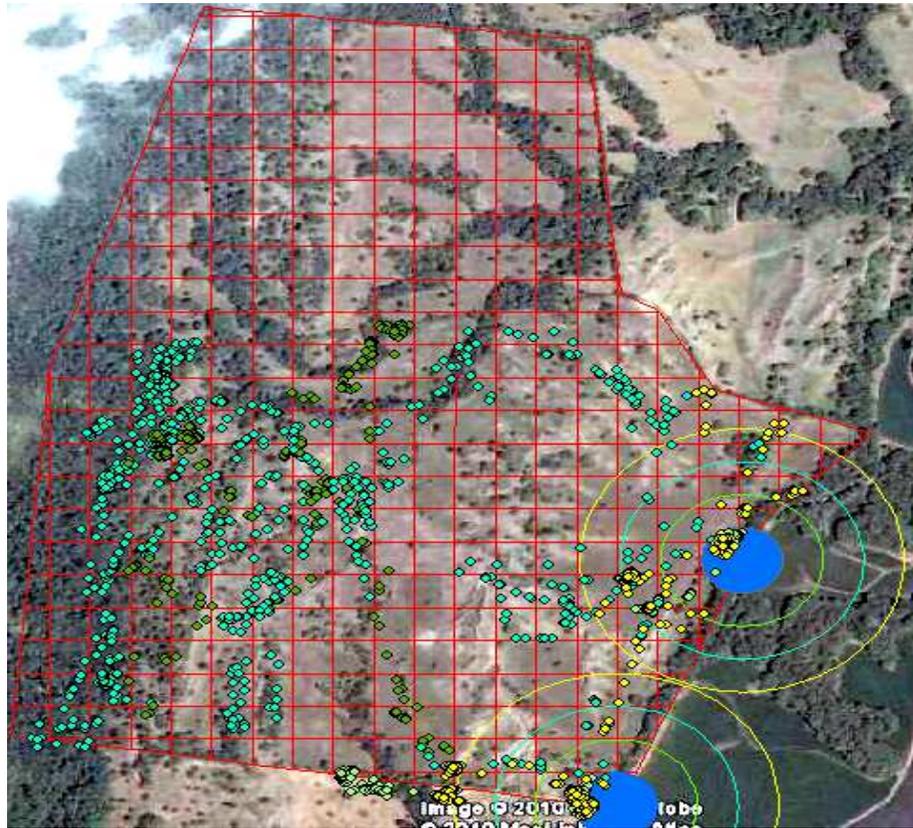
Figura 3-11. Posiciones espaciales de las vacas dentro del mapa temático para cobertura arbórea del potrero en estudio en la hda. Pajonales Ambalema Tolima.



Teniendo en cuenta las observaciones realizadas para el ajuste de datos, se analizó el comportamiento animal en función de: traslado, pastoreo, descanso y se incluyó la visita a bebederos durante toda la toma de datos. Esto permitió estimar el tiempo dedicado a cada actividad durante todos los días de estudio y la injerencia de los bebederos en el comportamiento bovino. Se evaluó el comportamiento animal en dos categorías: 1. actividad: comprende los puntos clasificados como traslado y pastoreo y 2. No Actividad: corresponde a los puntos clasificados como descanso. A partir de la información climática, se evaluó el comportamiento de las vacas para las variables definidas en función de las temperaturas más altas y más bajas en las épocas seca y húmeda.

Se evaluó el comportamiento de las vacas estudiadas con respecto a la ubicación espacial de los puntos monitoreados con GPS teniendo como referencia los 2 bebederos existentes en el potrero estudiado; modelando con ArcGIS 9.2 círculos con radios medidos desde el centro de cada bebedero a 50, 100, 150 y 200 m. (Ver figura 3-12). Lo anterior con el objeto de estimar el comportamiento de las vacas estudiadas en función de las fuentes de agua según las horas del día y las temperaturas para época predominantemente seca o húmeda, seleccionando en cada periodo de cuatro semanas (Diciembre 2009 y Enero de 2010) de toma de datos dos días con temperaturas altas (máximas) y dos días con temperaturas bajas (mínimas) que tuviesen los registros de monitoreo completos por cada día seleccionado. Posteriormente, con la ayuda del software ArcGIS 9.2 se observó la ubicación espacial de las vacas por periodos de 60 minutos, teniendo como horas de inicio las 07:00 y las 13:00.

Figura 3-12. Mapa temático incluido posiciones espaciales de las vacas y círculos con radio de 50, 100, 150 y 200 m de distancia a los bebederos del potrero en estudio, Ambalema Tolima.



3.2.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS v.20. Los recorridos promedio por vaca y por época se analizaron primeramente con estadística descriptiva (media, desviación estándar, mínimos y máximos). Para comparar las medias de los recorridos promedio entre las vacas en las dos épocas estudiadas se utilizó el análisis de variancia de un factor. Para comparar los recorridos promedio de las vacas según la raza (F1 y Brahman) en época predominantemente húmeda (Dic-2009) y época seca (Ene-2010) se utilizó la prueba t-Student para muestras independientes. Se corrió la prueba t-Student para muestras relacionadas comparando el recorrido promedio por día de cada vaca en las dos épocas diferentes.

Con la prueba t-Student para muestras independientes se evaluaron los recorridos diarios en kilómetros por composición racial (F1-Holstein x Brahman y Brahman) y por épocas (Húmeda Dic-2009 y Seca Ene-2010) para los 2 días con temperaturas más altas o máximas y los 2 días con temperaturas más bajas o mínimas de cada época que tenían registros completos de datos.

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson con el objetivo de explicar si existe alguna relación entre el número de visitas y la cobertura arbórea presente en el potrero de estudio. Además, se realizó la prueba de chi-cuadrado para determinar una posible dependencia en dos casos, entre la cobertura arbórea y el número de visitas; y entre los datos producto de las observaciones visuales y los del GPS para el ajuste de datos.

La evaluación estadística para los datos de Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) y el comportamiento de las vacas en relación con las visitas a los dos (2) bebederos del potrero en estudio a las 7:00 y 13:00 horas, por composición racial, por época, por días de bajas y altas temperaturas y por la distancia a los bebederos, se analizó con la prueba de comparación no paramétrica de U de Mann Whitney debido a que los datos analizados no tienen distribución normal.

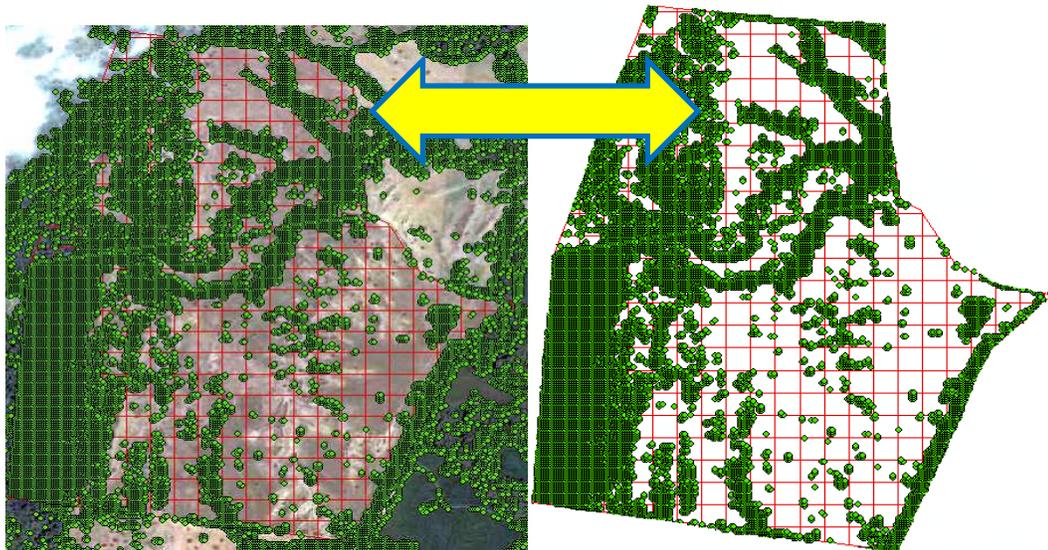
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Interpretación de datos geográficos y modelamiento de la cobertura arbórea con el uso de SIG

El material aerofotográfico digital, la imagen del satélite Quikbird de Digital Globe para Google Earth y los datos geográficos se analizaron con el software para SIG ArcGIS 9.2., haciendo uso de herramientas para Sistema de Información

Geográfica-SIG que permiten almacenar, usar, gestionar y representar gráficamente datos con algún tipo de componente espacial (Chuvieco, 2002). Inicialmente se identificaron de manera visual algunos aspectos de referencia como el perímetro y los bebederos facilitando de esta manera el reconocimiento del área estudiada en campo. La configuración de contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS y su expresión en puntos para su posterior conversión a polígonos y puntos superpuestos en la grilla de 350 celdas con área de 2500 m² permitió estimar de forma porcentual los valores para cada clase de cobertura arbórea según la siguiente clasificación; A: $\leq 20\%$ de cobertura, B: $\geq 20\%$ y $\leq 40\%$ de cobertura, C: $\geq 40\%$ y $\leq 60\%$ de cobertura, D: $\geq 60\%$ y $\leq 80\%$ de cobertura y E: $\geq 80\%$ de cobertura arbórea. (Ver figura 3-13).

Figura 3-13. Modelamiento de la cobertura arbórea a partir de la imagen satelital Quikbird, la grilla de 2500m² y la configuración de contornos construidos con la extensión spatial analyst para ArcGIS.



Esta clasificación difiere de lo reportado en un estudio realizado por Putfarken *et al.*, (2008) en el cual digitalizaron mapas de cobertura arbórea para zonas de pastoreo con cinco (5) rangos clasificatorios diferentes (≤ 5 , ≤ 25 , ≤ 50 , ≤ 75 y $\geq 75\%$). La tabla de atributos para el archivo SHP *shapefiles* en ArcGIS 9.2 para la modelación de la cobertura arbórea del potrero en estudio mostró resultados en

porcentaje para cobertura arbórea por cada celda de la grilla modelada sobre el potrero. Según la clasificación de cobertura arbórea para el área del potrero en estudio los porcentajes totales por cada rango para cada una de las 350 celdas fueron:

-Para A: $\leq 20\%$ de cobertura (47% del área del potrero) (para este rango el número de celdas que tenían valores inferiores a 20% de cobertura según la tabla de atributos de ArcGIS 9.2 fue 165).

-Para B: $\geq 20\%$ y $\leq 40\%$ de cobertura (21% del área del potrero) (para este rango el número de celdas que tenían valores $\geq 20\%$ y $\leq 40\%$ de cobertura según la tabla de atributos de ArcGIS 9.2 fue 73).

-Para C: $\geq 40\%$ y $\leq 60\%$ de cobertura (16% del área del potrero) (para este rango el número de celdas que tenían valores $\geq 40\%$ y $\leq 60\%$ de cobertura según la tabla de atributos de ArcGIS 9.2 fue 56).

-Para D: $\geq 60\%$ y $\leq 80\%$ de cobertura (12% del área del potrero) (para este rango el número de celdas que tenían valores $\geq 60\%$ y $\leq 80\%$ de cobertura según la tabla de atributos de ArcGIS 9.2 fue 42).

-Para E: $\geq 80\%$ de cobertura arbórea (4% del área del potrero) (para este rango el número de celdas que tenían valores $\geq 80\%$ de cobertura según la tabla de atributos de ArcGIS 9.2 fue 14). (Ver tabla 3-2)

Tabla 3-2. Distribución en porcentaje de la cobertura arbórea para el área del potrero en estudio hda. Pajonales Ambalema Tolima.

% COBERTURA ARBÓREA	CELDAS POR GRILLA	ÁREA EN DEL POTRERO (%)
0-20	165	47
20-40	73	21
40-60	56	16
60-80	42	12
80-100	14	4
TOTAL	350	100

Estos valores en porcentaje de cobertura arbórea salieron a partir de la estimación porcentual para cada clase de cobertura teniendo en cuenta el número de celdas tipificadas para cada rango de las 350 celdas que componen la grilla.

Los datos indican que en el potrero de estudio la cobertura arbórea total en porcentaje es de 33.6% y que de este valor el 68% de la cobertura arbórea se encuentra dentro de la clasificación; A: $\leq 20\%$ de cobertura y B: $\geq 20\%$ y $\leq 40\%$ de cobertura, datos que concuerdan con lo reportado por Restrepo, (2002) en Cañas Costa Rica con valores para cobertura de árboles en potreros que van desde 0 hasta 60%; pero con predominio de valores para cobertura en porcentaje bajos ($< 20\%$) en la mayoría de fincas estudiadas.

La modelación de la cobertura arbórea permite observar que en el área del potrero en estudio la clase A: $\leq 20\%$ de cobertura es la que predomina con 47%; tendencia similar a la reportada por Esquivel, (2007) en un estudio realizado en la provincia de Puntarenas, Costa Rica donde más del 50% de los potreros de las fincas ganaderas mostraron coberturas arbóreas menores al 20%.

3.3.2 Monitoreo de vacas con GPS

Se analizaron 45.755 datos (puntos) producto del monitoreo de las seis vacas con GPS durante época predominantemente húmeda y época predominantemente seca. Las distancias totales recorridas por las 6 vacas en desarrollo del estudio se promediaron por día y por época de manera general y teniendo en cuenta la composición racial. En el análisis estadístico descriptivo para recorridos promedio en kilómetros por día en época predominantemente húmeda diciembre de 2009 y época predominantemente seca enero de 2010 el valor para la media indica que las vacas de manera general recorrieron mayores distancias en época predominantemente húmeda (7,3 km en promedio) que en época predominantemente seca (6,1 km en promedio) (Ver tabla 3-3); el mayor valor promedio para recorrido en época predominantemente húmeda probablemente se puede atribuir a factores climáticos generadores de estrés calórico en el mes de enero si se tiene en cuenta la diferencia en temperatura promedio (28° C en diciembre 2009 y 30° C en enero 2010) y precipitaciones (94 mm en diciembre 2009 y 12mm en enero 2010) presentada durante los meses de toma de datos en desarrollo del estudio. Salvador (2010) menciona que en algunas regiones del trópico donde la temperatura promedio oscila entre 25 y 35 °C los bovinos se ven más afectados por el estrés calórico. Roca (2011) afirma que el comportamiento y la actividad del ganado bovino son claramente afectados por los agentes climáticos del hábitat natural y productivo del animal, específicamente la temperatura ambiental, la humedad relativa, evaporación, precipitación y otros.

