



INFLUENCIA DEL MICROCLIMA GENERADO POR EL PELÁ (*Vachellia farnesiana* (L.)
Wight & Arn.), SOBRE EL ESTRÉS CALÓRICO EN BOVINOS DOBLE PROPÓSITO Y SU
RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN LA FINCA “SANTA LUCÍA”,
NATAGAIMA-TOLIMA.

STEFFANY DE LA ROSA ROMERO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA
FEBRERO DE 2017
BOGOTÁ D.C.

INFLUENCIA DEL MICROCLIMA GENERADO POR EL PELÁ (*Vachellia farnesiana* (L.)
Wight & Arn.), SOBRE EL ESTRÉS CALÓRICO EN BOVINOS DOBLE PROPÓSITO Y SU
RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN LA FINCA “SANTA LUCÍA”,
NATAGAIMA-TOLIMA.

STEFFANY DE LA ROSA ROMERO
Estudiante de Ingeniería Agroecológica

Tesis de grado para optar al título de Ingeniera en Agroecología

DIRECTOR:
LLINA CONSUELO REYES CASTAÑO
M.V. M.Sc. Ciencias Agropecuarias

COORDIRECTOR:
JONHY ALEXANDER HIDALGO MARTÍN
I.A. M.Sc. Agroforestería Tropical

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA
BOGOTÁ D.C.

2017

Contenido

Dedicatoria	8
Agradecimientos	9
Resumen	10
Introducción	14
1. Problemática	17
1.1.Problema de investigación.....	17
1.1.1. El estrés calórico en Bovinos.....	17
1.1.2. Efectos de la variabilidad climática en los sistemas productivos ganaderos en Colombia.....	17
1.1.3. Mitigación de los efectos climáticos en los sistemas productivos ganaderos.....	19
1.2.Justificación.....	20
1.2.1. Importancia de la ganadería bovina en Colombia.....	20
1.2.2. Importancia de la presencia de árboles en la mejora de la actividad ganadera en el municipio.....	21
1.3.Objetivo general.....	22
1.3.1. Objetivos específicos.....	22
2. Marco Teórico	23
2.1.El Clima.....	23
2.1.1. Elementos y variables climatológicas.....	23
2.1.2. Variabilidad climática.....	24
2.2.Agricultura natural.....	25
2.3.Agroforestería.....	26
2.4.Sistemas Silvopastoriles a partir de la regeneración natural.....	28
2.5.El Pelá (<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn., 1834).....	29
2.6.Producción bovina doble propósito en el trópico bajo.....	34
2.7.Estrés calórico en los bovinos.....	35
2.7.1. Variables climatológicas de influencia en el grado de confort del ganado bovino....	37
2.7.2. Efectos del estrés calórico en los bovinos.....	40
2.7.3. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) como método para cuantificar el estrés calórico.....	42
2.8.El Silvopastoreo y su importancia en la reducción del estrés calórico en bovinos.....	44
3. Metodología	49
3.1.Tipo de investigación.....	49
3.2.Hipótesis.....	49
3.3.Localización.....	49
3.4.Fases, métodos y herramientas de investigación.....	51
3.4.1. Diseño experimental.....	51
3.4.2. Preliminares.....	52
3.4.3. Fase 1: Caracterización de los microclimas en cada lote de pastoreo de acuerdo con las diferentes coberturas de Pelá presentes en los mismos.....	55

3.4.4.	Fase 2: Determinación de la presencia o ausencia de estrés calórico en los bovinos y su relación con las variables evaluadas en los lotes en los cuales se encontraban ubicados.....	56
3.4.5.	Fase 3: Evaluación del efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la disposición del ganado en los lotes, su condición corporal y la producción de leche. 57	
3.4.6.	Análisis de la información.....	59
4.	Resultados y Discusión.....	59
4.1.	Caracterización del sistema productivo.....	59
4.1.1.	Descripción del predio.....	59
4.1.2.	Descripción del ganado.	60
4.1.3.	Condición actual del sistema productivo.....	62
4.1.4.	Caracterización de los lotes y del recurso arbustivo presente en los mismos.	63
4.2.	Caracterización de los microclimas en cada lote de pastoreo en función de la cobertura de Pelá presentes en los mismos.	67
4.2.1.	Caracterización del microclima del lugar de estudio.	67
4.2.2.	Caracterización del microclima en cada lote de pastoreo en función de las coberturas de Pelá.	69
4.2.3.	Evaluación de los microclimas en los lotes en función de la cobertura.	73
4.3.	Determinación de la presencia o ausencia de estrés calórico en los bovinos y su relación con las variables evaluadas en los lotes.....	76
4.3.1.	El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) como indicador de estrés calórico en los bovinos.	76
4.4.	Evaluación del efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la disposición del ganado en los lotes, su condición corporal y la producción de leche.....	82
4.4.1.	Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Disposición del ganado en los lotes.	82
4.4.2.	Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Condición corporal del ganado.....	87
4.4.3.	Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Producción de Leche....	89
4.5.	Relación entre la composición del recurso arbustivo de Pelá y la presencia de estrés calórico en los bovinos.	92
5.	Conclusiones	96
6.	Recomendaciones	98
7.	Referencias.....	99
8.	Anexos..	113

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Pelá (<i>Vachellia farnesiana</i>).	30
Tabla 2. Diferentes combinaciones de Temperatura y Humedad relativa y su ITH correspondiente.	43
Tabla 3. Categorías de Estrés Calórico (EC) para animales en producción.....	44
Tabla 4. Identificación gráfica de los tratamientos y repeticiones en el diseño experimental.....	51
Tabla 5. Categorías de Estrés Calórico (EC) para vacas lecheras en lactancia.....	57
Tabla 6. Categorías de clasificación de la Disposición del ganado en los lotes.....	57
Tabla 7. Escala y guía para medición de la Condición Corporal (CCC) del ganado doble propósito.....	58
Tabla 8. Informe general sobre la Condición inicial del ganado en la finca “Santa Lucía”	61
Tabla 9. Caracterización del recurso arbóreo en los lotes seleccionados.....	66
Tabla 10. Combinaciones de Porcentajes de Cobertura para cada Tratamiento.	67
Tabla 11. Datos meteorológicos mensuales de la estación Climatológica Principal “Anchique”	67
Tabla 12. Análisis de varianza (SC tipo III) entre los promedios de Temperatura (°T), Humedad Relativa (%HR) y las diferentes combinaciones de Coberturas (%Cob) por repetición y hora de muestreo ($\alpha=0,05$).....	70
Tabla 13. Matriz de correlación de Pearson entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y la Temperatura Corporal (°Tcorporal) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo ..	78
Tabla 14. Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo ...	79
Tabla 15. Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y la Temperatura Corporal (°Tcorporal) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo ..	80
Tabla 16. Análisis de varianza (SC tipo III) entre los promedios de Temperatura Corporal (°Tcorporal) para las diferentes combinaciones de coberturas (%Cob) por repetición y hora de muestreo ($\alpha=0,05$).....	81
Tabla 17. Valoración de la Condición Corporal (CCC) del ganado al inicio y al final del experimento	88
Tabla 18. Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y la Producción de Leche (KgLeche).....	89

Índice de Gráficos

Gráfica 1. Comportamiento de la Temperatura ($^{\circ}$ T) y la Humedad Relativa (%HR) del Testigo Ambiental por repeticiones para cada hora de muestreo.....	69
Gráfica 2. Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}$ T) y Humedad Relativa (%HR) por repeticiones (muestreo de las 10:00am).....	71
Gráfica 3. Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}$ T) y Humedad Relativa (%HR) por repeticiones (muestreo de la 1:00pm)	72
Gráfica 4. Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}$ T) y Humedad Relativa (%HR) por repeticiones (muestreo de las 4:00pm).....	73
Gráfica 5. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) promedio por repeticiones para cada combinación de coberturas en relación al Testigo Ambiental	77
Gráfica 6. Promedio (%) de la Disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de las 10:00am)	83
Gráfica 7. Promedio (%) de la Disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de la 1:00pm)	85
Gráfica 8. Promedio (%) de la disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de las 4:00pm).....	86
Gráfica 9. Comportamiento de la producción de leche (Kg) promedio de las unidades muestrales por repeticiones	90

Índice de Figuras

Figura 1. El Pelá (<i>Vachellia farnesiana</i>).....	31
Figura 2. Ubicación geográfica de la finca “Santa Lucía”.....	50
Figura 3. Esquema de la distribución de las coberturas de Pelá en los lotes seleccionados.	66
Figura 4. Apariencia de las pasturas en algunos lotes en función de la cobertura de Pelá	94

Índice de Fórmulas

Ecuación 1. Índice de Temperatura y Humedad (ITH)	43
Ecuación 2. Diseño Completamente al Azar (DCA).....	51
Ecuación 3. Área ocupada por la cerca viva (Acv)	52
Ecuación 4. Área del lote (Al).....	52
Ecuación 5. Diámetro a la Base (DAB)	53
Ecuación 6. Area Basal (AB)	53
Ecuación 7. Área Basal por Hectárea (G)	53
Ecuación 8. Área de copa.....	54
Ecuación 9. Altura Dominante (h)	54
Ecuación 10. Área en cobertura de Pelá.....	54
Ecuación 11. Área en cobertura por la Cerca viva	54
Ecuación 12. Cobertura Total (CobT).....	54
Ecuación 13. Porcentaje de Cobertura (%Cob).....	54

Índice de Anexos

Anexo 1. Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) entre la Temperatura ($^{\circ}T$), Humedad Relativa (%HR) y las diferentes combinaciones de % coberturas para cada repetición y hora de muestreo.....	113
Anexo 2. Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) entre la Temperatura corporal ($^{\circ}T_{\text{corporal}}$) y las diferentes combinaciones de % coberturas para cada repetición y hora de muestreo..	114

Dedicatoria

Por su incansable lucha y respaldo,
A la principal gestora de este logro,
A quien me brindó su confianza sin dudarlo
Y es mi mejor ejemplo de vida,
Ella, de quien aprendí que luchando se logra cumplir las metas planteadas

A mi madre, gracias.

Agradecimientos

A don Gabriel Peña y la señora Dora Camacho, quienes muy amablemente dispusieron de su finca además de su vivienda para facilitar mi estadía y alimentación lo cual fue indispensable para la ejecución del proyecto.

A don Augusto Perdomo (mayordomo) e Hijos, quienes me brindaron su compañía además de toda la ayuda y conocimiento de manera respetuosa y desinteresada para ejecutar la ardua labor de campo que requirió el proyecto para adquirir experiencia en el manejo del ganado.

A don Israel Peña y Sra., quienes me acogieron como parte de su familia en el tiempo que estuve colaborándome en todo lo que necesitara, a lo cual estoy totalmente agradecida.

Al profesor Mario Molano, quien desinteresadamente estuvo disponible en los momentos que lo necesité como profesor y como amigo, brindándome su conocimiento y experiencia para ampliar mi campo de análisis en lo que fue el desarrollo del presente trabajo.

A mis directores, Llina Reyes y Jonhy Hidalgo, quienes estuvieron dispuestos a acompañar la elaboración del presente trabajo aportando sus conocimientos.

A mi familia y amigos, quienes siempre me brindaron su apoyo sin dudar, un gran apoyo que me llenó de fortaleza para asumir este reto llamado tesis.

A todos ustedes, Gracias.

Resumen

La variabilidad climática evidenciada en los últimos años, ha generado condiciones ambientales de estrés calórico en los sistemas extensivos de producción bovina afectando el bienestar del ganado y los parámetros productivos, conllevando a pérdidas económicas. Por lo tanto, se analizó la influencia del microclima generado en un sistema silvopastoril bajo diferentes coberturas de Pelá (*Vachellia farnesiana*) sobre el estrés calórico (EC) en bovinos doble propósito y su relación con la producción de leche en la finca “Santa Lucía”, Natagaima-Tolima durante los meses de Agosto y Septiembre del 2016, ejecutando un diseño completamente al azar (DCA) con estructura de 4 tratamientos diferenciados en función de los porcentajes de cobertura (%Cob) y con repeticiones equivalentes a cinco días de ocupación [(Tto.1 con 4 Rep.=79,41% alta, 42,90% media y 13,72% baja), (Tto.2 con 1 Rep.=79,41% alta, 42,90% media y 28,59% baja), (Tto.3 con 1 Rep.=48,69% alta, 35,68% media y 28,59% baja), (Tto.4 con 4 Rep.=48,69% alta, 35,68% media y 26,42% baja)] obtenidos de 7 lotes con características dasométricas diferenciadas, para una muestra de 16 hembras en ordeño de cruces Gyr x Holstein, divididas en 3 sub-muestras para los tres tipos de cobertura. Se realizaron 3 muestreos diarios en la muestra de bovinos (10:00am, 1:00pm y 4:00pm) por 50 días, a partir de registros de las variables del microclima de mayor relevancia [Temperatura (°T) y Humedad Relativa (%HR)] bajo los 3 tipos coberturas y comparados con un testigo sin cobertura de las variables del microclima evaluadas en el predio (*Testigo ambiental*). Se caracterizaron los microclimas en cada lote de pastoreo a partir de la composición del recurso arbóreo en los mismos, se determinó la presencia o ausencia de EC en los bovinos aplicando el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y se evaluó su relación con las variables de respuesta en el animal [Temperatura corporal (°Tcorporal), Disposición del ganado en los lotes (Actividad y Ubicación), Condición Corporal (CCC) y producción de leche (KgLeche)], de lo que se obtuvo como resultado que bajo las diferentes coberturas de Pelá no hubo diferencias significativas entre tratamientos para las variables del microclima evaluadas, aunque se registraron menores valores de °T y mayores porcentajes de %HR en los %Cob alta y media respecto a los %Cob baja y al *Testigo ambiental*, resaltando la composición del recurso arbóreo en los lotes con %Cob media, que proporcionaron mejores condiciones ambientales para la estadía del ganado. Las variables del microclima evaluadas reflejaron la presencia constante de condiciones ambientales de EC en todas las coberturas. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0748$) entre los promedios de °Tcorporal

a la 1:00pm y 4:00pm, donde las sub-muestras ubicadas con %Cob *alta* y *baja* presentaron °Tcorporal superior a 38°C en la hora más calurosa del día (1:00pm); la sub-muestra ubicada con %Cob *media* mantuvo su °Tcorporal sobre 37°C mostrando una reducción respecto a la sub-muestra con %Cob *baja*, lo cual evidenció la ausencia de EC en tal sub-muestra. Los microclimas generados por el Pelá alteraron la disposición del ganado en los lotes, con predominancia de la actividad de Pastoreo/Ramoneo Bajo Rayo Directo a las 10:00am y su reducción a la 1:00pm y 4:00pm, en las sub-muestras ubicadas con %Cob *alta* y *baja*, y Bajo Rayo Directo de manera predominante en los %Cob *baja*, lo que evidenció la presencia de EC; hubo reducción de la CCC en la sub-muestra ubicada con %Cob *baja* como respuesta a las condiciones ambientales de estrés y la KgLeche reveló una relación positiva e imperfecta con los %Cob, mostrando diferencias significativas entre los promedios del peso de la leche ($p < 0,0001$) para las tres sub-muestras de bovinos. Sin embargo, no se tuvo en cuenta la curva de lactancia para relacionar el comportamiento de la producción de leche y de la CCC con la presencia de EC. Finalmente, se concluye que la presencia del Pelá generó microclimas que redujeron la presencia de EC en los bovinos con %Cob *media*, que si bien no mejoraron los parámetros productivos, estos no se vieron afectados negativamente.

Palabras Clave: Porcentaje de cobertura, Índice de Temperatura y Humedad, Condición corporal, Comportamiento animal, Sistemas silvopastoriles.

Abstract

The climatic variability evidenced in the last years has generated environmental conditions of caloric stress in the extensive systems of bovine production, affecting the welfare of the cattle and the productive parameters, leading to economic losses. Therefore, was analyzed the microclimate influence generated in a silvopastoral system under different conditions of Pelá (*Vachellia farnesiana*) on Caloric Stress (CS) in dual purpose cattle and their relationship with milk production at the "Santa Lucía" farm, Natagaima-Tolima during the months of August and September of 2016, executing a completely randomized design with a structure of 4 treatments differentiated according to the percentages of coverage (%Cov) and with repetitions equal to five days of occupation [(Tto.1 with 4 Rep.=79,41% high, 42, 90% medium and 13,72% low), (Tto.2 with 1 Rep.=79,41% high, 42,90% medium and 28,59% low), (Tto.3 with 1 Rep.=48,69% high, 35,68% medium and 28,59% low), (Tto.4 with 4 Rep.=48,69% high, 35,68% medium and 26,42% low)] that were obtained from 7 lots with dasometric differentiated characteristics for a sample of 16 Cows in milking of crosses Gyr x Holstein divided into 3 sub-samples for the three types of coverage. We carried out 3 daily samples in the bovine sample (10:00am, 1:00pm and 4:00pm) for 50 days, from records of the most relevant microclimate variables [Temperature (°T) and Relative Humidity (%RH)] under the three cover types and compared with witness without coverage of the microclimate variables evaluated in the site (*environmental witness*). The microclimates were characterized in each grazing plot from the composition of the arboreal resource in them, the presence or absence of CS was determined in the cattle applying the Temperature and Humidity Index (ITH) and its relation with the variables [Body Temperature (corporal°T), Disposal of livestock in lots (Activity and Location), Body Condition (BC) and milk production (KgMilk)], having as a result that under different Pelá's coverages, there were no significant differences between treatments for the variables microclimate evaluated, although there were lower values of °T and higher percentages of %RH in the high and medium %Cov compared to the low %Cov and the Environmental Witness, highlighting the composition of the Arboreal resource in the lots with% Cob medium, that provided better environmental conditions for the livestock stay. The evaluated microclimate variables reflected the constant presence of CS environmental conditions in all coverages. However, significant differences ($p < 0.0748$) were found between the averages of corporal°T at 1:00 p.m. in treatments 2 and 3 and at 4:00p.m. in treatments 1, 3 and 4 where the sub-samples located with high %Cov and low showed corporal°T

higher than 38°C at the hottest time of the day, highlighting the sub-sample located with a %Cov medium that maintained its corporal^oT of about 37°C, showing a reduction with respect to the sub-sample with low %Cov Which evidenced the absence of CS in such sub-sample. The microclimates generated by the Pelá altered the disposition of the cattle in the lots with predominance of grazing / browse under direct ray activity at 10:00am and its reduction at 1:00pm and 4:00pm, especially in the %Cov high and low, and under direct ray predominantly in the low %Cov; There was reduction of the CCC in the sub-sample located with %Cov low in response to environmental stress conditions; The KgMilk showed a positive and imperfect relationship with the %Cov and significant differences were found between the averages of the milk weight ($p < 0,0001$). However, the lactation curve was not taken in consideration to correlate the behavior of milk production and the BC with the presence of CS. Finally, it is concluded that the presence of the Pelá generated microclimates that reduced the presence of CS in the cattle with %Cob medium, that although they did not improve the productive parameters, these were not negatively affected.