Tabla 3-3. Estadísticos descriptivos para los recorridos promedio en km/día por vaca en la época predominantemente húmeda (Dic-2009) y seca (Ene-2010).

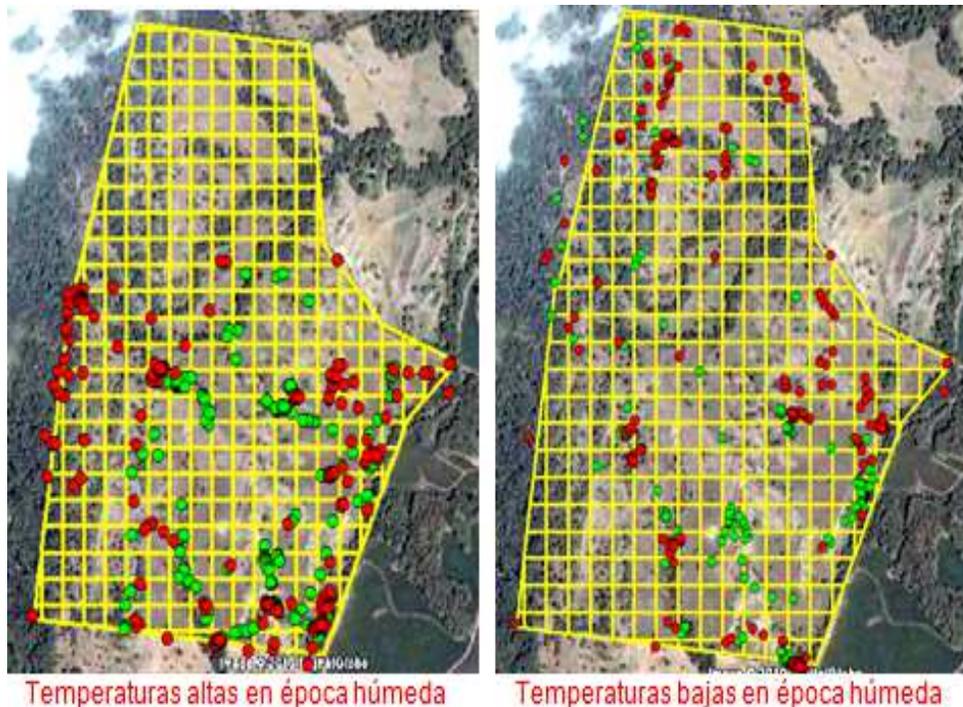
ÉPOCA	DESCRIPTIVOS	VACA						Promedio km/día
		1	2	3	4	5	6	
HÚMEDA DIC-2009	MEDIA	7,4	4,8	7,5	7,7	8,5	8,4	7,3
	D-ESTÁNDAR	1,2	1	1,2	1,3	1	0,9	1,3
	MÍNIMO	5,2	3,1	5,2	5,6	6,5	6,7	4,8
	MÁXIMO	9,6	6,5	10,2	10	10,3	10,8	8,5
SECA ENE-2010	MEDIA	6,3	6,9	5,8	6,4	5,9	5,2	6,1
	D-ESTÁNDAR	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6
	MÍNIMO	5,2	5,4	4,9	5,3	4,5	4,5	5,2
	MÁXIMO	6,7	7,8	6,4	7,5	6,7	6,7	6,9

El análisis de varianza realizado para comparar los recorridos promedio de las vacas evaluadas en época predominantemente húmeda y en época predominantemente seca mostró de manera general diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los recorridos realizados por las vacas en las dos épocas.

El recorrido promedio por día en época predominantemente húmeda para las vacas F1 (Holstein X Brahman, vacas 1,2 y 3) fue de 6,5 km y para las vacas Brahman (vacas 4, 5 y 6) fue de 8,2 km. En la figura 3-13 se pueden observar tendencias en el comportamiento animal en función del movimiento de 1 vaca Brahman (puntos rojos) y 1 vaca F1 (puntos verdes) durante el mes de diciembre de 2009 en 2 días correspondientes a la época predominantemente húmeda; 16 de diciembre con temperaturas altas y 18 de diciembre con temperaturas bajas. El movimiento de las vacas representado en puntos explica los valores numéricos producto de la distancia en metros registrada para cada punto por los GPS durante el monitoreo; demostrando que durante el mes de diciembre de 2009 las vacas Brahman (puntos rojos) recorrieron mayores distancias que las vacas F1 (puntos verdes). El valor más

bajo para el recorrido promedio por día presentado por las vacas F1 (Holstein x Brahman) se puede explicar probablemente debido a su pelaje negro, lo que las hace más susceptibles a altas temperaturas y exposición a intensa radiación solar, situación que es inversa en las vacas Brahman ya que estas presentan color gris o blanco. Hall (2000) afirma que la respuesta individual del animal a las condiciones climáticas está condicionada por características como la raza, el tamaño, el color, la cobertura de la piel, el grado individual de tolerancia al calor, el estado nutricional y el potencial genético para la producción. La figura 3-14 también permite observar que las vacas exploraron más áreas en días con temperaturas bajas, lo que valida el hecho de que las condiciones climáticas más favorables presentadas en la época predominantemente húmeda tienen injerencia en el recorrido y movimiento de los bovinos en estudio.

Figura 3-14. Posiciones de 1 vaca Brahman y 1 vaca F1 (puntos rojos vaca Brahman y puntos verdes vaca F1) registradas por los GPS y ubicadas en el mapa temático correspondientes al 16 (temperaturas altas) y 18 (temperaturas bajas) de diciembre 2009.



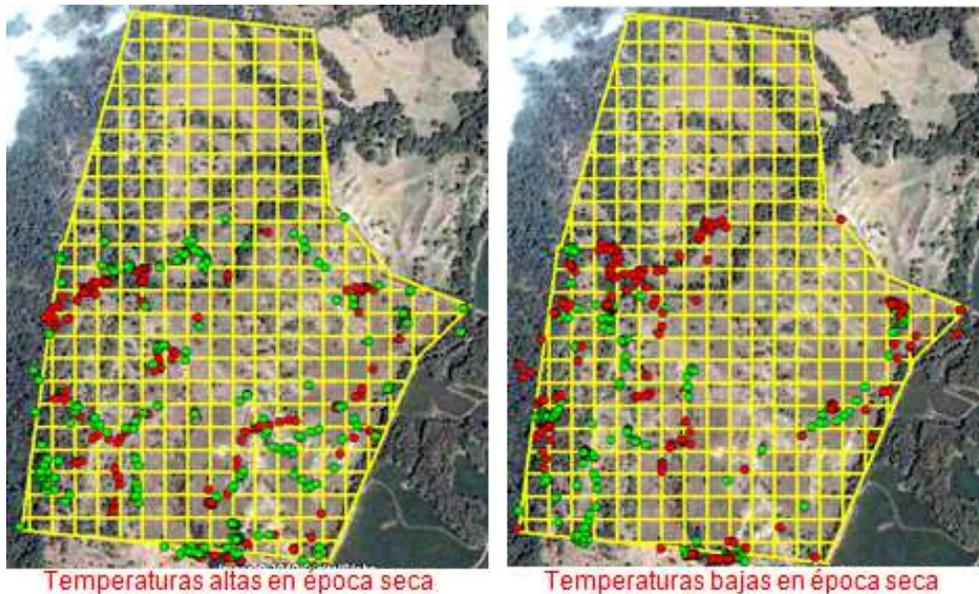
El recorrido promedio por día en época predominantemente seca para las vacas F1 (Holstein X Brahman) fue de 6,3 km y para las vacas Brahman fue de 5,9 km. Esta diferencia a favor de las vacas F1 en la distancia recorrida durante la época predominantemente seca se puede explicar posiblemente debido al mayor efecto que las altas temperaturas tienen en los bovinos con pelaje negro, lo que ocasiona mayor movimiento hacia los bebederos y zonas de confort.

En la figura 3-15 se pueden observar tendencias en el comportamiento animal en función del movimiento de 1 vaca Br (puntos rojos) y 1 vaca F1 (puntos verdes) durante el mes de enero de 2010 en 2 días correspondientes a la época predominantemente seca; 16 de enero con temperatura alta y 18 de enero con temperatura baja. El movimiento de las vacas representado en puntos explica las distancias en metros registradas en cada punto por los GPS durante el monitoreo; demostrando que durante el mes de enero de 2010 las 6 vacas monitoreadas recorrieron distancias similares. También se observa que las vacas durante la época predominantemente seca presentaron un comportamiento análogo en cuanto a movimiento espacial debido a que no se observan puntos de monitoreo en algunas zonas distantes del potrero; indicando que durante la época predominantemente seca el movimiento fue menor en comparación con la época predominantemente húmeda como efectivamente lo confirman los datos producto del monitoreo.

La temperatura promedio en enero 2010 estuvo en 30° C y la precipitación fue de 12 mm en la zona de estudio, ubicando la época predominantemente seca en desarrollo del estudio dentro de condiciones climáticas tipificadas como generadoras de estrés calórico en bovinos; explicando de esta manera el patrón conductual en cuanto a menores recorridos/día realizados por las vacas monitoreadas en comparación con la época predominantemente húmeda. Según lo reportado por Wilson *et al.* (1998), en un estudio realizado en la universidad de Missouri Estados Unidos de América se habla de estrés calórico en bovinos cuando la temperatura ambiente es mayor o igual a 29° C. La figura 3-14 muestra que las vacas monitoreadas en días con temperaturas altas registran mayor número de posiciones

en zonas cercanas a los bebederos y que con temperaturas más bajas exploran sitios más distantes con respecto a los bebederos.

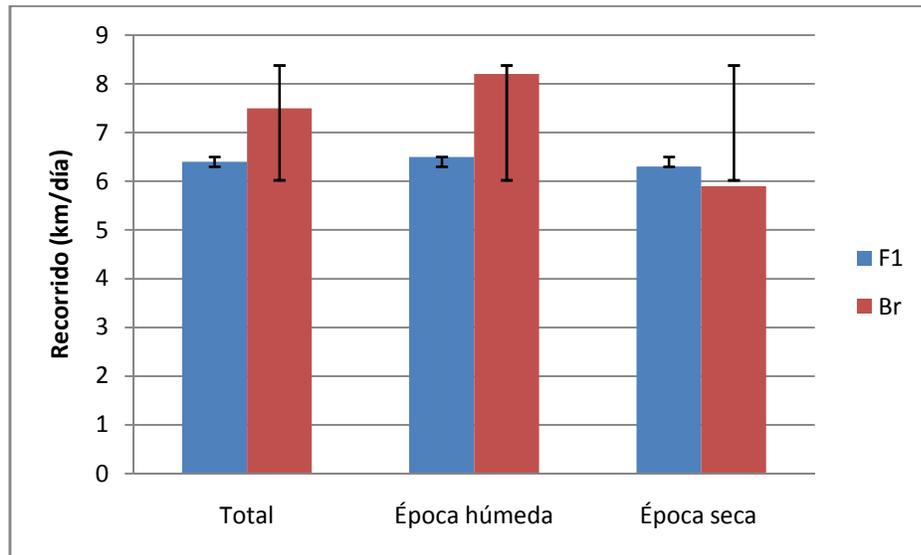
Figura 3-15. Posiciones de 1 vaca Br y 1 vaca F1 (puntos rojos vaca Br y puntos verdes vaca F1) registradas por los GPS y ubicadas en el mapa temático correspondientes al 16 (temperaturas altas) y 18 (temperaturas bajas) de enero 2010.



El recorrido promedio por día durante la toma de datos para las vacas F1 (Holstein X Brahman) fue de 6,4 km y para las vacas Brahman fue de 7 km (Ver Figura 3-16). Estos datos se aproximan a lo reportado por Walker y Heitschmidt, (1989) para vacas que recorrieron en promedio 5,8 km/día en un potrero de 248 ha y 6,5 y 8,2 km/día en un potrero de 27 ha. Otros estudios en bovinos reportan distancias recorridas por día de 5,8 km; 5,5 km; 5,9 km y 5,7 km con vacas Hereford por Angus en los Estados Unidos (Ganskopp, 2001). Lipka *et al.*, (2011) reporta recorridos promedios por día de 10 km para toros Angus y de 7 km para vacas Angus y Angus por Hereford en un estudio realizado en el estado de Nuevo México. Estudios de monitoreo bovino en el estado de Oregón Estados Unidos muestran distancias recorridas por día para cada bovino de 10 evaluados que oscilan en 5,17 y 4,66 km (Johnson *et al.*, 2009).

La comparación de medias con la prueba T Student para los recorridos promedio en kilómetros de las vacas según la composición racial (F1 (Holstein X Brahman) y Brahman) por época predominantemente húmeda (Dic-2009) y época predominantemente seca (Ene-2010) mostró que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los recorridos promedio en kilómetros por composición racial en las dos épocas evaluadas.

Figura 3-16. Recorridos promedio en kilómetros / día según la composición racial (Br: Brahman, F1: Holstein x Brahman) y la época en el total de los datos registrados.