Key words: Percentage coverage, Temperature and Humidity Index, Body condition, Animal behavior, Silvopastoral systems.

Introducción

En las últimas décadas, la actividad ganadera se ha convertido en un sector influyente de la economía mundial, siendo una fuente importante de alimento, producción de beneficios y fuente de ingreso para millones de personas (Oyhantçabal, Vitale, & Lagarmilla, 2010). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2009; 2012) el ganado contribuye con el 40% del valor total de la producción agrícola mundial, aporta el 15% de la energía alimentaria total, representa entre el 25 y el 28% de las proteínas de la dieta, y contribuye en la producción de cultivos suministrando transporte y estiércol. Además, el ganado bovino representa el 83% de la producción lechera mundial, el 23% de la producción mundial de carnes y equivale a un consumo humano *per-cápita* de 109kg en leche y de 43,1kg en carne, figurando un importante valor nutritivo por ser fuente principalmente de proteínas que satisfacen las necesidades humanas y de los que carecen muchas personas con nutrición deficiente (FAO, 2009; FAO, 2015).

Dentro de la actividad ganadera, el terreno destinado al pastoreo del ganado ocupa el 26% de la superficie terrestre no cubierta por hielo, la producción de forrajes para el ganado utiliza el 33% de las tierras agrícolas y la actividad ganadera en sí, produce el 18% de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (FAO, 2006). En Colombia, la superficie destinada a la producción pecuaria es de 30.359.907 ha, de las cuales el 67,5% se dedican a la producción de pastos y forrajes (DANE, 2015) y el 72% de esta área se encuentra entre climas cálidos y medios (Hernández, 1998) con una capacidad de carga alrededor de 0,6 cabezas/ha, lo que caracteriza los sistemas de producción como extensivos (Vergara, 2010).

Las variaciones climáticas evidenciadas en las últimas décadas, influenciadas en gran medida por la actividad antropogénica por el continuo uso y cambio de uso de la tierra (Vitousek, 1994), han provocado el aumento de la temperatura y la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) atmosférico en el planeta (Arias, Madeb, & Escobar, 2008). La FAO calculó que la conversión del bosque tropical en monocultivos de pastos con fines de pastoreo genera al año cerca de 1,7 mil millones de Toneladas Equivalentes de Carbón (TEC) y debido a la demanda de tierra para el cultivo de forrajes e instalación de pastizales, se genera al año 0,7 mil millones de TEC, lo que conlleva a la transformación de la selva tropical en tierras destinadas al cultivo de

alimento para el ganado (Oyhantçabal *et al.*, 2010; Ludovic, 2010). Villanueva *et al.*, (2009) aseguran que los sistemas de producción basados en el uso de pasturas en monocultivo, en época de menores precipitaciones presentan una baja tolerancia a esas condiciones, significando una baja calidad y una importante reducción en la producción de materia seca (MS), lo cual afecta la productividad animal.

En la ganadería tropical, la temperatura es un factor influyente en los mecanismos fisiológicos de regulación térmica del ganado bovino en su proceso productivo, debido a que el animal en su proceso de adaptación, necesita de un mecanismo eficiente para ajustar la producción y la pérdida de calor (Echeverry & Restrepo, 2009). Arias, Madeb, y Escobar (2008) aseveran que en los últimos años se han reportado importantes anomalías climáticas por lo que bajo este escenario, los animales llegan al límite de sus capacidades para poder enfrentar condiciones de frío o calor extremo y estar en producción, saliendo de su Zona de Confort Térmico (ZCT) y entrando en estrés calórico (EC) lo cual afecta su desempeño productivo y en casos extremos, puede ocasionar la muerte del ganado.

Los sistemas de producción bovina en Colombia se han desarrollado bajo conceptos y tecnologías de la revolución verde, privilegiando el monocultivo de gramíneas y eliminando la cobertura arbórea de las áreas de pastoreo, sin tener en cuenta las condiciones climáticas de los diferentes ecosistemas tropicales donde variables como la temperatura, humedad relativa y evaporación, se convierten en variables que limitan la eficiencia productiva del ganado bovino (Navas, 2010) al generar condiciones ambientales de estrés en espacios donde la cobertura arbórea es escasa o nula.

En Colombia se han realizado estudios que evalúan la influencia del clima en la producción bovina. Por ejemplo, Vélez y Uribe (2010) encontraron que la humedad relativa, insolación, temperatura ambiental, precipitación y velocidad del viento, provocan efectos negativos sobre la reproducción disminuyendo la fertilidad. Adicionalmente, Echeverry *et al.*, (2015) concluyeron que en vacas Holstein se reduce la producción de leche en la mañana, cuando el animal se encuentra bajo temperaturas y humedades altas en la tarde del día anterior y durante el ordeño, y en la tarde, al encontrarse el animal bajo temperaturas y humedades altas en horas de la mañana y a la hora de ordeño, así los valores de temperatura y humedad se encuentren dentro

de la ZCT para los bovinos, lo que se relaciona con Echeverry y Restrepo (2009) quienes afirman que el cambio en los factores meteorológicos, tiene implicaciones en los bovinos cuando estos presentan EC, afectando los parámetros de producción y calidad de la leche, dado a los efectos que también producen los factores meteorológicos sobre la producción de forraje para el consumo del ganado.

Por lo tanto, se considera importante tener conocimiento sobre el EC en los bovinos y su incidencia en las variables productivas bajo la situación actual de la producción bovina en Colombia, y la importancia de los arreglos silvopastoriles, tomando como ejemplo el modelo desarrollado con el arbusto forrajero conocido comúnmente como el Pelá, a partir de la estrategia de regeneración natural y conservación de especies para la disminución de las condiciones de estrés en el trópico seco.

En el presente trabajo de investigación, se analizó la influencia de los microclimas generados en un sistema silvopastoril bajo diferentes coberturas de Pelá sobre el estrés calórico en bovinos doble propósito y su relación con la producción de leche en la finca “Santa Lucía” en el municipio de Natagaima Tolima, tras las altas temperaturas registradas en los últimos años. Con el objetivo planteado, se espera contar con un soporte técnico acerca de los beneficios que genera el Pelá en los sistemas productivos, lo cual se convierte en una herramienta para mitigar los efectos de las altas temperaturas.

1. Problemática

1.1. Problema de investigación

1.1.1. El estrés calórico en Bovinos.

Durante los meses cálidos del año, los cuales se definen dependiendo del régimen climático de la zona de producción, la combinación de temperatura, radiación solar y humedad relativa establecen un ambiente meteorológico fuera de la ZCT para el ganado bovino, que se evidencia directamente en el descenso de la producción (Saravia, Astigarraga, Van Lier, & Bentancur, 2011). En efecto, la energía que requiere el animal para mantener la homeotermia en condiciones de EC por aumento de la temperatura atmosférica se incrementa, ya que este prioriza el equilibrio de los fluidos corporales, la regulación de la temperatura corporal y el crecimiento, por encima de la producción y la reproducción (Gallardo & Valtora, 2011).

Para los bovinos existen rangos de tolerancia a la temperatura ambiental para su bienestar. La ZCT se encuentra entre los 6 y los 28°C con cualquier humedad relativa que no supere el 60% (Oberto, Reitú, & Pirra, 2006), pero una temperatura ambiente superior a 28,4°C refleja reducción en la producción de carne y leche (Dikmen & Hansen, 2009). Los efectos del estrés calórico en los bovinos pueden ser directos, como lo son las alteraciones del metabolismo para acomodarse al incremento de calor, o indirectos, cuando ocurre alteración en la cantidad y calidad del alimento que consumen (Córdova *et al.*, 2009). Entre los factores que influyen el grado de afección por EC se incluye la raza, el estado fisiológico, el nivel de producción, la edad, el color de la piel, su exposición al ambiente y la variación propia de los animales (Vélez & Uribe, 2010; CONtexto Ganadero, 2016).

1.1.2. Efectos de la variabilidad climática en los sistemas productivos ganaderos en Colombia.

En 2015, la producción bovina en Colombia estuvo marcada por las variaciones climáticas, destacándose el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la intensidad con la que se presentó a finales de ese año. Este fenómeno produjo importantes afectaciones a los

predios y a los bovinos ocasionando daños a 2,5 millones de hectáreas, reducción de la condición corporal del ganado bovino por la baja disponibilidad y la baja calidad del alimento lo cual generó el desplazamiento de 734.275 bovinos y la muerte a 27.000 bovinos, reportándose una disminución del inventario ganadero, reducción de la oferta de ganado en pie y la oferta de leche, cayendo la producción de esta en un 50% aproximadamente (CONtexto Ganadero, 2016; Fondo Nacional del Ganado, 2016a).

El departamento del Tolima fue uno de los más afectados por las altas temperaturas registradas en el año 2015 a raíz del Fenómeno de El Niño. Según el director del Comité Departamental de Ganaderos, Carlos G. Silva, el sector ganadero evidenció la disminución en la producción de leche y la muerte de bovinos, siendo los municipios de Natagaima, Guamo y Coyaima los más afectados (Caracol Radio, 2015). En el municipio de Natagaima se vio afectada la economía de los ganaderos y el bienestar del ganado, dado que se registraron temperaturas comprendidas entre 27,9°C (con máximas medias de 34,0°C y mínimas medias de 23,9°C) para 2014, y en 2015, temperaturas de 28,5°C (con máximas medias de 36°C y mínimas medias de 23,9°C) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM], 2016). Como consecuencia de esto igualmente se reportó una tasa alta de mortalidad de bovinos y la baja producción de leche en el municipio (Caracol Radio, 2016).

Aristizabal (2013) afirma que en el municipio de Natagaima se evidencia la modificación del ecosistema por actividades antropogénicas que han cambiado el uso del suelo en busca del desarrollo económico del municipio. Acevedo (2016) reporta que la transformación paisajística en el sur del Tolima estuvo marcada principalmente por la introducción del ganado bovino en los sistemas productivos a manera de latifundio, generando un impacto importante en la economía del territorio.

Por lo anterior, la vegetación de origen natural en el municipio es escasa y sobresalen los sistemas agropecuarios (Gobernación del Tolima, 2002), estableciendo monocultivos y actividades de ganadería con alta producción bovina doble propósito en sistemas de pastoreo extensivo (Alcaldía municipal de Natagaima, 2012) que representan el 43% del hato bovino de la zona (FEDEGAN y FNG, 2014).

1.1.3. Mitigación de los efectos climáticos en los sistemas productivos ganaderos.

Para mitigar los efectos de las altas temperaturas en la producción bovina, en la Vereda Baloca del municipio de Natagaima, la Finca “Santa Lucía” ha adoptado un sistema silvopastoril resultado de la regeneración natural asociado a producción bovina doble propósito con una planta arbustiva y perenne que se ha presentado de manera espontánea y es conocida en la zona con el nombre común de el “Pelá” (*Vachellia farnesiana* (L) Wight & Arn., también conocido con el sinónimo botánico de *Acacia farnesiana* L. (WILD)), de tal modo que se genera un estrato arbustivo en los lotes destinados a pastoreo y se dispone de sombra para el ganado.

Este arreglo agroforestal ayudó al ganadero de la finca a mitigar en cierto grado los efectos de las altas temperaturas presentadas a finales de 2015 y comienzos del 2016, brindándole bienestar al ganado y logrando evitar el desplazamiento y la muerte de estos. Aun así, se vio afectada drásticamente la producción de leche con una reducción del 61% (porcentaje obtenido a partir de los registros de producción de la finca) y también la condición corporal del ganado. A pesar de ello, el productor de la finca no cuenta con indicadores que soporten los beneficios que genera la presencia del Pelá en el sistema productivo, lo cual es de importancia ya que puede ser divulgado y aplicado por los otros ganaderos de la zona.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, se observó que los animales permanecen bajo la sombra de los arbustos de Pelá en horas de mayor radiación solar y a la vez, se alimentan del forraje disponible en el suelo, forraje que igualmente crece debajo del dosel de estos arbustos. Incluso, se evidenció que la planta crece de manera espontánea en la zona, aunque suele ser cortada por los habitantes al considerarla como arvense. Sin embargo, no se han realizado estudios que reporten la presencia del Pelá como componente arbustivo dentro de los sistemas de producción bovina en Colombia, que en efecto permita describir sus beneficios.

Por lo tanto, es importante investigar sobre los efectos del Pelá (*Vachellia farnesiana*) en la producción ganadera de la finca “Santa Lucía”, ubicada en Natagaima-Tolima siendo objeto de investigación lo siguiente: ¿Cuáles son los efectos de los microclimas proporcionados por la cobertura arbustiva de un sistema silvopastoril a partir de la regeneración natural del Pelá sobre el estrés calórico en los bovinos y su relación con los parámetros productivos de la finca “Santa Lucía”?

El presente trabajo de investigación busca resaltar la importancia del Pelá (*Vachellia farnesiana*) utilizado en sistemas silvopastoriles para la ganadería de doble propósito, como práctica para mitigar los efectos de las altas temperaturas, principalmente cuando se presenta el fenómeno de El Niño que afecta los diferentes sistemas productivos de la zona, aún más cuando esta especie puede convertirse en una estrategia de adaptación a la variabilidad climática en la ganadería en el municipio.

1.2. Justificación

1.2.1. Importancia de la ganadería bovina en Colombia.

La ganadería bovina en Colombia representa el 53% del Producto Interno Bruto (PIB) pecuario, el 19,5% del PIB Agropecuario y el 1,3% del PIB nacional (FNG, 2016b) (DANE, 2016b), genera 926.000 empleos directos y contribuye a la generación de empleos en más del 25% del total de puestos de trabajo generados en el sector agrícola (Suárez, Santana, & Moreno, 2011). Los productos de origen bovino constituyen el 27% del gasto de los consumidores en alimentos (Vergara, 2010).

La actividad ganadera en Colombia ocupa el 80% del territorio nacional (FNG, 2016b) y se realiza bajo diferentes agroecosistemas (Navas, 2010). Según estadísticas de la Federación nacional de Ganaderos [FEDEGAN], la producción de leche bovina en Colombia para 2015 fue de 6.623 millones de litros y el inventario bovino fue de 22.527.783 animales ubicados principalmente en los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta, Cesar, Santander, Caquetá, Magdalena y Cundinamarca, ocupando el 64,13% de la población total nacional (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2016a) lo cual es representativo para la economía del país. En el departamento del Tolima, para el año 2016 se registró un inventario bovino de 547.647 animales y en el municipio de Natagaima, un equivalente a 12.844 animales distribuidos en un total de 260 fincas de las cuales el 63,1% (ICA, 2016b) correspondieron a la tenencia de 1 a 50 bovinos en unidades productivas campesinas que caracterizan a la definición de Unidad Agrícola Familiar (UAF) en Colombia (Garay *et al.*, citado por Acevedo, 2010).

1.2.2. Importancia de la presencia de árboles en la mejora de la actividad ganadera en el municipio.

El uso de árboles en los sistemas de producción bovina en el trópico seco, generan efectos positivos en la reducción del EC propiciando microclimas en las áreas de pastoreo, permitiendo así mantener a los animales en medio de ambientes con temperaturas enmarcadas en la ZCT (Navas, 2010). La sombra arbórea puede favorecer la eficiencia productiva del ganado bovino, el cual en condiciones de altas temperaturas tienden a ser menos tolerantes al calor debido a la cantidad de calor metabólico que producen por el elevado consumo de materia seca para mantener los niveles de producción y el incremento de su tasa metabólica (Navas, 2010).

Teniendo en cuenta la significativa pérdida de vegetación natural que se evidencia en la zona para el establecimiento de sistemas agropecuarios (Aristizabal, 2013), Vargas (2015) afirma que el Pelá (*Vachellia farnesiana*) es una especie arbustiva capaz de recuperar suelos fuertemente degradados y en extremo secos, ya que presenta tendencia invasiva, alta resistencia y coloniza en donde pocas plantas pueden hacerlo.

Además, sus características la hacen clave para procesos de restauración dados en ecosistemas secos y muy secos (Monroy, Estévez, García, & Ríos, 2007) calificándola como un elemento de importancia en la vegetación secundaria que sucede al bosque seco tropical ya que facilita el establecimiento de otras especies (Little, Wadsworth, & Marrero, 1977), por lo que el Pelá se puede constituir como una especie importante en una primera etapa de regeneración de la biodiversidad en la zona.

De igual forma, el Pelá se puede convertir en una alternativa económica para el suministro de cobertura arbórea y la generación de microclimas aptos para los sistemas de producción bovina en la zona ya que la especie cuenta con un potencial que facilita el desarrollo de los sistemas silvopastoriles, agrosilvícolas o agrosilvopastoriles en el trópico seco (Alvear, Melo, Apráez, Gálvez, & Insuasty, 2013; Palma, 2006; Russo & y Botero, 2005), generando un aporte para la reducción de los efectos de las altas temperaturas sobre la producción de carne o leche, aplicando el modelo silvopastoril a partir de la regeneración natural que presenta esta especie.

Acevedo (2010) reporta a *Vachellia farnesiana* como especie forrajera incluida en el total de especies extraídas, cultivadas o criadas en los sistemas tradicionales de producción manejados por los indígenas Pijao y los campesinos del sur del Tolima, funcionando como precedente sobre los usos potenciales que puede presentar el Pelá por parte de la población de esta zona. De acuerdo con lo anterior, por medio de esta investigación se busca resaltar la importancia de la vegetación propia de la zona, sobre todo bajo el régimen climático que se presenta en el municipio y de esta manera, proponer estrategias que permitan incorporar y conservar la vegetación arbustiva y arbórea en los sistemas de producción de la zona.

Seguidamente, cobra importancia realizar este estudio para contar con un precedente sobre la problemática del EC en bovinos y los beneficios que puede generar para la economía del ganadero, la mejora en la productividad del sistema y para el bienestar animal y del ecosistema de la zona, implementar sistemas silvopastoriles aprovechando los arbustos de Pelá y paralelamente, conocer las relaciones directas e indirectas de los elementos suelo-planta-animal-ambiente en la finca, en función del bienestar animal para la eficiencia productiva.

1.3.Objetivo general

Analizar la influencia de los microclimas generados en un sistema silvopastoril bajo diferentes coberturas de Pelá (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.), sobre el estrés calórico en bovinos doble propósito y su relación con la producción de leche en la finca “Santa Lucía”, Natagaima-Tolima.

Objetivos específicos.