Para comparar el recorrido promedio en kilómetros de cada vaca del estudio (Vaca 1, 2, 3, 4, 5 y 6) en las dos épocas estudiadas se corrió la prueba T Student para comparar medias de muestras relacionadas. Esta prueba mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las vacas 3, 4, 5 y 6. (Tabla 3-4) indicando que entre el recorrido promedio en kilómetros para la época predominantemente húmeda y el recorrido promedio en kilómetros para la época predominantemente seca de las vacas 3, 4, 5 y 6, existen diferencias significativas, y que entre los recorridos promedio en kilómetros por día para las épocas

predominantemente húmeda y seca de las vacas 1 y 2 no existe diferencia significativa.

Tabla 3-4. Comparación de medias para los recorridos promedio en kilómetros por día y por época para las vacas en estudio.

Vaca	Diciembre	Enero	T- Student (p)
km/día			
1	7,0 ± 1,3	5,9 ± 1,1	0,12
2	6,3 ± 1,1	6,6 ± 1,0	0,62
3	6,8 ± 1,1	5,4 ± 0,7	0,03
4	7,8 ± 1,3	6,1 ± 0,6	0,02
5	8,0 ± 0,9	5,6 ± 0,7	0,00
6	8,2 ± 0,8	4,9 ± 0,8	0,00

La prueba T Student para muestras independientes al evaluar los recorridos diarios en kilómetros por razas (F1-Holstein x Brahman y Brahman) y por épocas (Húmeda Dic-2009 y Seca Ene-2010) para 2 días con temperaturas más altas o máximas y 2 días con temperaturas más bajas o mínimas de cada época, permitió interpretar que los recorridos promedio en Kilómetros/día por composición racial en las dos épocas con temperaturas máximas y en época predominantemente seca con temperaturas mínimas son similares (no se detectaron diferencias), mientras que entre los recorridos promedio en Kilómetros/día por composición racial en época predominantemente húmeda con temperaturas mínimas existe diferencia significativa ($P < 0.05$). (Ver tabla 3-5).

Al sobreponer el mapa temático para conteo de posiciones de las vacas con el mapa temático de cobertura arbórea, se pudo conocer el número de posiciones espaciales por cada cuadro de la grilla de 2500 m²; permitiendo de esta manera cuantificar el número de visitas realizadas por las seis (6) vacas del estudio dentro

de cada división de la grilla que se superpuso al mapa temático en función de la cobertura arbórea del potrero estudiado. (Ver tabla 3-6).

Tabla 3-5. Comparación de medias para los recorridos promedio en kilómetros/día por composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época en días con temperaturas máximas (T Máx.) y temperaturas mínimas (T Mín.).

Época	Composición racial	Media \pm DS km/día	T-Student (p)
Diciembre-T Máx.	F1	6,2 \pm 0,4	0,11
	Br	6,8 \pm 0,7	0,12
Enero-T Máx.	F1	6,3 \pm 1,0	0,5
	Br	5,9 \pm 0,7	0,5
Diciembre-T Mín.	F1	7,9 \pm 0,9	0,03
	Br	9,2 \pm 0,9	0,03
Enero-T Mín.	F1	5,3 \pm 0,9	0,89
	Br	5,4 \pm 0,6	0,89

Tabla 3-6. Número de visitas en función de la cobertura arbórea en un potrero arbolado en desarrollo del estudio, Ambalema Tolima.

CLASIFICACIÓN DE COBERTURA ARBÓREA (%)	NÚMERO DE VISITAS
0-20	23.443
20-40	11.739
40-60	5.686
60-80	4.232
80-100	655

Los datos muestran que el 51% de las visitas totales durante la toma de datos fueron registradas en áreas de cobertura arbórea menor a 20%; que el 26% de las

visitas se realizaron en áreas entre 20 y 40% de cobertura; que el 13% de las visitas se realizaron en áreas entre 40 y 60% de cobertura; que el 9% de las visitas se realizaron en áreas entre 60 y 80% de cobertura y que el 1% de las visitas se realizaron en áreas de cobertura arbórea mayor al 80%.

Para explicar estadísticamente si existe relación entre el número de visitas a las diferentes zonas del potrero registradas para las 6 vacas en estudio y la cobertura arbórea presente en el potrero de estudio se corrió una prueba de correlación de Pearson. En esta prueba el valor para la correlación fue negativo indicando que existe una relación indirecta entre número de visitas y cobertura arbórea estimada en porcentaje (cuando el área del potrero posee un mayor porcentaje de cobertura arbórea es menor el número de visitas y viceversa). La prueba de chi-cuadrado para analizar estadísticamente si existe o no dependencia entre la cobertura arbórea y el número de visitas, mostró que existe una relación de dependencia entre las variables estudiadas ($p=0.007$).

La preferencia que las vacas estudiadas muestran por zonas de baja cobertura arbórea puede explicarse debido a que los animales de pastoreo poseen un sistema óptico muy sensible al movimiento y a los contrastes de luz y sombra, lo que posiblemente ingiera para que los vacunos presenten una fuerte tendencia a movilizarse desde áreas de poca iluminación hacia otras mejor iluminadas (Grandin, 1980a y 1980b). El comportamiento de las vacas estudiadas en lo referente a la alta frecuencia de visitas en zonas de baja cobertura arbórea concuerda con lo expuesto por McNaughton, (1983), quien escribió que en los hábitats destinados a pastoreo y ramoneo los grandes herbívoros tienen predilección por áreas con árboles dispersos en paisajes relativamente abiertos; por otra parte Senft *et al.*, (1987) plantea que es posible sugerir que el ganado tiene memoria espacial debido a que transita por rutas que los llevan a sitios seleccionados del potrero a través de zonas abiertas es decir con baja cobertura arbórea. El comportamiento de los bovinos en cuanto a la ubicación cerca o lejos en distancia con relación a los árboles, depende del alimento disponible o también puede estar influenciado por la sombra que proporciona el dosel (Zuo y Miller-Goodman, 2004). Un estudio más reciente cuyo objetivo fue evaluar el

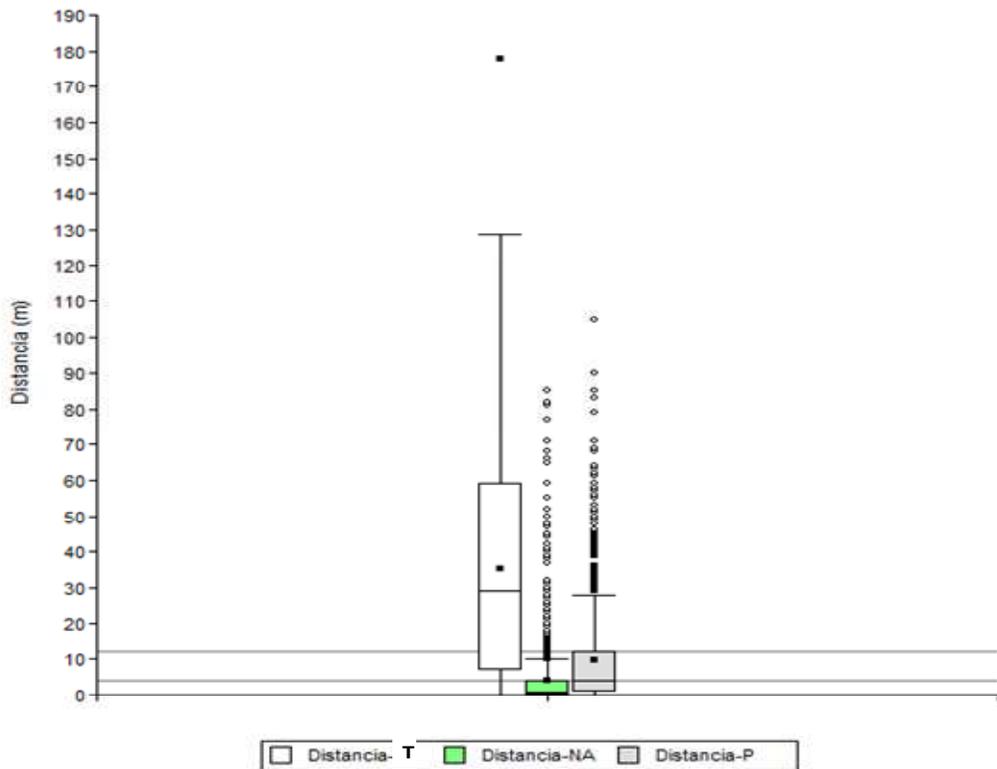
comportamiento de ganado con respecto a la distancia con relación a los árboles en potreros de Nicaragua, muestra que el ganado en términos generales tuvo preferencias de pastoreo hacia lugares de baja cobertura arbórea. (Nilsen *et al.*, 2009).

3.3.3 Observación de comportamiento animal para ajuste de datos

La sincronización del tiempo entre los relojes de los investigadores y los receptores para GPS instalados en cuatro (4) vacas, dos (2) Brahman y dos (2) F1 Holstein por Brahman al iniciar las observaciones visuales de comportamiento por periodos de quince (15) minutos durante tres días (octubre 15,16 y 17 de 2010) dentro del potrero estudiado, permitió evaluar 2441 observaciones visuales clasificadas en Actividad (traslado y pastoreo) y No Actividad (Descanso). Simultáneamente, los animales fueron monitoreados con GPS programado para que emitiera señales simultáneas a los tiempos de observación. Los registros de las observaciones visuales se compararon con los registros de monitoreo con GPS para distancia recorrida en metros, lo que permitió definir en términos de porcentaje la coincidencia o no coincidencia de las observaciones visuales con respecto a lo monitoreado por el GPS y los valores en metros que se asignaron para descanso <4 m; traslado > 12 m y pastoreo > 4 m y < 12 m, admitiendo sacar un promedio y el cuartil 0.75 por cada actividad y puntos de no actividad. Así, se tomaron las posiciones que registraron distancias menores de 4 metros y que correspondían al cuartil 0,75 para clasificarlas como No actividad (Descanso). Las posiciones que registraron distancias mayores de 12 metros correspondientes al cuartil 0.75 de la actividad pastoreo se clasificaron como traslado y por defecto las demás posiciones que registraron distancias entre 4 y 11 metros se clasificaron como pastoreo (Ver figura 3-17)

Esta metodología de periodos de observación directa durante un minuto por varios días ha sido utilizada para validar categorías de comportamiento bovino y ovino a partir de la comparación entre los datos de observación directa y los datos obtenidos a partir de GPS. (Putfarken *et al.*, 2008)

Figura 3-17. Box-plot de los registros para distancia recorrida según actividad (T: Traslado y P: Pastoreo) y no actividad (NA) obtenidos para ajustar distancias medias recorridas por bovinos en pastoreo.



El promedio para pastoreo fue 9,8 m, para Descanso 4,1 m y para movimiento o traslado 30,9 m. Las 2441 observaciones para ajuste de datos equivalen en tiempo a 40,6 horas de las cuales 20,2 horas (49,8%) correspondieron a no actividad y 20,4 horas (50,2%) fueron para actividad. Estos datos difieren de los reportados por Ungar *et al.*, (2011) para observaciones de comportamiento bovino en Israel durante 18,9 horas en mayo de 2006 y 11,6 horas en octubre de 2006 donde para ambos periodos de estudio el 59% del tiempo observado las vacas estuvieron en descanso; los registros de observaciones para pastoreo en mayo fueron del 31% y para octubre del 36% mientras que para viaje el porcentaje en mayo fue del 10% y para octubre del 5%. Al sumar los porcentajes reportados para las actividades de pastoreo y viaje en mayo totaliza 41% y en octubre 41%; valores porcentuales

distantes del 50,2% de tiempo dedicado a esas actividades según las observaciones visuales del presente estudio.

Teniendo en cuenta los rangos establecidos para las actividades estudiadas se procedió a clasificar cada posición registrada con GPS (2345 registros) para cuatro vacas monitoreadas. (Tabla 3-7).

Tabla 3-7. Coincidencias en porcentaje para datos producto de observaciones visuales con respecto a datos predichos o esperados.

Comparación	No. Datos	Coincidencia %
No actividad observada	1217	
No actividad predicha	877	0,72
Actividad observada	1224	
Actividad predicha	502	0,41

Para establecer si existía relación estadística entre las observaciones visuales y los datos del GPS se realizó la prueba chi-cuadrado, encontrándose un valor de ($p=0,000$) lo que indica que hay una relación entre los datos observados y los datos predichos o esperados.

El promedio en metros de los recorridos para cada actividad evaluada producto de la comparación entre las observaciones visuales y los registros del GPS para ajuste de datos, permitió establecer para los 45.755 datos del monitoreo animal los siguientes rangos por actividad:

1. Si el GPS registraba distancias menores a cuatro (4) m en cinco (5) minutos se considera que el animal se encontraba en un periodo de descanso.

2. Si el GPS registraba distancias mayores de cuatro (4) y menores de doce (12) m en cinco (5) minutos, se considera que el animal se encontraba en un periodo de pastoreo.

3. Mientras que si la distancia registrada era de más de doce (12) m se considera que el animal se encontraba en un periodo de traslado.

Teniendo como parámetro la distancia recorrida en metros durante cinco (5) minutos para tipificar actividades de comportamiento animal, Ungar *et al.*, (2011) reporta a partir de un estudio realizado en Israel como actividad de pastoreo, aquellas distancias promedio recorridas durante cinco (5) minutos que estén entre once (11) y trece (13) metros. Otro estudio de evaluación de comportamiento animal para actividades de descanso y pastoreo realizado en Alemania reporta que si la distancia recorrida calculada dentro de cinco (5) minutos era inferior a seis (6) metros se clasificaba como descanso y que si los reportes mostraban distancias recorridas entre seis (6) y cien (100) metros en cinco (5) minutos se consideraba que la actividad que predominaba era pastoreo. (Putfarken *et al.*, 2008).

3.3.4 Comportamiento animal

Teniendo como parámetro los rangos establecidos para Descanso, Pastoreo y Traslado resultante del procedimiento para ajuste de datos, se analizaron los registros totales (45.755 puntos) producto del monitoreo de las 6 vacas con GPS para evaluar el comportamiento animal en función de dos categorías:

1. Actividad: comprende los puntos clasificados como Traslado y Pastoreo.
2. No Actividad: corresponde a los puntos clasificados como Descanso.

Los datos se filtraron con Microsoft Excel para definir el número de puntos según la clasificación propuesta. Los 7632 puntos promedio por vaca por toda la toma de datos para las 3 vacas F1 (Holstein x Brahman) y los 7620 puntos promedio por

vaca por toda la toma de datos para las 3 vacas Brahman se multiplicaron por 5 que es el valor para tiempo en minutos con el que fueron configurados los GPS en desarrollo del monitoreo animal, para luego convertir el valor total dado en minutos a horas promedio por toma de datos por raza y horas día promedio para Actividad (Traslado y Pastoreo) y No Actividad (Descanso). (Ver tabla 3-8). El análisis de los datos para las 6 vacas del estudio indica que durante un día las horas promedio dedicadas a Actividad (Traslado + Pastoreo) fueron 14 (58%) y a No Actividad (Descanso) fueron 10 (42%). Ganskopp, (2001) reporta dentro de un estudio para comportamiento animal realizado en los Estados Unidos, monitoreo de actividades (pastoreo, descanso y caminata) para tres vacas con un total de 38 horas, indicando que el 50,8% del total de horas monitoreadas fueron dedicadas a pastoreo, el 39,4% a descanso y el 7,6% a caminata; estos datos en términos generales concuerdan con lo observado en este estudio.

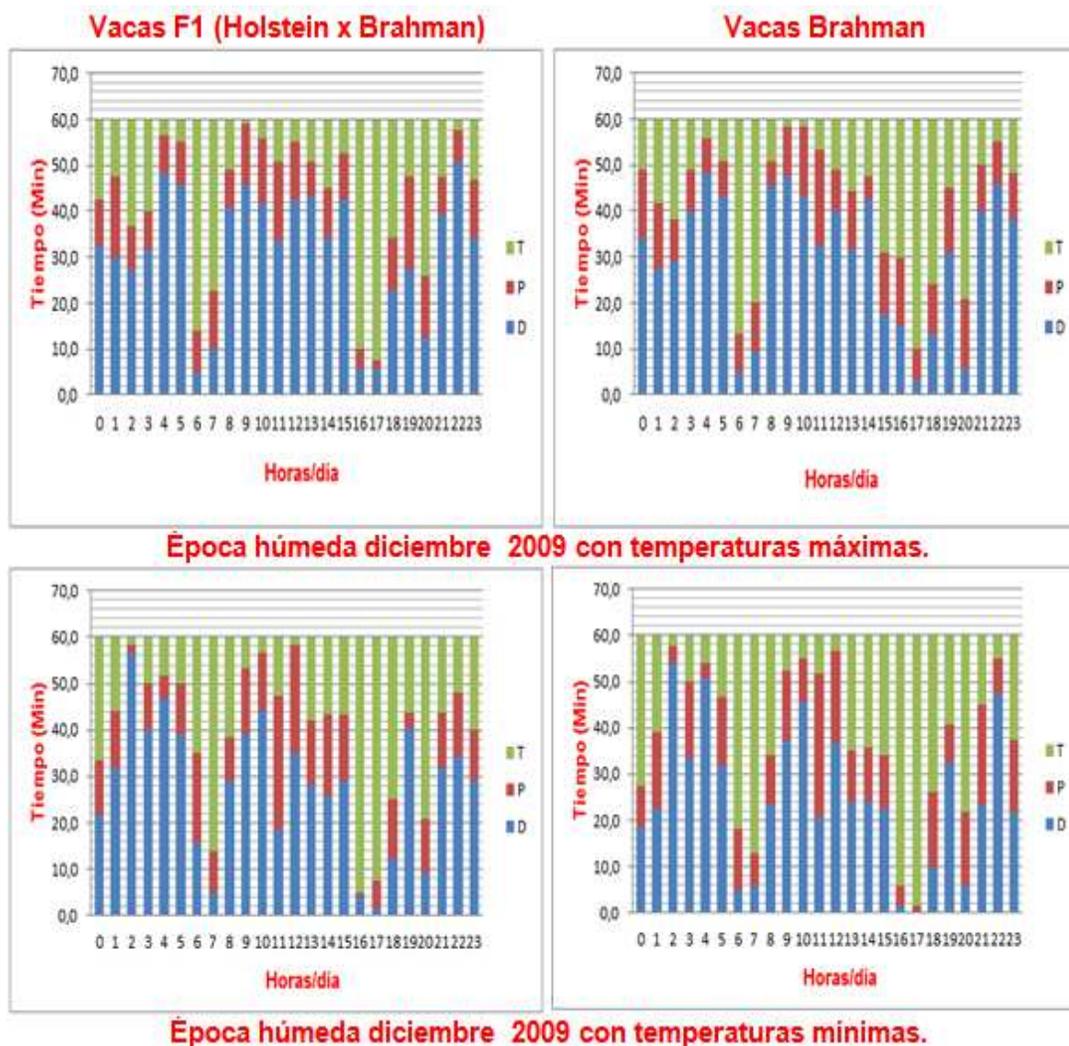
Scarnecchia *et al.*, (1985) informaron que el tiempo dedicado a pastoreo por día está relacionado con la disponibilidad de forraje, pasando de 6,3 a 10,9 horas de pastoreo día cuando el forraje escasea. Bajo condiciones normales de disponibilidad de forraje el tiempo en horas día de pastoreo reportado por estos autores (6,3) es similar al tiempo que las vacas de este estudio en promedio dedicaron a esta actividad (6 horas día). Fraser & Broom, (1990) reportan tiempos dedicados por rumiantes durante el día para pastoreo de 8 horas, pudiendo variar entre 4 y 14 horas, datos que difieren notablemente de los observados en este estudio. Otro estudio de observación para comportamiento animal con vacas charoláis reporta por día 6,1 horas de pastoreo y 9,2 horas de descanso. (Gary *et al.*, 1970). Estos datos no están muy distantes de los datos promedio observados para pastoreo y descanso en las seis vacas estudiadas.

Tabla 3-8. Puntos convertidos en horas totales de monitoreo y en horas/día dedicado por las vacas F1 (Holstein x Brahman) y Brahman en promedio (prom) al P: Pastoreo, T: Traslado y D: Descanso en desarrollo del estudio.

Clasificación		F1		Br		Horas/día prom por actividad	%
		Puntos prom	Horas prom	Puntos prom	Horas prom		
Actividad	P	1860	155	1848	154	6	25
	T	2496	208	2640	220	8	33
No actividad	D	3276	273	3132	261	10	42
Total		7632	636	7620	635	24	100

La figura 3-18 muestra el tiempo en minutos/hora por día promedio que las vacas F1 (Holstein x Brahman) y Brahman dedicaron a las categorías definidas como Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) durante los 2 días con temperaturas más altas, Dic-14 con 30,4 °C y Dic-16 con 30,4 °C y los 2 días con temperaturas más bajas, Dic-9 con 27,7 °C y Dic-18 con 27,2 °C de la época predominantemente húmeda (Diciembre de 2009).

Figura 3-18. Actividad (T: traslado, P: pastoreo) y No Actividad (D: Descanso) promedio en minutos/hora durante días con temperaturas máximas y días con temperaturas mínimas durante la época predominantemente húmeda (Diciembre 2009) para las vacas monitoreadas según su composición racial en desarrollo del estudio.



En la época predominantemente húmeda con temperaturas máximas y mínimas se evidencia un comportamiento marcado para algunas actividades durante horas específicas; entre las 6 y 7 de la mañana y las 4 y 6 de la tarde predomina el traslado con muy poco pastoreo y descanso; entre las 11 de la mañana y las 12 del día se presenta la mayor proporción de tiempo dedicado a pastoreo; por otra

parte se puede observar diferencia en el comportamiento durante la época predominantemente húmeda entre las 8 de la mañana y las 3 de tarde lapso de tiempo en el que con temperaturas máximas los bovinos destinaron mayor tiempo a descanso que a traslado y pastoreo mientras que durante las mismas horas pero con temperaturas mínimas aunque siguió siendo superior el tiempo destinado a descanso, aumento el tiempo que destinaron a pastoreo y traslado.

La figura 3-19 muestra el tiempo en minutos/hora por día promedio que las vacas F1 (Holstein x Brahman) y Brahman dedicaron a las categorías definidas como Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) durante los 2 días con temperaturas más altas, Ene-16 con 31,5 °C y Ene-17 con 31,3 °C y los 2 días con temperaturas más bajas, Ene-14 con 29,6 °C y Ene-18 con 29,7 °C de la época predominantemente seca (Enero de 2010).

En la época predominantemente seca con temperaturas máximas y mínimas se evidencia un comportamiento marcado para algunas actividades durante horas específicas; a las 8 de la mañana y entre las 5 de la tarde y las 7 de la noche predomina el traslado con muy poco pastoreo y descanso; a las 10 de la mañana y las 8 de la noche se presenta la mayor proporción de tiempo dedicado a pastoreo; por otra parte se puede observar diferencia en el comportamiento durante la época predominantemente seca entre las 11 de la mañana y las 2 de tarde lapso de tiempo en el que con temperaturas máximas los bovinos destinaron mayor tiempo a descanso que a traslado y pastoreo mientras que durante las mismas horas pero con temperaturas mínimas aunque siguió siendo superior el tiempo destinado a descanso, aumento el tiempo que destinaron a pastoreo y traslado.

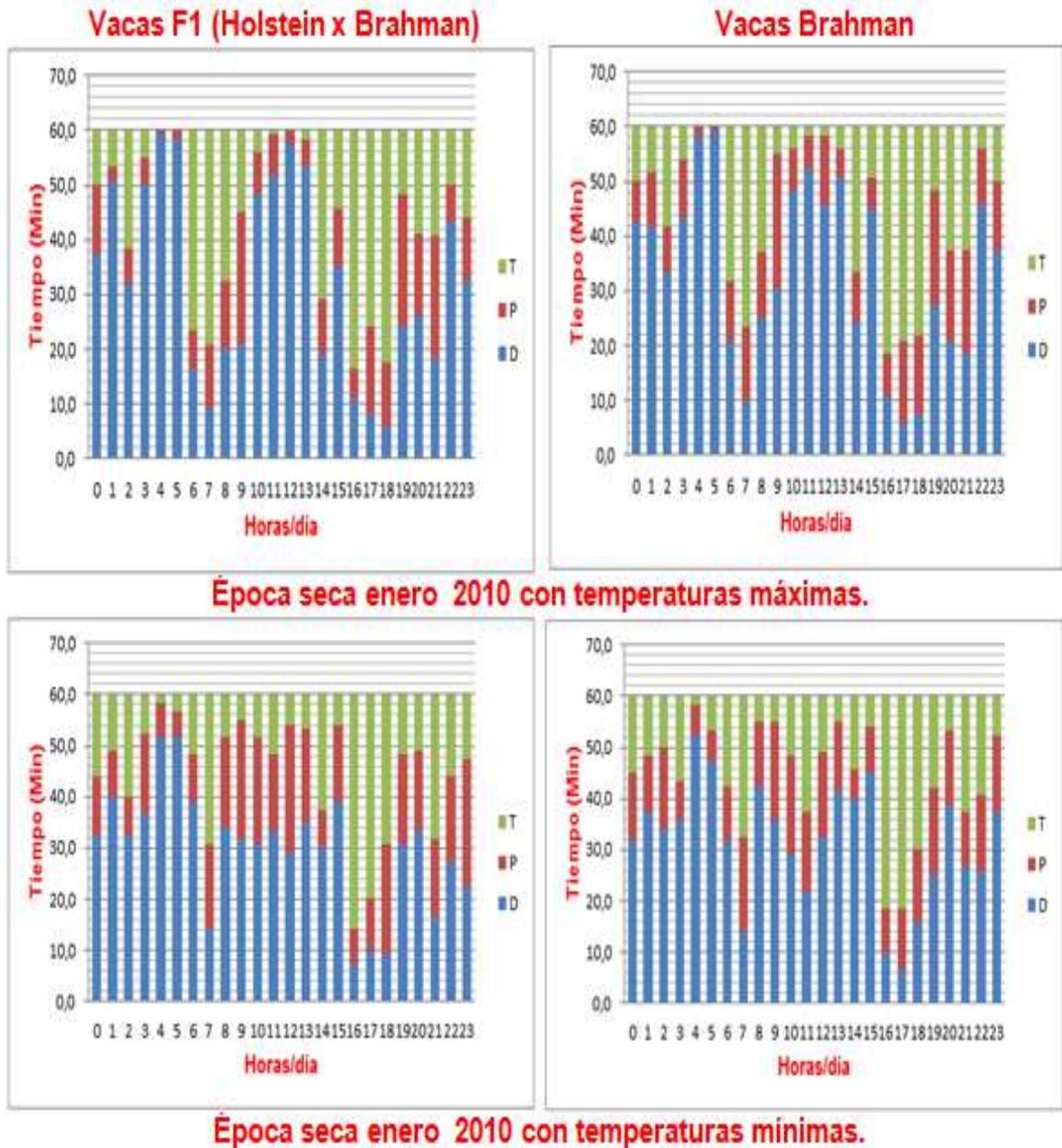
La evaluación del comportamiento categorizado en Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) de las seis (6) vacas objeto del estudio durante toda la toma de datos, mostró que entre las horas/día correspondiente a época predominantemente húmeda (Dic-2009) y época predominantemente seca (Ene-2010) que dedicaron las tres (3) vacas F1 (Holstein X Brahman) a Traslado y

Pastoreo durante los días de estudio, existen diferencias significativas, y que para las horas/día por época destinadas por las mismas tres (3) vacas a Descanso durante todo el estudio no existen diferencias significativas. El análisis del comportamiento de las tres (3) vacas Brahman durante las épocas en toda la toma de datos, para Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) mostró que entre las horas/día por época durante las cuales las vacas Brahman desarrollaron las actividades mencionadas existen diferencias significativas. (Ver tabla 3-9).