1. Caracterizar los microclimas en cada lote de pastoreo de acuerdo con las diferentes coberturas de Pelá presentes en los mismos, para el ganado bovino en la finca.
2. Determinar la presencia o ausencia de estrés calórico en los bovinos y su relación con las coberturas de Pelá presentes en los lotes en los cuales se encontraban ubicados.
3. Evaluar el efecto de los microclimas generados por el Pelá sobre la disposición del ganado en los lotes, su condición corporal y la producción de leche.

2. Marco Teórico

2.1. El Clima

El clima es un factor importante en el ambiente global y se define como las fluctuaciones de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones de estas condiciones durante un periodo de tiempo y un lugar determinado, y es controlado por los factores forzantes y determinantes, y por la interacción entre los componentes del sistema climático los cuales incluyen a la atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera (Lowry, 1973; Pabón *et al.*, 2001a).

Los factores forzantes del clima incluyen cantidad de radiación solar que ingresa al sistema y la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero (Pabón *et al.*, 2001b). Los factores determinantes o factores climáticos son aquellas condiciones físico-geográficas que son relativamente constantes, las cuales incluyen la latitud, altitud, distancia al mar, distribución de tierras y mares, corrientes oceánicas, topografía, etc., y se caracterizan por la influencia que tienen en la transferencia de energía y calor (Pabón *et al.*, 2001b; Lowry, 1973; Zambrano, 2011). Los factores climáticos son agentes que producen o modifican el resultado visible o los valores de los elementos que crean el clima (Eslava, 1993).

2.1.1. Elementos y variables climatológicas.

Los elementos climatológicos son aquellas condiciones de la atmósfera que en conjunto definen el estado físico del clima de un lugar determinado y describen las condiciones meteorológicas de un lugar en un momento dado o un periodo de tiempo dados; entre estos se encuentra la temperatura, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, humedad, nubosidad, precipitación, evaporación, y el brillo solar (Pabón *et al.*, 2001b; Zambrano, 2011).

Las variables climatológicas son aquellos valores cuantitativos y cualitativos de los elementos climatológicos obtenidos a través de registros y/o mediciones, los cuales se diferencian debido a que el elemento es la característica física en sí, mientras que la variable es su valoración (Pabón *et al.*, 2001a). Con el análisis del comportamiento de estas variables, en el tiempo y espacio es posible sacar conclusiones sobre el clima actual, el clima del pasado, las fluctuaciones

climáticas de diversa escala, etc. (Eslava, 1993; Pabón *et al.*, 2001a). La distribución del clima en el planeta hace que se representen zonas diferentes con flora, fauna y paisajes propios, por lo que el clima es uno de los principales determinantes en la existencia de varios ecosistemas y diversidad de especies (Zambrano, 2011).

Cuando se pretende describir el clima en términos espaciales de lugar a lugar, se definen los conceptos de macroclima, que refiere a la descripción climática comprendida en un extenso territorio representativo de una región específica, por lo que se habla en este contexto de climas tropicales, polares, o de un cierto país (Heuvelop, Pardo, Quirós, & Espinoza, 1986; Zambrano, 2011); mesoclima, que incluye las condiciones locales y depende de la topografía, la altitud y la vegetación por lo que bajo este concepto se habla del clima de un valle, de una ciudad o de un bosque (Heuvelop, *et al.*, 1986); y microclima, que define la situación climática que caracteriza espacios y hábitats reducidos y definidos, e incluye la condición climática generada por la sombra de un árbol (Heuvelop *et al.*, 1986; Caballero *et al.*, 2013).

2.1.2. Variabilidad climática.

La variabilidad climática hace referencia a fluctuaciones observadas en el clima por periodos de tiempo relativamente cortos e incluye los extremos y diferencias de los valores mensuales, estacionales y anuales en relación a los valores climáticos esperados o las medias temporales (Montealegre, 2009). El grado de magnitud de la variabilidad del clima es definido como la diferencia estadística del estudio de una variable climatológica hecha por un largo plazo con respecto a la estudiada en un corto plazo (Pabón, 2001a).

Durante un año cualquiera, se puede generar una tendencia en el registro de valores climáticos ya sea por encima o por debajo de lo normal. La Normal Climatológica o valor normal, es aquella que define y compara el clima representando generalmente la media aritmética de una serie de mediciones continuas de una variable climatológica por lo menos por periodos de 30 años. Cuando se presenta una diferencia entre el valor registrado de dicha variable climatológica y su valor medio, esto se conoce como “Anomalía”; cuando dichas oscilaciones de los valores se dan secuencialmente alrededor de los valores normales, se le denomina

“Variabilidad climática” y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Montealegre, 2009).

2.2. Agricultura natural

La agricultura natural es definida como un tipo o método de agricultura basada en la premisa “la naturaleza es fuente de toda sabiduría y de todo equilibrio perenne”, que utiliza la observación intuitiva de la naturaleza, y bajo el principio de imitación de la misma en su forma espontánea de fomentar la vida, buscando cultivar según el modelo del bosque o cultivar especies que representen al bosque original (Barbié, 2007). Fue expuesto por primera vez en los años 70 por el agricultor y microbiólogo japonés Masanoubi Fukuoka, quien propone un sistema de cultivo en el que se cumplan cuatro principios, como lo menciona en su libro *The one-straw revolution, an introduction to natural farming* (La revolución de una brizna de paja, una introducción a la agricultura natural) en 1978 (Fukuoka, 1985):

- No laboreo, es decir, no arar ni voltear el suelo.
- No utilizar abonos químicos ni compost preparado, ya que, si se deja a sí mismo, el suelo recupera su fertilidad naturalmente de acuerdo con el ciclo de la vida vegetal y animal.
- No realizar deshierbe mediante cultivo o herbicidas, debido a que las arvenses desempeñan un rol para la fertilidad del suelo y el equilibrio de la comunidad biológica, por lo que estas deben ser controladas y no eliminadas.
- No ser dependientes al uso de productos químicos, puesto que generan susceptibilidad a enfermedades y plagas.

En términos de la agricultura natural aplicada a la ganadería, Fukuoka (1985) afirma que el problema de la explotación pecuaria yace en la forma en la que el ser humano interviene en el ciclo de vida y productivo del ganado, haciendo a los animales vulnerables y susceptibles a problemas. En efecto, propone al pastoreo natural como el modelo ideal, ya que, bajo los conceptos de la agricultura natural, la explotación pecuaria se presenta como pastoreo al aire libre, manteniendo al animal correcto en el ambiente correcto, y generando condiciones y recursos necesarios para el sustento del mismo. Además, asumiendo que en condiciones naturales los animales no destruyen indistintamente aquello sin relación con su alimento habitual, el

ganado puede criarse bajo el modelo de bosques mixtos plantados con especies nativas, generando estratos y diversas fuentes de consumo para el ganado (Fukuoka, 1985).

2.3. Agroforestería

La Agroforestería es definida como el “conjunto de técnicas de manejo o sistema de uso de la tierra que implica la combinación de árboles con cultivos y/o con animales, de manera simultánea o secuencial bajo una interacción significativa, manteniendo el principio de rendimiento sustentable” (Budowski, 1993, p.15). La agroforestería también es considerada como una “tradición productiva y conservacionista, de formas de manejo y aprovechamiento de ecosistemas y sistemas productivos integrados, en función de una producción múltiple y duradera” (Ospina, 2001, p.18). Este concepto surge de la necesidad de encontrar mejores opciones para afrontar los problemas de baja producción, de la degradación de suelos, de pérdida de la biodiversidad y más recientemente, como una herramienta para afrontar las variaciones climáticas.

La agroforestería se caracteriza por cumplir una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados y fragmentados, de tal modo que proporciona hábitats y recursos para las especies tanto vegetales como animales, aportando zonas de amortiguación a las zonas protegidas, entre otros (Palomeque, 2009), con el objetivo de diversificar la producción, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema (López G. , 2014).

Sobre todo, en condiciones de vulnerabilidad y degradación del ecosistema, un sistema agroforestal funciona como un proceso regenerativo buscando reproducir las condiciones propias de un bosque y permitir a la vez el desarrollo de actividades productivas, que altera mínimamente el equilibrio ecológico, y sirve como aporte para alcanzar la sostenibilidad de los sistemas productivos y mejorar el nivel de vida de la población rural (Torres, Tenorio, & Gómez, 2008).

Los sistemas agroforestales también funcionan como un mecanismo de adaptación al cambio climático gracias a su diseño que promueve la presencia de un microclima de tipo

moderado bajo el dosel de los árboles, donde la temperatura puede disminuir entre 2°C y 5°C en promedio (Murgueitio, Calle, Uribe, Calle, & Solorio, 2011). Estos sistemas se caracterizan por optimizar la producción en una unidad predial por medio de la explotación diversificada, donde la presencia de árboles es fundamental para proveer productos como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, cosméticos, entre otras (López J. , 2010; Torres, Tenorio, & Gómez, 2008).

Según Somarriba (Citado por Mendieta & Rocha, 2007), los sistemas agroforestales deben cumplir tres condiciones fundamentales para ser considerado un sistema agroforestal: que existan al menos dos especies vegetales bajo interacción biológica, que al menos uno de los componentes del sistema sea una leñosa perenne, y que al menos, uno de los componentes sea una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

Como beneficio de los sistemas agroforestales, la cobertura arbórea bajo diferentes arreglos, aportan a la recuperación de los ecosistemas originales y su capacidad productiva, y a la vez, disminuyen los efectos nocivos del clima sobre el comportamiento animal y rendimiento de los cultivos (López J., 2010). Dos ejemplos de lo anterior incluye las cercas vivas, definidas como la siembra de árboles o arbustos en línea ubicados estratégicamente con el objetivo de delimitar espacios dentro del sistema productivo, siendo una fuente de productos maderables (Villanueva C., Ibrahim, Casasola & Arguedas, 2005), y las cortinas rompe-vientos, que asumen el mismo arreglo lineal aunque con árboles de tamaño considerable, con el propósito adicional de proteger tanto las plantaciones como a los animales de los efectos de negativos del viento (Sandoval & Mendoza, 2006).

Los sistemas agroforestales persiguen objetivos tanto ecológicos como económicos y sociales y Colombia, al ser uno de los países con mayor variedad de climas y topografía en Latinoamérica, posee el potencial para desarrollar y ejercer la agroforestería como aporte al mejoramiento de la calidad de vida rural y de la sostenibilidad ambiental (DANE, 2012).

2.4. Sistemas Silvopastoriles a partir de la regeneración natural

Los Sistemas Silvopastoriles son aquellos que constituyen la combinación de árboles con ganado y/o praderas en un mismo sitio donde los árboles permiten la obtención de madera, protección y albergue para el ganado, protección del suelo y agua, y donde el ganado representa un ingreso para el agricultor y un generador de productos para el autoconsumo (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2012).

Los sistemas silvopastoriles constituidos a partir de la regeneración natural, surgen de la necesidad de buscar alternativas que sean apropiadas y a la vez económicas para mitigar o reducir los efectos negativos de la actividad agropecuaria, función que es característica de los sistemas agroforestales y particularmente los sistemas silvopastoriles (SSP) que bien manejados, permiten la producción pecuaria y la protección de la biodiversidad, mejorando los sistemas pecuarios y siendo estos más integrales (Díaz, Moreno-Elcure, & Carrero, 2006).

Son considerados como una estrategia fácil y económica para introducir árboles en las fincas ganaderas bajo el modelo de árboles dispersos en potrero, que permiten el desarrollo controlado de diferentes especies espontáneas ya sean arbóreas o arbustivas (Uribe *et al.*, 2011) por lo que juega un papel fundamental en el mantenimiento de la diversidad de los bosques tropicales. Se destaca la capacidad de regeneración natural cuando los frutos de las plantas incluidas dentro del establecimiento del SSP son consumidos por el ganado, el cual escarifica las semillas en el tracto digestivo, y estas germinan en las excretas dando origen a nuevas plantas que crecen en medio de los pastizales tolerando el pisoteo, el ramoneo de los animales y aún el fuego frecuente en las épocas de sequía y con posibilidad de recuperarse después de haber sido defoliadas (Murgueito, 2005), siendo estas finalmente cualidades importantes que permiten su manejo en los potreros.

Sin embargo, si se quiere mantener la riqueza y diversidad de la cobertura arbórea de dichos sistemas a futuro, las estrategias de manejo deben asegurar la regeneración de especies con regeneración natural limitada, siendo dirigidas específicamente a las primeras etapas de desarrollo para el mantenimiento de sus poblaciones en pasturas activas, dependiendo de las características ecológicas de las especies y de sus respuestas a diferentes condiciones de manejo (Esquivel *et al.*, 2009).

En un estudio realizado por Viana, Mauricio, Mata-Machado y Pimenta (2002) donde describieron dos SSP derivados de la regeneración natural de especies arbóreas nativas invasoras de las pasturas en una zona seca del Sur-este de Brasil, concluyeron que los sistemas silvopastoriles de regeneración natural son una alternativa de mejora de la calidad ambiental y el aumento de la productividad ganadera y forestal, aunque es fundamental cuantificar los costos y beneficios asociados al sistema ya que estos sistemas demandan un uso más intenso de la mano de obra en las operaciones de raleo y podas.

Por otro lado, Díaz *et al.*, (2006) afirmaron que la implementación de SSP de regeneración natural permite brindar aportes económicos como entradas adicionales al productor que aprovecha el recurso de la madera y sus subproductos y a la vez, permite generar beneficios sociales para el personal de la finca ya que este se involucra en las actividades que implican el manejo de la regeneración natural de los árboles en los potreros, funcionando así como una alternativa de solución a las limitaciones para la adopción de estrategias de establecimiento de árboles dispersos en pasturas por los productores.

Además, incorporar la mano de obra de la finca en el cuidado de los árboles, según Mauricio, Viana, Matta-Machado y Pimenta (2000), permite y promueve la fijación del hombre en el campo, ya que así se requiere un uso más intenso de la mano de obra en las operaciones del cultivo, representando una alternativa para frenar el proceso de expansión de la frontera agrícola.

Finalmente, Viana *et al.*, (2002) encontraron que en los SSP de regeneración natural existe una mejora en la fertilidad y una producción de madera con potencial para uso en la finca y para comercialización y existe una aparente mejora en la calidad nutricional del forraje y un mayor confort térmico para los animales.

2.5. El Pelá (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn., 1834)

La clasificación taxonómica del Pelá, con sinónimo botánico: *Acacia farnesiana* (L.) WILD. (Daza, 2014; Little *et al.*, 1977; Parrotta, 1992; Salazar, 2000) se muestra en la tabla 1, según resultados obtenidos del Herbario Nacional Colombiano (COL), (4 de marzo de 2016) (No. COL 587599), en base a muestras recolectadas en el lugar de estudio.

Tabla 1
Clasificación taxonómica del Pelá (Vachellia farnesiana).

Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabacea
Género	<i>Vachellia</i>
Especie	<i>farnesiana</i>
Autor epíteto específico	(L.) Wight & Arn

Fuente: Herbario Nacional Colombiano (2016).

Descrita inicialmente por Linnaeus en 1806, es una especie estudiada que figura en monografías botánicas importantes como *Acacia farnesiana* (L.) Wild., nombre ampliamente utilizado en el siglo XX, incluso después de la creación del género *Vachellia* (Wight y Arn, 1834), que es la especie tipo (Cardoso, 2010). Luego, con la segregación de género *Acacia* se dio el posterior restablecimiento del nombre de género *Vachellia* el cual comenzó a ser utilizado seguidamente por varios autores contemporáneos, por lo que el nombre científico válido para la especie pasó a ser *Vachellia farnesiana* (L.) Wight y Arn (Cardoso, 2010).

El Pelá, también conocido con el nombre común de Romerillo (Norte de Nariño y sur del Cauca), Aromo (Nicaragua), Espino blanco (Costa Rica), Huisache (México), Aroma amarilla (Cuba), Cassie flower (Jamaica), Espinilla (Uruguay Argentina) entre otros (Salazar, 2000), es una planta arbustiva, perenne y espinosa, con una altura de 1 a 2m en su forma arbustiva y de 3 a 10m en su forma arbórea (Daza, 2014). Su lugar de origen es incierto debido a que presenta amplia distribución a nivel mundial (López, González, & Cano, 2012; Rico, 2001). Parrotta (1992), sugiere que es nativa solamente en el sur de Francia, Italia y en otras partes a lo largo de la costa norte del Mediterráneo y que fue introducida al continente americano durante la colonización española, y a su vez, Little *et al.* (2001), afirma que esta especie es aceptada como nativa de Cuba; el ejemplar botánico fue recolectado en República Dominicana y descrito por Linnaeus (Little *et al.*, 2001; Parrotta, 1992).

Vachellia farnesiana es un arbusto de raíz pivotante (Toro & Briones, 1995), presenta ramificaciones desde la base y presenta hojas bipinnadas de 2 a 9cm de largo, alternadas y

aglomeradas de manera frecuente en las axilas de cada par de espinas (Daza, 2014; López, González, & Cano, 2012). Las ramas y tallos son leñosas, lisas, con puntos claros y abundantes estípulas de 3 a 5cm de largo que luego se transforman en espinas blanquecinas, delgadas y persistentes de 5 a 6mm de espesor (Rojas & Torres, 2012) (Figura1).