Tabla 3-9. Evaluación de comportamiento animal (Traslado, Pastoreo, Descanso) por composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época durante el estudio.

Composición racial	Actividad	Horas/día en época predominantemente húmeda Dic-2009	Horas/día en época predominantemente seca Ene-2010	(p)
		Media	Media	
F1.	Traslado	7,94	6,83	0,012
	Pastoreo	6,10	6,39	0,039
	Descanso	9,96	10,78	0,198
Br.	Traslado	9,18	6,37	0,000
	Pastoreo	5,10	6,45	0,003
	Descanso	9,72	11,18	0,000

Figura 3-19. Actividad (T: traslado, P: pastoreo) y No Actividad (D: Descanso) promedio en minutos/hora durante días con temperaturas máximas y días con temperaturas mínimas durante la época predominantemente seca (Enero 2010) para las vacas monitoreadas según su composición racial en desarrollo del estudio.



Las seis (6) vacas estudiadas se trasladaron más horas/día en época predominantemente húmeda pero pastorearon y descansaron menos horas/día en comparación con la época predominantemente seca. El monitoreo de las vacas F1 (Holstein X Brahman) durante los días de bajas (mínimas) temperaturas permitió definir que en la época predominantemente húmeda (Dic-2009) se trasladaron más horas/día y pastorearon menos horas/día en comparación con la época predominantemente seca (Ene-2010), mientras que el tiempo dedicado a descanso durante las épocas estudiadas fue similar. El monitoreo para los días de temperaturas altas (máximas) por épocas refleja comportamiento similar en las horas dedicadas por cada actividad. Las vacas Brahman en los días de temperaturas bajas para época predominantemente húmeda se trasladaron más horas/día y descansaron menos horas/día que en la época predominantemente seca, presentando un comportamiento para pastoreo muy similar en las dos épocas. En los días con temperaturas altas para época predominantemente húmeda se trasladaron más horas/día y descansaron menos horas/día en comparación con la época predominantemente seca; las horas/día para pastoreo muestran similitud en las épocas. De manera general, el análisis estadístico para los datos de Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) indica que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en las horas/día que dedican las vacas (todas) a Traslado y Pastoreo entre época predominantemente húmeda y época predominantemente seca.

El análisis estadístico para los datos de Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) de las vacas F1 (Holstein X Brahman) durante los días de bajas (mínimas) temperaturas indica que existe diferencia significativa en los minutos/hora/día que dedican las vacas a Traslado y Pastoreo entre la época predominantemente húmeda (Dic-2009) y la época predominantemente seca (Ene-2010); para Descanso no se observa diferencia significativa. Durante los días con temperatura alta (máxima) las vacas F1 (Holstein X Brahman) muestran un comportamiento similar en cuanto a los minutos/hora/día dedicados a Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) en las dos épocas evaluadas.

Tabla 3-10. Evaluación de comportamiento animal (Traslado, Pastoreo, Descanso) por composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman) y por época en días de temperatura Baja (Mínima) y Alta (Máxima) en desarrollo del estudio.

Composición racial	Temperatura	Actividad	Minutos/Hora/día	Minutos/Hora/día	(p)
			época húmeda Dic-2009 Media	época seca Ene-2010 Media	
F1.	Baja (Mínima)	Traslado	20,29	15,35	0,033
		Pastoreo	11,74	14,69	0,022
		Descanso	28,01	29,97	0,320
	Alta (Máxima)	Traslado	17,92	17,05	0,459
		Pastoreo	10,69	9,98	0,254
		Descanso	31,39	32,81	0,436
Br.	Baja (Mínima)	Traslado	22,81	15,45	0,003
		Pastoreo	12,33	12,73	0,529
		Descanso	24,9	31,71	0,001
	Alta (Máxima)	Traslado	19,20	15,56	0,060
		Pastoreo	10,59	10,94	0,896
		Descanso	29,83	33,54	0,091

En las vacas Brahman para Traslado y Descanso en días con baja (mínima) temperatura, entre las dos épocas evaluadas (Dic-2009 y Ene-2010) existe diferencia significativa en los minutos/hora/día destinados por las vacas a estas actividades, mientras que en los minutos/hora/día destinados a Pastoreo no hay diferencia significativa. En los días con temperatura alta (máxima) el comportamiento de las vacas Brahman para Traslado, Pastoreo y Descanso muestra similitud, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las mismas. (Ver tabla 3-10).

La observación en el mapa temático para el potrero en estudio de las posiciones producto del monitoreo de las vacas estudiadas en días de temperaturas bajas (mínimas) para la época predominantemente húmeda y la época

predominantemente seca (ver figuras 3-20 y 3-21) utilizando ArcGIS 9.2; muestra que las vacas en el mes de diciembre de 2009 correspondiente a la época predominantemente húmeda recorrieron todo el potrero alejándose la mayor distancia posible de los bebederos, mientras que en la época predominantemente seca correspondiente al mes de enero de 2010 las vacas se movilizaron en menor proporción, conservando menor distancia con respecto a los bebederos. Los animales presentan patrones conductuales cíclicos producto de circunstancias cambiantes en el entorno; para el caso de los bovinos en libre pastoreo expresan el ciclo natural claro-oscuro teniendo un comportamiento para pastoreo, consumo de agua, rumia y descanso en las mismas horas del día. (Curtis, 1981).

Figura 3-20. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas bajas (mínimas) en época predominantemente húmeda (Dic-2009).

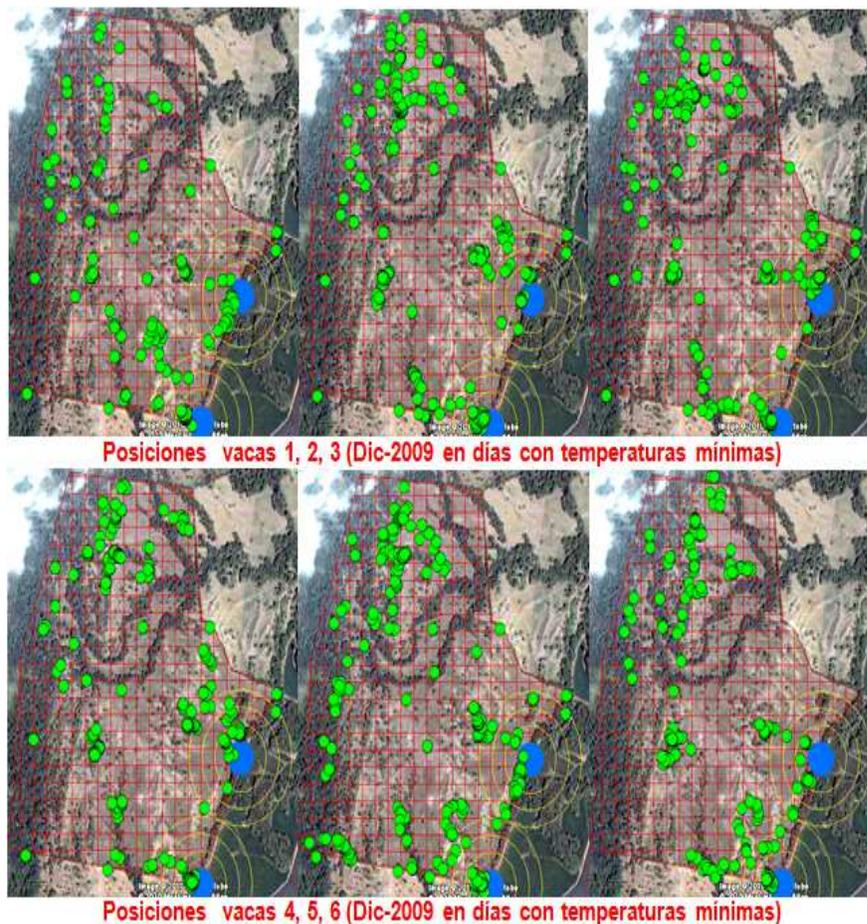
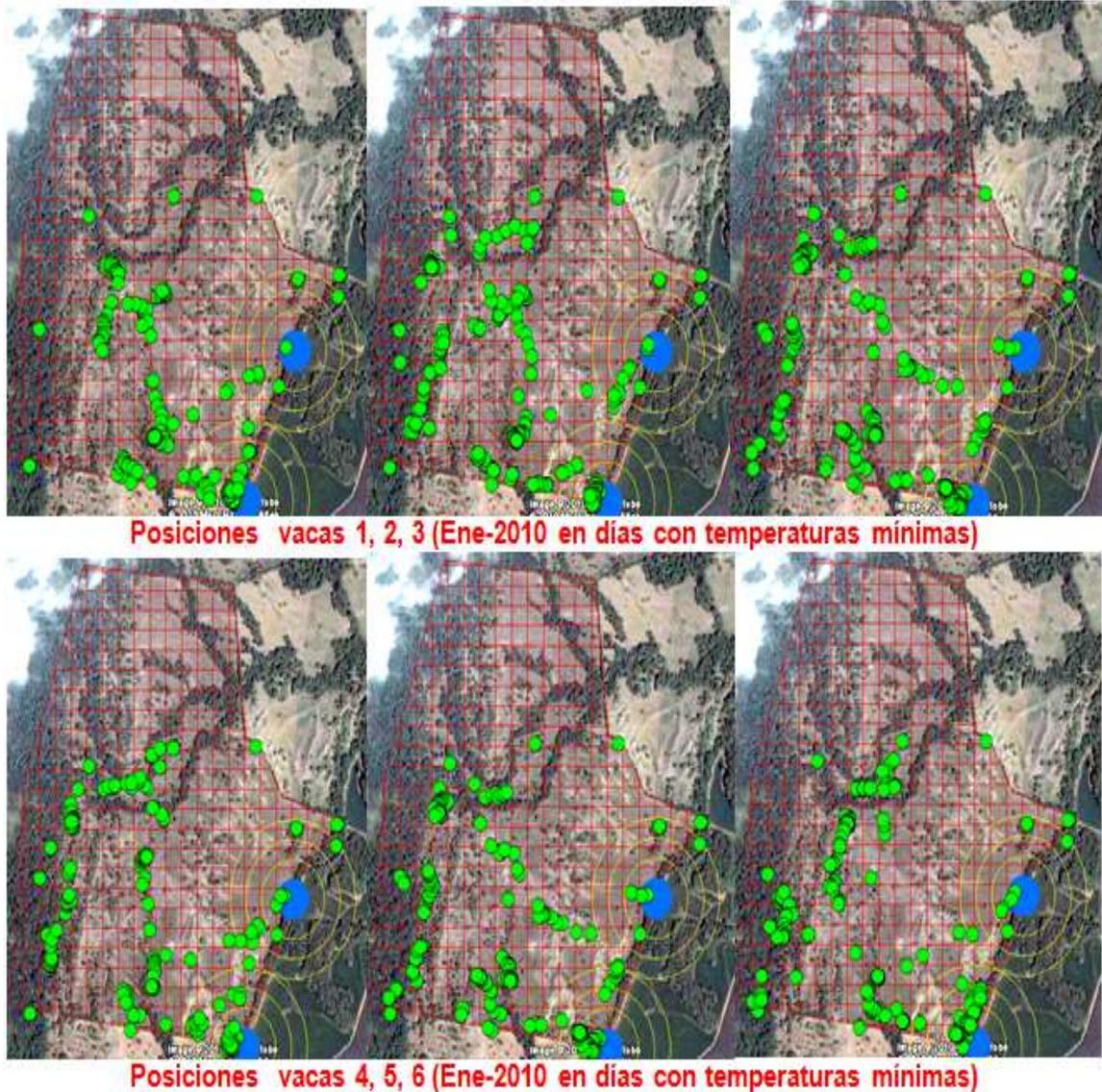