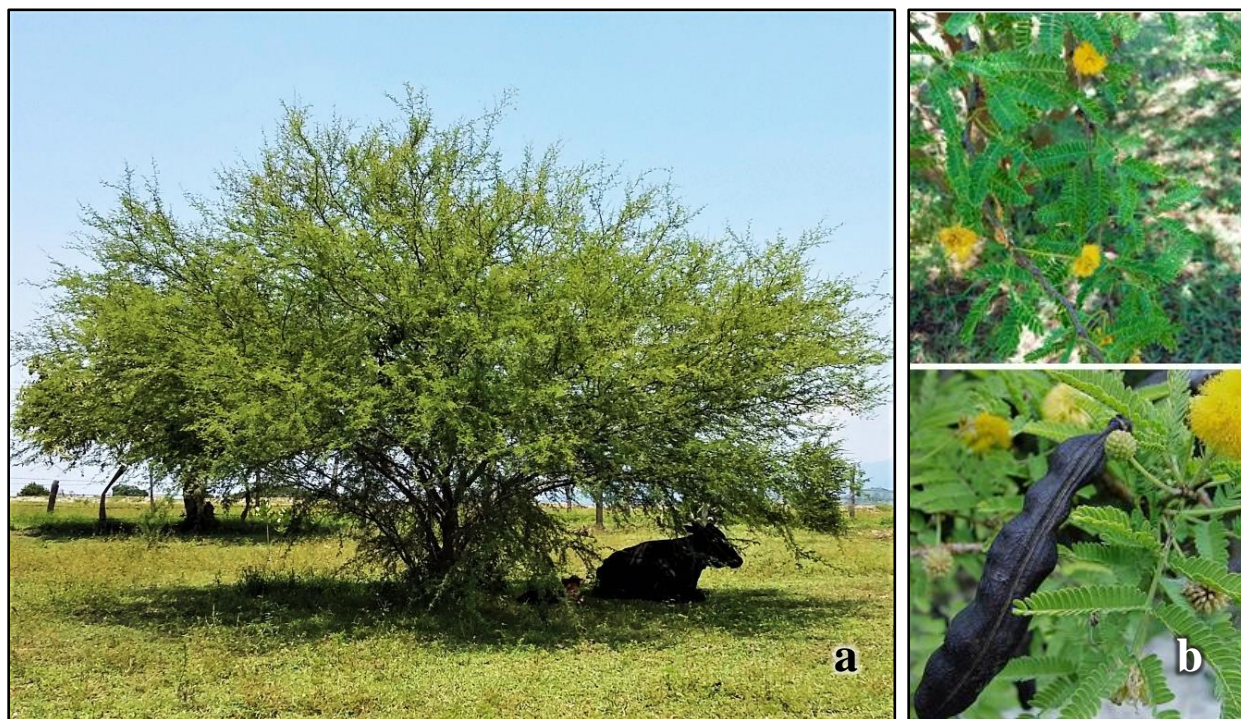


Figura 1. **a)** Individuo de *V. farnesiana*; **b)** Hojas, inflorescencias y fruto de *V. farnesiana*.

Fuente: Autora.

Posee foliolos de 5mm de largo y su pecíolo presenta una glándula diminuta cerca del primer par de pinnas (León & Poveda, 2000; Rico, 2001). Las inflorescencias son solitarias, esféricas, axilares con flores de color amarillo de 1 a 2cm de diámetro y los frutos son de textura lisa y brillante en forma de legumbre cilíndrica, ampliamente elipsoides o casi circulares, con valvas coriáceas color negro o castaño oscuro (Little *et al.*, 2001; Padrón y Ricart, 2015; Rico, 2001; Rojas y Torres, 2012, Salazar, 2000). La planta florece y fructifica durante todo el año (López *et al.*, 2012; Rico, 2001).

Esta especie, por su potencial invasivo y su capacidad de colonizar suelos secos y perturbados, se encuentra distribuida y naturalizada en los trópicos secos y sub-trópicos a nivel mundial (Cordero *et al.*, 2003; López *et al.*, 2012; Parrotta, 1992; Rico, 2001). Se propaga a través de las Indias Occidentales y en América desde el sur de Estados Unidos, pasando por

México y Centroamérica hasta Argentina y Chile, e igualmente se extiende en las Antillas, desde las Bahamas y Cuba hasta Trinidad y Tobago, Curazao y Aruba (Little *et al.*, 2001; Rico, 2001; Rojas y Torres, 2012).

El Pelá habita sobre elevaciones bajas que presenten entre 200mm y 600mm de lluvia con temperaturas entre 15°C y 28°C, aunque en muchos lugares donde se encuentra la planta los rangos de temperatura van desde los 4°C a los 40°C como en algunos lugares de la India (Salazar, 2000), por lo que se considera una especie heliófila (que prefiere estar bajo la luz directa del sol) (Bush & Van Auken, 1986). La especie es resistente a la sequía y a los incendios (Cordero *et al.*, 2003; Parrotta, 1992) y se desarrolla en suelos muy arcillosos, arenosos y con alto grado de erosión (López *et al.*, 2012) generando un aporte de Nitrógeno al suelo (Cordero *et al.*, 2003; Parrotta, 1992). Bush y Van Auken (1989) encontraron que los niveles de Carbono, Nitrógeno, Fosfato, Calcio y Potasio en el suelo por debajo de la copa *Vachellia farnesiana* fueron mayores que los valores en parches o áreas intermedias, debido a que la fijación de nitrógeno se da a partir de la hojarasca que cae al suelo y se descompone por debajo del dosel de manera rápida por la forma y tamaño que presentan las hojas.

Esta especie se encuentra relacionada con zonas que presentan altas perturbaciones (Van Auken & Bush, 1985) y es importante en el proceso de maduración de los bosques, sobretodo de los bosques secundarios ya que se encuentra presente en zonas de relictos de bosque degradado (García L., 1997; Figueroa & Galeano, 2007) y sus poblaciones se van declinando a medida que estos bosques van madurando (Bush, Richter, & Van Auken, 2006). El Pelá ha sido empleado en procesos de restauración de suelos degradados y suelos químicamente degradados, especialmente en ecosistemas con ambientes secos y fuertes procesos erosivos, ya que tolera los suelos pobres y puede mejorarlos (López *et al.*, 2012; Figueroa y Galeano, 2007) y además cuenta con un potencial de almacenamiento de carbono que le da un valor agregado para su conservación e implementación en sistemas pastoriles-silvícolas (Yerena *et al.*, 2015).

La especie *V. farnesiana* produce madera dura y pesada (1,04 g/cm³) que produce leña y carbón de buena calidad usada como combustible, herramientas agrícolas, postes y artesanías (Rodríguez, Banda, Reyes, & Estupiñán, 2012; Salazar, 2000; Cardoso, 2010), presenta un olor agradable (Cardoso, 2010), y se observa en cercas vivas en las fincas (Rico, 2001) y como

árboles aislados o dispersos usados como sombra y protección para los animales (Cordero *et al.*, 2003). Las hojas, vainas y semillas se utilizan para alimentación del ganado (Cordero *et al.*, 2003; Vargas, 2015) con un 17 a 21% de proteína (Salazar, 2000) y se destaca su potencial invasivo por medio de la excreta del ganado (Parrotta, 1992; Rico, 2001). Barrientos *et al.*, (2012) reportan el alto valor nutricional de esta planta por su contenido en proteína cruda (23%) y la concentración de aminoácidos esenciales presentes en semilla y cáscara, resaltando a la especie como un recurso aprovechable como opción alimenticia de bajo costo para ganado aún en épocas críticas de sequía.

Como uso industrial que se le da a la especie, se utiliza de manera esencial y reconocida en la producción de perfumes (Daza, 2014; Cordero *et al.*, 2003), la corteza y el fruto son ricos en taninos (7-13%) usados para teñir (Padrón & Ricart, 2015) y de la resina del tronco se extrae goma para pegar (Daza, 2014; Salazar, 2000). Dentro de los usos medicinales que presenta *Vachelia farnesiana* (Padrón & Ricart, 2015), se encuentra que los cogollos son utilizados en infusión para contrarrestar la fiebre (Figuroa & Galeano, 2007), las vainas hervidas son utilizadas en medicina tradicional, la corteza, espinas y flores se usan para el control de la diarrea, dolor de cabeza y fiebre, y el exudado se usa como antiséptico oftálmico (Sibaja, 2015); la infusión elaborada con su flor se utiliza para la dispepsia, disentería, inflamaciones de la piel, infecciones, problemas digestivos, genitales, urinarios, heridas, envenenamientos, problemas de la piel y para dolores en general (Sibaja, 2015). En el municipio de Natagaima, Tolima se utiliza la madera producida por el Pelá para leña en las viviendas, por lo que se destaca la multifuncionalidad de dicha especie.

El Pelá en Colombia es considerado como invasivo (López, González, & Cano, 2012), se reporta el ramoneo de la planta por caprinos (Valencia, Trujillo, & Vargas, 2012) y ovinos, y al ser dispersada por el ganado, requiere de limpiezas y rocerías al menos cada seis meses para mantener las pasturas. En el Sur del Departamento del Huila, es considerada como una de las plantas pioneras intermedias claves para los procesos de restauración ecológica en el Bosque Seco Tropical (bs-T) de esa zona (Vargas, 2015). Finalmente, aunque esta especie es dominante en procesos de restauración después de la actividad pecuaria, luego de unos años permite el establecimiento de otras especies, lo cual demuestra que no crea una alteración significativa en la

composición de las especies a pesar de la creencia de que puede generar desequilibrio ecológico (Yerena *et al.*, 2015).

2.6. Producción bovina doble propósito en el trópico bajo

La ganadería de doble propósito es considerada como un sistema tradicional que se orienta tanto a la producción de carne como de leche, labor que se realiza con el uso de animales obtenidos a partir de cruces de cebú (*Bos indicus*) y razas lecheras como Holstein, Normando y Pardo Suizo (*Bos taurus*) (Chica, 2011; DANE, 2015). Se caracteriza porque la alimentación en está basada en el pastoreo extensivo, las vacas son ordeñadas una vez por día con apoyo del ternero y el destete se realiza entre los 8-12 meses (Chica, 2011). El sistema doble propósito establece una solución de compromiso entre el potencial de producción de un animal, su resistencia al medio ambiente, a las plagas y enfermedades y su fertilidad entre otros (Garavito, 2012).

En zonas del trópico bajo, entre alturas que varían de 0 a 1000 m.s.n.m., se establecen las lecherías de doble propósito en Colombia, incluye los valles de los ríos Magdalena y Cauca, la Costa Atlántica y los Llanos Orientales principalmente, característicos por sus sistemas de producción extensivos, con baja utilización de insumos y producción con razas *Bos indicus*, que han mostrado una excelente adaptación a las difíciles condiciones de este entorno y cruces con *Bos taurus* en algunos casos, los cuales han revelado una excelente expresión en los climas templados (Uribe F., Zuluaga, Valencia, Murgueitio, & Ochoa, 2011). Este tipo de sistemas ganaderos han sido una alternativa para el pequeño ganadero, debido a que la leche en la ganadería doble propósito tiene gran importancia económica, conociendo que alrededor del 50% de los ingresos en las fincas derivan de la producción y venta de leche (Pinzón, 2007).