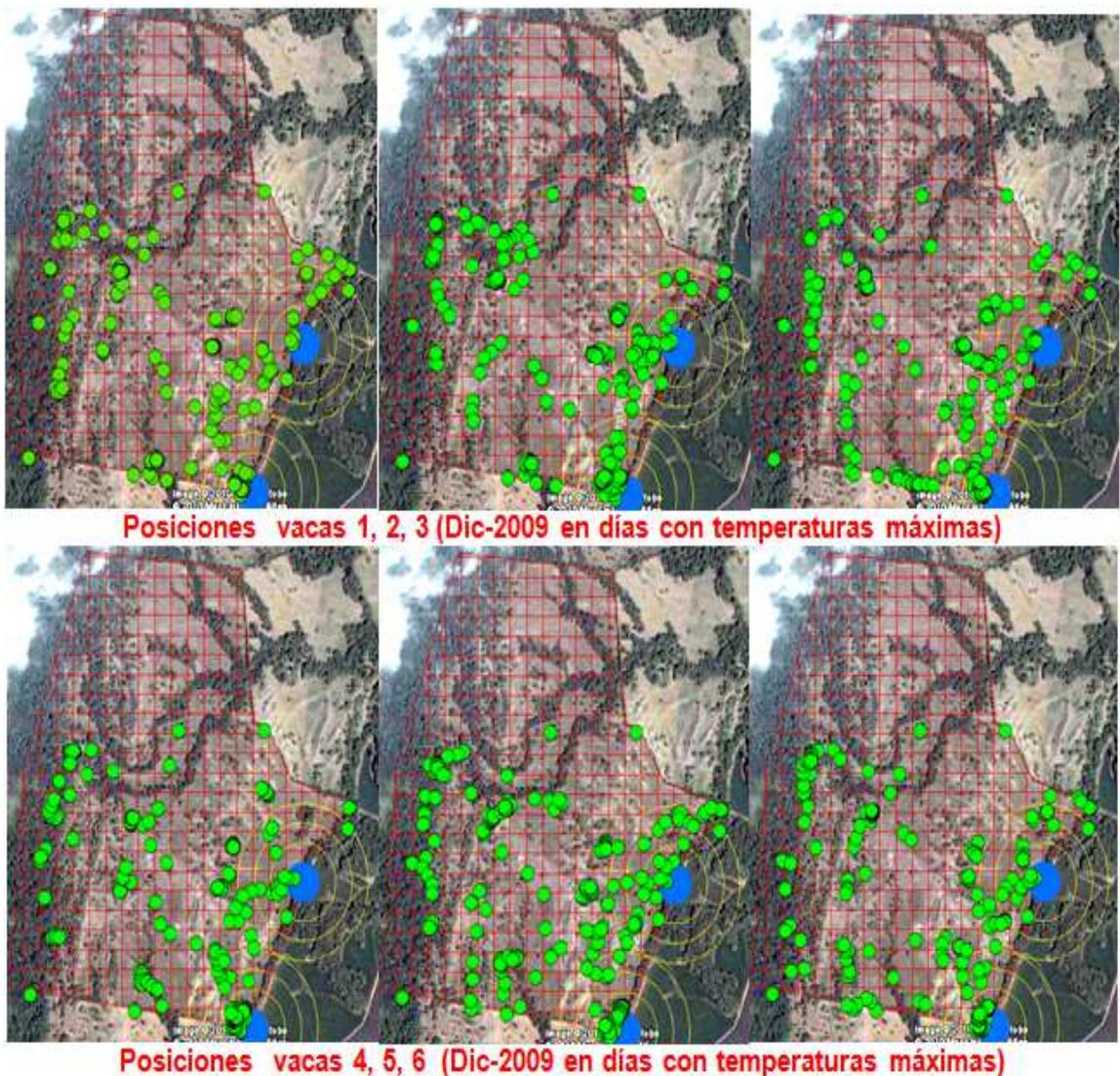
Figura 3-21. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas bajas (mínimas) en época predominantemente seca (Ene-2010).



Algunos investigadores relacionan la optimización de pastoreo con disponibilidad de agua, indicando que áreas con distancias entre 1,6 y 3,2 km con respecto a los bebederos son pastoreadas en un 50% y que áreas con distancias mayores a 3,2 km de los bebederos son consideradas como inutilizadas para pastoreo. (Holechek, 1988).

Otros estudios han demostrado que el ganado no suele utilizar zonas que se encuentren alejadas a mayor distancia de 3,2 km con relación a las fuentes de agua (Holechek *et al.*, 1998). Valentine, (1947) reporta que la utilización del forraje en un estudio realizado en Nuevo México fue del 50% a una distancia de 0,8 km, un 30% a 1,6 km, y sólo el 12% a 3,2 km con respecto al bebedero.

Figura 3-22. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas altas (máximas) en época predominantemente húmeda (Dic-2009).

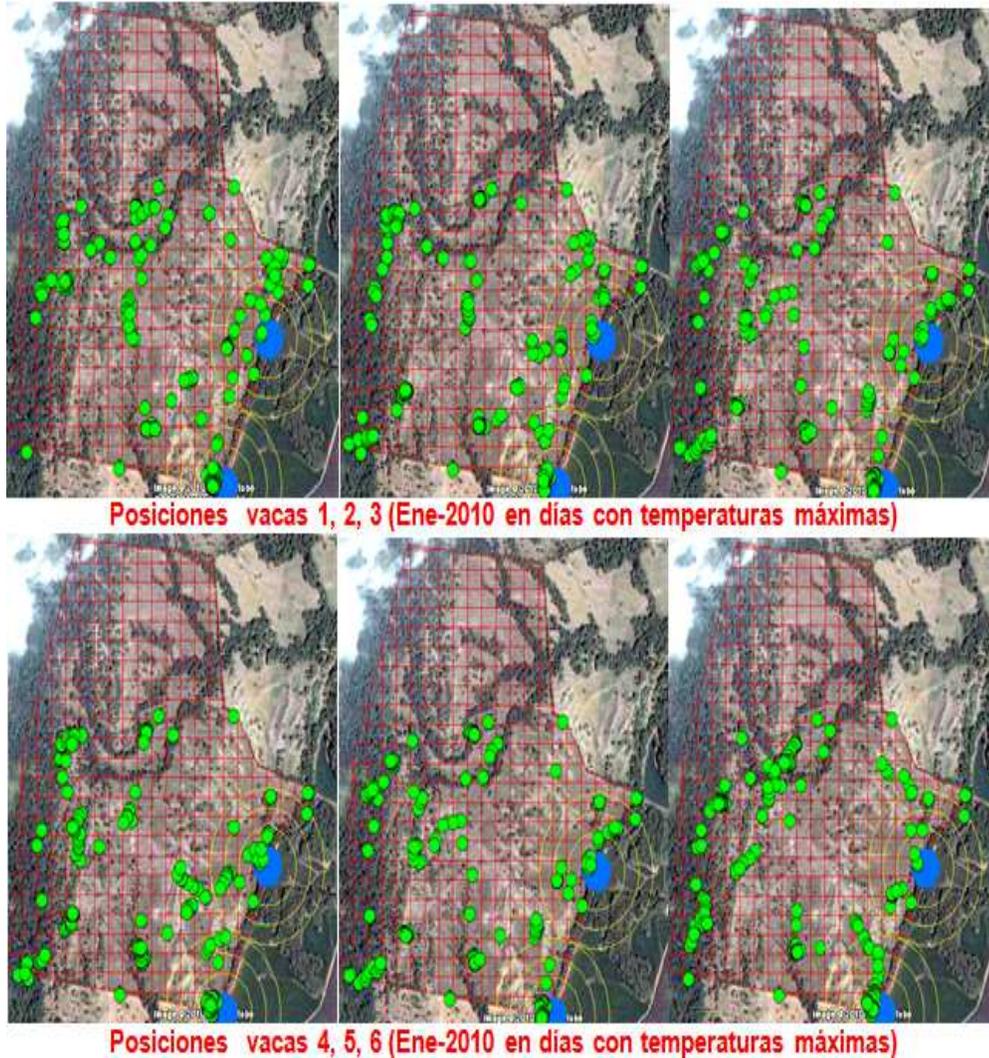


El análisis de las posiciones producto del monitoreo con GPS de las vacas estudiadas en días de temperaturas altas (máximas) durante las épocas húmeda y seca (ver figuras 3-22 y 3-23) utilizando ArcGIS 9.2 permite observar de manera general que las vacas tienen un comportamiento similar en cuanto a los recorridos, en cuanto a las áreas frecuentadas y al menor distanciamiento con respecto a los bebederos y zonas arboladas. En días calurosos los bovinos prefieren frecuentar sitios sombreados que los protejan contra la acción solar. (Pires & Carvalho, 2000).

El uso que el ganado realiza de las áreas destinadas a pastoreo está sujeto a lo cerca o lejos de la disponibilidad de agua, encontrando reportes de segmentos dados en kilómetros para explicar lo expuesto de la siguiente manera: cuando la fuente de agua se encuentra ubicada a una distancia entre 0 a 1,6 km la capacidad de pastoreo para el área de influencia es total; cuando la fuente de agua está ubicada a una distancia entre 1,6 y 3,2 km la capacidad de pastoreo para el área de influencia es del 50% y cuando la fuente de agua está ubicada a una distancia mayor de 3,2 km la capacidad de pastoreo para el área de influencia es del 0%. (Guenther *et al.*, 2000).

La evaluación del comportamiento de las vacas estudiadas con respecto a la ubicación espacial de los puntos monitoreados con GPS teniendo como referencia los círculos con radios medidos desde el centro de cada bebedero a 50, 100, 150 y 200 metros teniendo en cuenta la hora del día (7:00 y 13:00 horas), los días con temperaturas bajas (mínimas) y altas (máximas), las épocas Húmeda (Dic-2009) y Seca (Ene-2010) y la composición racial (F1 (Hs X Br) y Br) permite observar patrones de comportamiento en función de las fuentes de agua. Algunos estudios indican que el ganado puede pasar tan sólo 4 minutos del día en realidad consumiendo agua, pero que puede gastar 10 veces más de tiempo descansando alrededor de la fuente de agua. (Clawson, 1993).

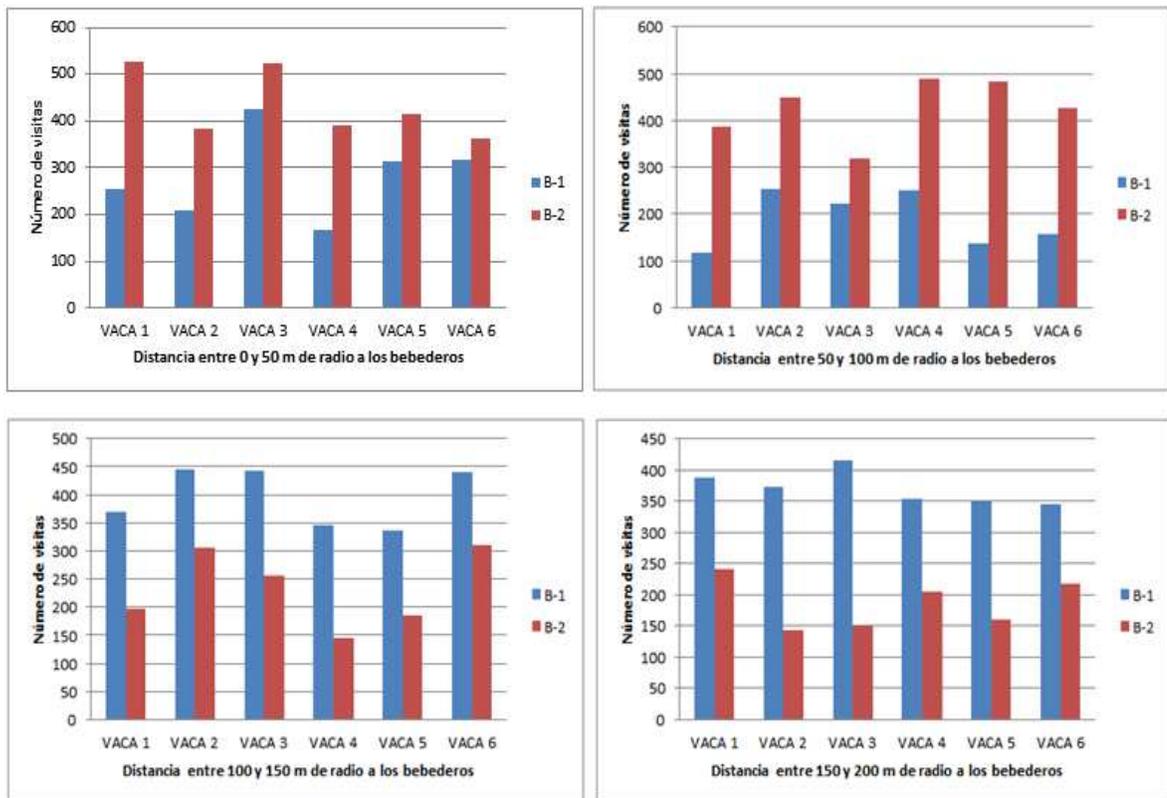
Figura 3-23. Posiciones registradas por los GPS para las seis (6) vacas estudiadas durante los días con temperaturas altas (máximas) en época predominantemente seca (Ene--2010).



En la figura 3-24 se puede observar que las vacas teniendo como punto de referencia los bebederos durante toda la toma de datos registraron mayor cantidad de posiciones en sitios que se encuentran dentro de un radio menor o igual a cien (100) metros con respecto al bebedero 2, pero cuando el radio aumenta de cien (100) a doscientos (200) metros la mayor cantidad de posiciones registradas se encuentran concentradas en sitios de influencia del bebedero 1. La preferencia espacial por parte del ganado a la hora de consumir agua ha sido estudiada por

algunos investigadores; encontrando que existe un comportamiento diferenciado del ganado en función de algunos tipos de bebederos (artificiales y naturales) implementados por los ganaderos (Miner *et al.*, 1992).

Figura 3-24. Número de visitas realizadas por las seis (6) vacas durante la toma de datos a los bebederos 1 y 2 teniendo en cuenta las distancias categorizadas (0 a 50m, entre 50 a 100m, entre 100 y 150m y entre 150 y 200m de radio desde cada bebedero) en desarrollo del estudio.



La evaluación de los puntos producto del monitoreo sobre el mapa temático permite observar que las vacas estudiadas no mostraron preferencia en cuanto al bebedero 1 o 2 cuando hicieron uso de ellos a las 7:00 horas, pero cuando visitaron los bebederos a las 13:00 horas si se observa preferencia por el bebedero 2. La preferencia por el bebedero 2 a las 13:00 horas se puede explicar posiblemente debido a dos situaciones: por un lado las altas temperaturas que se presentan en la zona del potrero en estudio a las 13:00 horas generan condiciones donde el bovino

prefiere beber, descansar y rumiar por periodos largos de tiempo. Bavera, (2009) plantea que cuando el calor en las zonas de pastoreo es intenso sobrepasando los 32°C los bovinos pueden pasar hasta 8 horas (des de las 9-10 h hasta las 16-17 h) en las proximidades de los bebederos, rumiando, descansando y bebiendo. Este comportamiento descrito permite exponer la segunda situación y es que el bovino se estresa muy fácil con eventos que ocasionen ruidos diferentes a los de su entorno natural, condición que le obliga a buscar sitios más tranquilos dentro del potrero donde pueda beber, rumiar y descansar por largos periodos de tiempo con la menor interferencia posible, situación que para este caso mitiga teniendo preferencia a las 13:00 horas por áreas cercanas al bebedero 2 el cual está ubicado en una zona más distante de las vías principales y secundarias con menor tránsito de personas y maquinaria agrícola. Algunos investigadores reportan que los animales en pastoreo son muy susceptibles a episodios de estrés debido a eventos relacionados con ruido (Price *et al.*, 1993). Waynert *et al.*, (1999) mencionan que los alaridos o chiflidos de la gente genera en los animales más estrés que las puertas metálicas cuando se cierran.

El consumo de agua está condicionado a factores como; temperatura ambiente y del agua, estado fisiológico, raza, peso del animal, actividad, precipitación, calidad de alimento y oferta hídrica. En potreros de alta disponibilidad de biomasa en periodos vegetativos óptimos los vacunos disminuyen el consumo de agua, pero en casos donde la temperatura aumenta y la oferta forrajera es más seca el consumo de agua es mayor (Arnold y Dudzinski, 1978).

Los datos evaluados estadísticamente para el número de visitas a los dos (2) bebederos de las vacas F1 (Holstein por Brahman) a las 7:00 y 13:00 horas y de las vacas Brahman a las 7:00 horas indican que durante las horas de análisis existe similitud en cuanto al número de visitas realizadas por las vacas a los dos (2) bebederos, mientras que para el número de visitas de las vacas Brahman a las 13:00 horas al bebedero 1 y al bebedero 2 se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.004$) ver tabla 3-11.

El número de visitas registradas por épocas predominantemente húmeda y predominantemente seca a las 7:00 y a las 13:00 horas permite observar mayor número de visitas al bebedero 2 a las 13:00 horas en las dos épocas, mientras que a las 7:00 horas se observa similitud en el número de visitas a los dos bebederos durante las épocas. El estudio estadístico del número de visitas a los bebederos teniendo en cuenta la época predominantemente Húmeda (Dic-2009) y la época predominantemente seca (Ene-2010) a las 7:00 y 13:00 horas tiene un valor ($p=0.028$) para el número de visitas al bebedero 1 y al bebedero 2 en época predominantemente húmeda (Dic-2009) a las 13:00 horas, lo que indica que existe diferencia significativa en el número de visitas a los bebederos 1 Y 2 en época predominantemente húmeda a las 13:00 pm. Para la época predominantemente seca (Ene-2010) a las 7:00 y 13:00 horas y la época predominantemente húmeda a las 7:00 horas no existe diferencia significativa en el número de visitas a los bebederos (ver tabla 3-11).

El análisis de las visitas a los bebederos en función de los días con altas (máximas) y bajas (mínimas) temperaturas a las 7:00 y las 13:00 horas indica que a las 13:00 horas para los días con altas y bajas temperaturas el número de visitas al bebedero 2 fue mayor y que a las 7:00 horas con temperatura alta el número de visitas al bebedero 1 fue superior mientras que con temperatura baja a la misma hora el bebedero 2 fue el más visitado. Los datos de número de visitas a los bebederos en función de los días con bajas (mínimas) y altas (máximas) temperaturas muestran estadísticamente un valor ($P<0.05$) para el número de visitas al bebedero 1 y bebedero 2 con bajas (mínimas) temperaturas a las 7:00 y 13:00 horas y con altas (máximas) temperaturas a las 7:00 horas; expresando que existe diferencia significativa entre el número de visitas a los bebederos 1 y 2 en las horas y épocas mencionadas. Los datos correspondientes al análisis estadístico del número de visitas a los bebederos 1 y 2 a las 13:00 horas con alta (máxima) temperatura, muestran que a esa hora y con esa temperatura no hay diferencia en el número de visitas a los bebederos 1 y 2 (ver tabla 3-11).

Las posiciones registradas por las vacas teniendo como referencia diferentes distancias con respecto a cada bebedero a las 7:00 y a las 13:00 horas muestra que cuando la distancia es inferior o igual a 100 m a las 13:00 horas el número de posiciones registradas en torno al bebedero 2 es superior, pero cuando la distancia con respecto a los bebederos es mayor a 100 metros el bebedero 1 presenta un número superior de posiciones registradas. Este comportamiento sigue mostrando que las vacas bajo las condiciones evaluadas prefieren estar alejadas del bebedero 1 debido a su ubicación espacial que implica tener vías, caminos y lotes agrícolas con constante flujo de personas y maquinaria; situaciones que perturban al bovino. Además teniendo en cuenta la clasificación dada a los bovinos en algunos estudios en cuanto a sus hábitos de pastoreo en función de las fuentes de agua, las vacas del estudio se clasifican como no caminantes debido a que una vez consumen agua no se alejan distancias importantes de las zonas de bebedero.

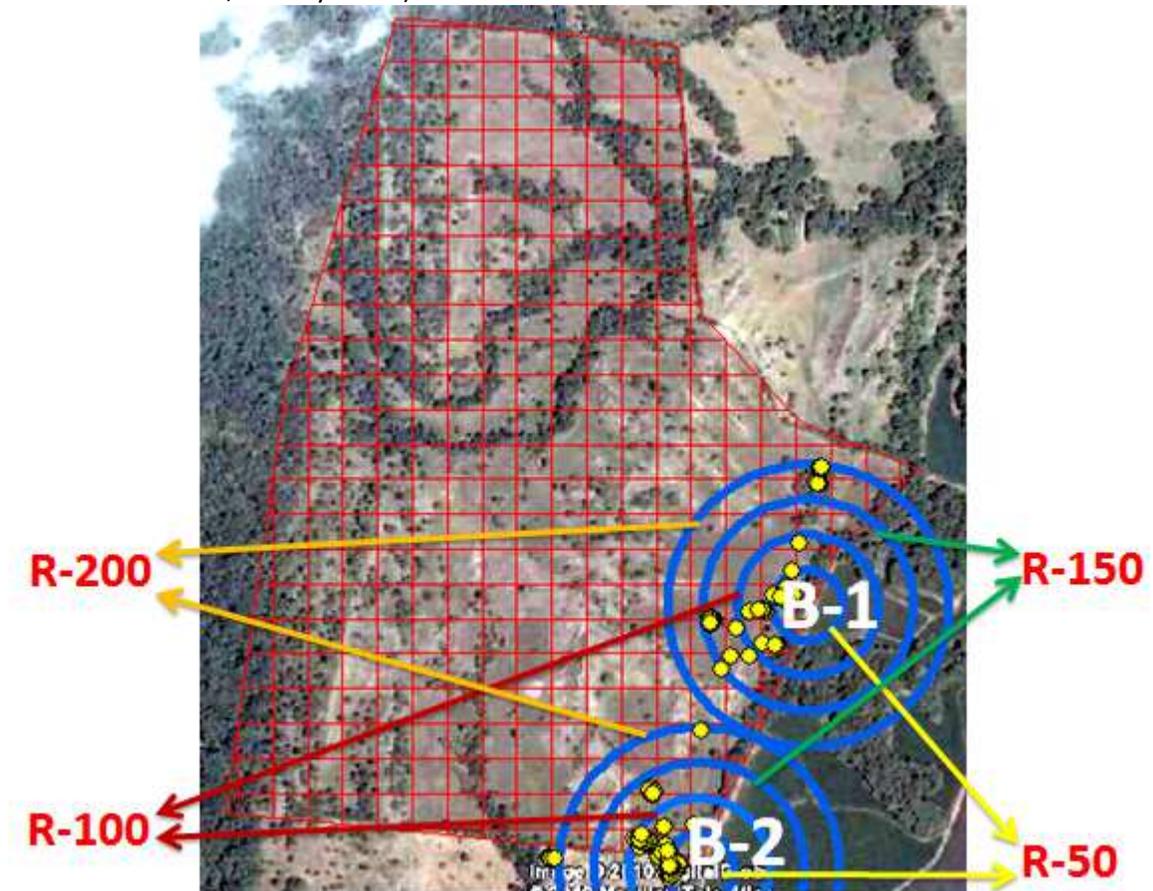
Algunos estudios clasifican el comportamiento de bovinos bajo condiciones de pastoreo extensivo en bovinos caminantes y no-caminantes, los bovinos caminantes se caracterizan por desplazarse hasta 9 Km por rutas bien definidas hacia las áreas elegidas para pastoreo después de ingerir agua, mientras que los bovinos no-caminantes una vez ingieren agua comienzan a pastorear aproximadamente a 200 metros del bebedero. (Squires, 1981).

Tabla 3-11. Evaluación de comportamiento animal en función de las visitas a bebederos a las 7:00 y 13:00 horas según composición racial (F1: Holstein x Brahman, Br: Brahman), época y temperatura.

Variable		Hora	Número visitas bebedero1 Media	Número visitas bebedero2 Media	(p)
Composición racial	F1.	7	1,6	1,8	0,808
		13	2,2	2,6	0,574
	Br.	7	1,6	1,9	0,725
		13	1,6	2,6	0,004
Época predominante	Húmeda	7	1,6	1,7	0,730
	Dic-2009	13	1,8	2,7	0,028
	Seca	7	1,6	2,1	0,671
	Ene-2010	13	2,0	2,5	0,260
Temperatura	Bajas (Mínimas)	7	1,5	2,6	0,040
		13	1,2	2,6	0,015
	Altas (Máximas)	7	2,1	1,1	0,008
		13	1,5	2,5	0,335

El análisis del número de visitas a los bebederos 1 y 2 a las 13:00 horas a un radio de 0 a 50 y de 50 a 100 m respectivamente mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), estas diferencias se deben posiblemente a que el bebedero 2 se encuentra más retirado de áreas y caminos de uso frecuente en actividades mecanizadas y de labores culturales en cultivos agrícolas, proporcionando a los bovinos condiciones de mayor confort mientras pasan las horas en las que la temperatura ambiente tiene más incidencia, situación que explica por qué a esa hora y a esa distancia los registros de posiciones de las vacas son mayores alrededor del bebedero 2. La figura 3-25 permite observar que las vacas estudiadas a las 13:00 horas presentan mayor número de posiciones alrededor del bebedero 2 a un radio de 0 a 100m y que cuando el radio aumenta los 100m las posiciones son mayores alrededor del bebedero 1.

Figura 3-25. Posiciones registradas por los GPS para las vacas estudiadas a las 13:00 horas teniendo en cuenta diferentes radios desde los bebederos B-1 y B-2 (50m, 100m, 150m y 200m).



El análisis del número de visitas al bebedero 1 y al bebedero 2 en función de las distancias categorizadas (diferentes radios en metros desde los bebederos) a las 7:00 am no mostró diferencia estadísticamente significativa, indicando que a esa hora el movimiento de las vacas dentro del área de estudio teniendo como referencia los bebederos tuvo similitud. Este comportamiento observado sugiere que el aprovechamiento del forraje disponible en el potrero evaluado fue muy eficiente si se tiene en cuenta lo reportado por Guenther *et al.*, (2000) en cuanto a que la capacidad de pastoreo para el área de influencia es total cuando la fuente de agua está ubicada entre un radio de 0 a 1,6 km, condición que de manera general se observa en el área de estudio debido a que la distancia en línea recta más retirada

desde los bebederos al perímetro del potrero se encuentra dentro de un radio inferior a 1,6 km.

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.4.1 Conclusiones

El monitoreo de las vacas con GPS facilita la evaluación del comportamiento animal, sorteando con estas tecnologías situaciones que hasta hace pocos años eran impedimento para un seguimiento continuo de grandes animales; barreras naturales y agotamiento de investigadores debido a largas y extenuantes jornadas de seguimiento visual. Por otra parte el uso de receptores para GPS en bovinos una vez pasa el periodo de acostumbramiento no altera el comportamiento gregario habitual de la especie. Las distancias recorridas promedio por día de las seis vacas objeto del estudio permiten observar que las vacas bajo las condiciones del potrero en que fueron monitoreadas recorren distancias similares de manera general, pero cuando se evalúa las distancias recorridas teniendo en cuenta los días con temperaturas máximas y mínimas en función de la época y la raza se evidencian diferencias en el comportamiento de las vacas.

La ubicación espacial sobre el mapa temático para cobertura arbórea de las posiciones registradas a partir del monitoreo con GPS de las vacas estudiadas, indica que las áreas con mayor número de registro de posiciones (77%) son aquellas que se encuentran categorizadas entre 0 y 40% de cobertura arbórea, mostrando de esta manera un patrón de comportamiento preferencial en función de paisajes con coberturas de bajas a intermedias bajo las condiciones del potrero estudiado.

El comportamiento de las vacas estudiadas para Actividad (Traslado + Pastoreo) y No Actividad (Descanso) en función de máximas y mínimas temperaturas entre época predominantemente húmeda y época predominantemente seca permite

observar que el tiempo dedicado en horas a estas actividades por estas vacas es variado. Con máximas y mínimas temperaturas en época predominantemente húmeda los lapsos de tiempo más pronunciados destinados a traslado se observan durante las 6 y 7 de la mañana y entre las 4 y 6 de la tarde mientras que en la época predominantemente seca se observan a las 8 de la mañana y entre las 5 de la tarde y las 7 de la noche. Para pastoreo la mayor proporción de tiempo dedicado con máximas y mínimas temperaturas en época predominantemente húmeda se presentó entre las 11 de la mañana y las 12 del día y en época predominantemente seca a las 10 de la mañana y las 8 de la noche. Para descanso se observó diferencia por época y por máximas y mínimas temperaturas, presentando proporciones de tiempo mayores dedicadas a descanso entre las 11 y 2 de la tarde durante los días con temperaturas máximas y mínimas. Estas observaciones permiten dimensionar la importancia de las variables climáticas en el comportamiento animal y lo significativo que resultar ser el componente leñoso como actor capaz de generar microclimas sinónimos de confort en pasturas del trópico.

El análisis realizado en el mapa temático para el potrero en estudio de las posiciones producto del monitoreo de las vacas estudiadas en días de temperaturas mínimas para la época predominantemente húmeda y la época predominantemente seca utilizando ArcGIS 9.2; muestra que las vacas en el mes de diciembre de 2009 correspondiente a la época predominantemente húmeda recorrieron todo el potrero alejándose la mayor distancia posible de los bebederos, mientras que en la época predominantemente seca correspondiente al mes de enero de 2010 las vacas se movilizaron en menor proporción conservando menor distancia con respecto a los bebederos, por otra parte el análisis para los días de temperaturas máximas durante las épocas predominantemente húmeda y predominantemente seca permite observar que las vacas tienen un comportamiento similar en cuanto a los recorridos, en cuanto a las áreas frecuentadas y al menor distanciamiento con respecto a los bebederos y zonas arboladas; circunstancias que dejan percibir la ingerencia de los bebederos, la temperatura y la cobertura arbórea en el comportamiento bovino.

El uso conjugado de la observación visual y las herramientas para Sistema de Información Geográfica permite realizar estudios más detallados del paisaje, que aportan significativamente en la implementación de modelos ganaderos que involucren la producción sostenible, el confort animal y la protección y conservación del medio ambiente a partir de la óptima utilización de las coberturas arbóreas y herbáceas que componen los sistemas de producción bovina en nuestro medio.

3.4.2 Recomendaciones

Evaluar el comportamiento bovino con la ayuda de herramientas tecnológicas (SIG, GPS, GPRS) bajo condiciones de sistemas agroforestales pecuarios en las diferentes zonas de vida de los países tropicales, con el objeto de identificar y comparar los patrones de comportamiento en función de las diferentes coberturas arbóreas y herbáceas, buscando de esta manera la generación de alternativas científicamente válidas que propendan por la eficiencia de los sistemas de producción bovina.

Desarrollar investigaciones que evalúen la relación entre la cobertura arbórea y el comportamiento animal bovino en potreros arbolados del trópico que involucren las razas criollas colombianas; teniendo en cuenta las bondades en términos de adaptación al medio que estas presentan, potenciando de esta manera ese recurso genético tan importante.

BIBLIOGRAFÍA

A. M. Lipka, A.M., Bailey, D.W., Lunt, S.T., Thomas M., and Russell, M. 2011. Grazing distribution patterns of beef bulls and cows during the breeding season in Central New México. Corona Range and Livestock Research Center.

Aparicio, M.A.; Atkinson, A.; Prieto, L.; Robledo, J.; González, F.; Vargas, J.D.; Andrada, J.A., 2007. Monitorización del pastoreo en sistemas extensivos. *Pequeños Rumiantes*, 8 (3), 27-36.

Arnold, G. W.; Dudzinski, M. L. 1978. Ethology of free-ranging domestic animals. Amsterdam: Elsevier Scientific. 192p.

Aspinall, R.J. 2002. Use of logistic regression for validation of maps of the spatial distribution of vegetation species derived from high spatial resolution hyperspectral remotely sensed data. *Ecological Modelling* 157:301-312.

Bartolomé Rodríguez, D.J.; García García, J.; Posado Ferreras, R.; Olmedo de la Cruz, S.; Alonso de la Varga, M.; Vargas Giraldo, J.; Aparicio Tovar, M.A.; Gaudioso Lacasa, V., 2008. Aplicación de las nuevas tecnologías GPS-GPRS para el estudio del comportamiento y mejora de la producción del ganado vacuno extensivo. *Tierras*, 143, 62-66.

Bavera, G.A. 2009. Aguas y Aguadas para el ganado, 3ª Ed. del autor, Río Cuarto, pag. 36-40.

huvioco, E. 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona: Ariel, 586 p.

Clawson, J. E. 1993. The use of off-stream water developments and various water gap configurations to modify the watering behavior of cattle. M.S. Thesis, Oregon State.

Curtis, S. E. 1981. Environment management in animal agriculture. Illinois: Animal Environment Services. 430p.

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. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Fraser, A. F., Broom, D. M. 1990. *Farm Animal Behaviour and Welfare*. 3. Ed., London: Bailliere Tindall, 437p

Frost, A.R.; Schofield, C.P.; Beulah, S.A.; Mottram, T.T.; Lines, J.A.; Wathes, C.M., 1997. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and Electronic in Agriculture*, 17, 139-159.

Ganskopp, D. 2001. Manipulating cattle distribution with salt and water in large arid-land pastures: a GPS/GIS assessment. *Applied Animal Behaviour Science*. 73, 251-262.

Ganskopp, D., R. Cruz, and D.E. Johnson. 2000. Least-effort pathways?: a GIS analysis of livestock trails in rugged terrain. *Applied Animal Behaviour Science* 68:179-190.

Garvin L.E. Henriksen, S.W. Liskov, N.A. Pascucci R.P. & Ziolkowski F. 1972. Satellite wildlife research program, final technical report. NASA Report TR-1424

Gary, L. A., G. W. Sherritt and E. B. Hale. 1970. Behavior of Charolais cattle on pasture. *J. Anita. Sci.* 30:203.

Grandin, T. (1980a) Livestock behavior as related to handling facilities design. *International Journal for the Study of Animal Problems* 1, 33-52.

Grandin, T. (1980b) Observations of cattle behavior applied to the design of cattle handling facilities. *Applied Animal Ethology* 6, 19-31.

Guariguata, M.; Kattan, G. H. (compiladores). 2002. *Ecología y conservación de Bosques*.

Guenther, K.S., G.E. Guenther, and P.S. Redick. 2000. Expected-Use GIS maps. *Rangelands* 22:18-20.

Hall, M. 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. *Howard`s Dairyman*. May. 2000. pp 344.

Holdridge, LR., 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).

Holechek, J.L. 1988. An approach to setting the stocking rate. *Rangelands* 10:10-14.

Holechek, J.L., R.D. Pieper, & C.H. Herbel. 1998. Chapter 10: Methods of Improving Livestock Distribution in Range Management: Principles and Practices, 3rd Ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Hulbert, I.A.R.; French, J. 2001. The Accuracy of GPS for Wildlife Telemetry and Habitat Mapping. *J. Appl. Ecol.* 38, 869-878.

Johnson, D.E., Wilson, M., Wilson, K.D., Larson, L.L., Williams, J., Ndzeidze, S.K., Del Curto, T. and Clark, P.E. 2009. Spatial Behavior and Distribution of Cattle Grazing Riparian Zones in Northeastern Oregon. 3,4p.

Karfs, R.A.; Wallace, J.F. 2001. An analysis of temporal change at rangeland monitoring sites using remote sensing in north west Australia. In *Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Sydney, Australia, July 9-13.

Kenward, R. 1987. *Wildlife radio tagging*. Academic Press. London.

Kjellqvist, S. 2008. Determining Cattle Pasture Utilization Using GPS-collars. 6p. Lipka, A.M., Bayley, D.W., Lunt, S.T., Thomas, M. and Russell, M. 2011. Grazing distribution patterns of beef bulls and cows during the breeding season in central New Mexico. 2p.

Martin, P. y Bateson, P. 1991. *La medición del comportamiento*. Alianza Universidad. Versión española de Fernando Colmenares, 1º edición. Ed. Alianza. Madrid - España.

McNaughton, S.J. 1983. Serengeti grassland ecology: The role of composite environmental factors and contingency in community organization. *Ecological Monographs* 53:291-320.

Miner, J.R., J.C. Buckhouse, and J.A. Moore. 1992. Will a water trough reduce the amount of time hay-fed livestock spend in the stream (and therefore improve water quality)? *Rangelands. Soc. for Range Management.* 14(1): 35-38.

Nilsen, A.R., Skarpe, C., y Moe, S., 2009. La conducta del ganado con respecto a la distancia a los árboles en Muy Muy, Nicaragua. *Agroforesteria en las Américas* N° 47 2009. 63-67p.

Pires, M. F. A.; Carvalho, M. M. 2000. Sombra natural empastagem. *Revista Glória Rural, São Paulo*, v. 3, p. 22-26.

Price, S., Sibley, R.M. y Davies, M.H. 1993. Effects of behavior and handling on heart rate in farmed red deer. *Applied Animal Behavior Science* 37, 111-123.

Putfarken, D., Dengler, J., Lehmann, S., and Haardt, W., 2008. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. Institute of Ecology and Environmental Chemistry, Leuphana University Lüneburg, Scharnhorststr.1, D-21335 Lüneburg, Germany. *Applied Animal Behaviour Science* 111: 54–67.

Putfarken, D., Dengler, J., Lehmann, S., and Haardt, W., 2008. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. Institute of Ecology and Environmental Chemistry, Leuphana University Lüneburg, Scharnhorststr.1, D-21335 Lüneburg, Germany. *Applied Animal Behaviour Science* 111: 54–67.

Restrepo Sáenz, C. 2002. Relación entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 44p.

Roca, A.J. 2011. Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. p 23.

Salvador, A. 2010. Documento técnico efecto del estrés calórico en vacas lecheras en (línea). Disponible en: <http://www.dpa.com.ve/documentos/cd1/page12.html>. Consultado el 8 de diciembre del 2010.

Scarnecchia, D. L., A. S. Nastis, and J. C. Malechek. 1985. Effects of forage availability on grazing behavior of heifers. *J. Range Manage.* 38:17.

Senft, R.L., Coughenour, M.B., Bailey, D.W., Rittenhouse, L.R., Sala, O.E., Swift, D.M., 1987. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *Bioscience* 37:789-795.

Squires, V. 1981. *Livestock Management in the Arid Zone*. Inkata Press. Melbourne, Sydney and London.

Turner, L.W., M.C. Udall, B.T. Larson, and S.A. Shearer. 2000. Monitoring cattle behavior and pasture use with GPS and GIS. *Canadian Journal of Animal Science* 80: 405-413.

Ungar, E.D., Schoenbaum, I., Henkin, Z., Dolev, A., Yehuda, Y. and Brosh, A. 2011. Inference of the activity timeline of cattle foraging on a mediterranean woodland using GPS and pedometry. *Sensors*. 11: 362-383

Ungar, E.D.; Henkin, Z.; Gutman, M.; Dolev, A.; Genizi, A.; Ganskopp, D. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. *Rangel. Ecol. Manag.* 58, 256-266.

Valentine, K.A. 1947. Distance from water as a factor in grazing capacity of rangelands. *Journal of Forestry* 10:749-754.

Vavra, M., and D. Ganskopp. 1998. Grazing behavior in ungulates: current concepts and future challenges. *Annals of Arid Zone* 37:319-335.

Walker, J.W., R.K. Heitschmidt. And S.L. Dowhower. 1989. Some effects of a rotational grazing treatment on cattle preference for plant communities. *J. Range Manage.* 42:143-148.

Waynert, D.E., Stookey, J.M., Schwartzkopf-Gerwein, J.M., Watts, C.S. y Waltz, C.S. 1999. Response of beef cattle to noise during handling. *Applied Animal Behavior Science* 62, 27-42.

Williams, B., Walsh, M., Gormally, M., WALLS, S. and Sheahan, J. 2010. Resource selection by hill sheep: direct flock observations versus gps tracking. 4p.

Wilson, S.J., C.J. Kirby, A.T. Koenigsfeld, D.H. Keisler and M.C. Lucy. 1998. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. *J. Dairy Sci.*, 81: 2132-2138

Zuo, HT; Miller-Goodman, MS. 2004. Landscape use by cattle affected by pasture developments and season. *Journal of Range Management* 57:426-434.

ANEXOS

A. Anexo: Geo-referenciación con GPS submétrico.



B. Anexo: Especies arbóreas del potrero en estudio.

No.	Especie
1	Caucho (<i>Ficus</i> sp.)
2	Algarrobo hediondo (<i>Anagris foetida</i>)
3	Cují (<i>Prosopis juliflora</i>)
4	Matarratón (<i>Gliricidia sepium</i>)
5	Payande (<i>Pithecellobium dulce</i>)
6	Totumo (<i>Crescentia cujete</i>)
7	Bayo (<i>Senegalia affinis</i>)
8	Chicala (<i>Tabebuia chrysantha</i>)
9	Mortesino (<i>Ocotea amazonica</i>)
10	Guacharaco (<i>Cupania americana</i>)
11	Igua (<i>Pseudosamanea guachapele</i>)
12	Tachuelo (<i>Zanthoxylum caribaeum</i>)
13	Varasanta (<i>Triplaris americana</i>)
14	Ondequera (<i>Casearea corymbosa</i>)
15	Limón de cerca (<i>Swinglia glutinosa</i>)
16	Dormilón (<i>Pentaclethra macroloba</i>)
17	Palma de vino (<i>Sheelea magdalenensis</i>)
18	Angarillo (<i>Chloroleucon bogotense</i>)
19	Baho (<i>Platymiscium hebestachyum</i>)
20	Guásimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)
21	Diomate (<i>Astronium graveolens</i>)

C. Anexo: muestreo destructivo de la pastura.



D. Anexo: Análisis de varianza para producción de MS/ha/corte/cobertura.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columnal	10	0,99	0,99	1,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1854592,60	4	463648,15	237,15	<0,0001
TTO	1854592,60	4	463648,15	237,15	<0,0001
Error	9775,50	5	1955,10		
Total	1864368,10	9			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1955,1000 gl: 5

TTO	Medias	n	E.E.	
3,00	3457,50	2	31,27	A
5,00	3529,50	2	31,27	A
4,00	3539,50	2	31,27	A
1,00	4161,00	2	31,27	B
2,00	4541,00	2	31,27	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

E. Anexo: Imagen del satélite Quikbird de Digital Globe para Google Earth