El pie de cría utilizado en las lecherías del trópico colombiano está constituido por un ganado con alto porcentaje de sangre cebú el cual se caracteriza por su total adaptación al medio, rusticidad y muy bajo potencial lechero (Pérez, 2010). Por esto es posible mejorar su potencial lechero y aprovechar sus características de rusticidad mediante el cruzamiento con razas *Bos taurus* especializadas en lechería como lo es el caso de la raza Holstein para obtener el ganado media sangre Holstein x Cebú. En un estudio donde evaluaron el comportamiento productivo y

reproductivo de cruzamientos Holstein x Cebú concluyeron que el genotipo (5/8 H x 3/8 C) presentó el mejor comportamiento en la condición corporal y en los indicadores reproductivos (Simón, López, & Álvarez, 2010), lo cual demuestra una mayor adaptación a las condiciones tropicales de pastoreo por parte de este cruce.

El Girolando no presenta inconvenientes en su adaptación a climas cálidos y presenta buena producción cuando las hembras han sido seleccionadas en función de su potencial lechero (Pérez, 2010), alcanzando niveles de producción de leche que fácilmente se ubica sobre los 2000 litros por lactancia y desteta un becerro que va a producir un ingreso económico adicional con su levante y posterior venta para carne (Castaño, 2006).

Finalmente, la producción bovina de carne y leche en el trópico ha reportado daños ambientales debido al desarrollo de una producción extensiva asentada sobre suelos sin aptitud de uso ganadero, por lo que desde el punto de vista biológico, social, económico, ambiental y político se requiere que la ganadería bovina sea eficiente y minimice la degradación de los agroecosistemas que utiliza (Garavito, 2012), y en ese sentido, incrementar la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción.

2.7. Estrés calórico en los bovinos

El término “estrés térmico” o “estrés calórico” es usado para describir lo que les ocurre a los animales cuando el calor generado por su organismo, adicional al calor absorbido del ambiente, es mayor que su capacidad para disiparlo (Cerqueira, Araújo, Cantalapiedra, Pedernera, & Blanco, 2010). El estrés implica cualquier factor que actúe de manera interna o externa al cual es difícil adaptarse y que provoca un aumento en el esfuerzo por parte del animal para mantenerse en estado de equilibrio en su interior y con su ambiente externo (Roca, 2011). Selye (1973) definió al estrés calórico como la respuesta de estímulos nerviosos y emocionales inducidos por el ambiente sobre los sistemas nervioso, endocrino, circulatorio y digestivo de un animal, produciendo cambios medibles en los niveles funcionales de estos sistemas. Luego, Leño (2008), definió al estrés calórico como cualquier combinación de las condiciones ambientales que puedan causar que la temperatura de la zona termoneutral de los animales sea superior, condiciones que se presentan durante casi todo el año en zonas tropicales.

El estrés calórico altera el equilibrio de las condiciones internas del animal, induciendo cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo y el eje hipotálamo-pituitaria-adrenocortical [HPA] (Broom, 2005). El estrés puede ser agudo o crónico, aunque, en cualquier caso, frente a una amenaza percibida por el sistema nervioso central, se desencadena una respuesta equivalente a la combinación de cuatro respuestas generales de defensa biológica por parte del comportamiento, el sistema nervioso autónomo, el sistema inmune y el sistema neuroendocrino (Romero, Uribe, & Sánchez, 2011).

A pesar de que estos sistemas biológicos de defensa están disponibles para que el animal reaccione frente a un factor de estrés, no necesariamente son utilizados los cuatro contra todos los factores de estrés, ya que particularmente la homeostasis se mantiene cuando solo los dos primeros mecanismos están involucrados, y cuando los cuatro mecanismos de defensa han sido implicados, algunas de las funciones biológicas pueden verse modificadas adversamente y los animales estarán en peligro (Trevisi & Bertoni, 2009; Romero, Uribe, & Sánchez, 2011).

La temperatura del animal homeotermo es mayor a la del ambiente que lo rodea por lo que pierde calor y lo cede al ambiente por cuatro vías, ya sea por evaporación, convección (al medio que lo rodea, en este caso el aire), conducción (a los objetos con los cuales está en contacto, piso) o radiación (a los objetos cercanos) (Álvarez, 2002; Hinsch, 1990). Dichas pérdidas son proporcionales a la diferencia de temperatura entre el objeto que emite y el que recibe, por lo que al aumento de la temperatura ambiental se disminuye la posibilidad de perder calor por estas vías y en efecto, se deben aumentar las pérdidas por evaporación de agua, la cual se realiza en los pulmones y a nivel cutáneo, por medio de la sudoración (Álvarez, 2002; Hinsch, 1990).

La evaporación de agua es más fácil en un ambiente seco que en uno húmedo, por esta razón se soporta más fácilmente el calor en los climas secos, por ejemplo en ambientes cálidos los bovinos de razas *Bos indicus* cuentan con mayor capacidad para perder agua por evaporación a nivel de la piel por lo que se ven favorecidos frente a los bovinos de origen *Bos taurus* en los cuales esta capacidad es menor (Álvarez, 2002; Hinsch, 1990; Vélez & Uribe, 2010). Es importante resaltar adaptaciones evolutivas que exponen diferencias fisiológicas entre los diferentes géneros de las especies *Bos indicus*, y *Bos taurus*, entre las cuales se resaltan el color

del pelaje que se considera una adaptación ya sea para rechazar la radiación solar el caso de las razas cebuinas por su color blanco, o absorber la radiación solar como es el caso de las razas taurinas los colores negro o rojo (DANE, 2016a). También se resalta la capacidad de sudoración el cual es mayor en las razas cebuinas en razón a que tienen 25% más de glándulas sudoríparas por cm^2 , frente a las razas *Bos Taurus*. Asimismo, los cruces de *Bos indicus* x *Bos taurus* presentan un 10 a 16% más de glándulas sudoríparas por cm^2 (Villar, 2012).

El estrés calórico en bovinos lecheros afecta los mecanismos de termorregulación animal perturbando su ZCT, lo que a su vez altera el consumo diario de alimento, las concentraciones hormonales y el metabolismo. Esto tiene relación con la producción y la reproducción por lo que dichas afectaciones generadas por el estrés calórico en los bovinos lecheros se pueden cuantificar en la producción de leche (cantidad y calidad) y la reproducción (WingChing-Jones, Pérez, & Salazar, 2008).

De la energía total consumida en el día, los bovinos destinan el 60%-65% a la producción de carne o de leche y el 35%-40% es convertido en calor (Yabuta, 2001), siendo el ganado Cebú y sus cruces los que muestran mayor tolerancia al calor en comparación con el ganado europeo, debido a que tal tolerancia no depende de la capacidad de sudoración sino de una menor generación de calor la cual posiblemente se debe a su menor nivel de producción láctea y al menor consumo de alimento gracias a que cuentan con una mayor eficiencia en la conversión alimentaria (Bonilla, 1999).

2.7.1. Variables climatológicas de influencia en el grado de confort del ganado bovino.

Como variables climatológicas de importancia que afectan al ganado bovino, se encuentran interacciones como la temperatura ($^{\circ}\text{T}, ^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%HR, %), radiación solar ($\text{Rs}, \text{W}/\text{m}^2$) y velocidad del viento ($\text{Vv}, \text{m}/\text{s}$) que por fuera de sus rangos normales, inciden en el desempeño productivo del ganado al desplazar al ganado de su ZCT (Molina, Silva, Perilla, & Sánchez, 2015). Dentro de las variables más correlacionadas en función del estrés calórico en bovinos, se encuentra la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y las precipitaciones.

2.7.1.1. Temperatura del aire.

La temperatura del aire que rodea a un animal es sumamente importante para determinar el grado de confort que el mismo experimenta en un ambiente determinado. Si la temperatura del ambiente es elevada disminuyen en forma rápida las pérdidas de calor que dependen fundamentalmente del gradiente de temperatura entre el animal y el ambiente (Cony, Casagrande, & Vergara, 2004). El concepto de Zona de Confort Térmico [ZCT] representa el rango de temperatura en el cual la producción de calor del animal se mantiene basal y sin necesidad de activar sus mecanismos de autorregulación térmica que impliquen ajustes fisiológicos o de comportamiento (Arias, Madeb, & Escobar, 2008; Roca, 2011; Khalifa, 2003). En estas condiciones los animales pueden expresar su máximo potencial productivo.

Si la temperatura del aire es superior a la temperatura de confort, la pérdida de calor disminuye y si la temperatura aumenta hasta ser mayor que la temperatura de la piel, el calor fluirá en dirección inversa (Córdova, Murillo, & Castillo, 2010). Además del calor procedente de la atmósfera, el organismo animal puede calentarse o enfriarse por la temperatura de los objetos que le rodean siendo así el suelo la fuente más importante de calor (Bavera & Béguet, 2003).

2.7.1.2. Humedad relativa.

La humedad relativa (HR) es considerada un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas (Da Silva, 2006). La tasa de evaporación depende de la gradiente de presión de vapor que existe entre el animal y el medioambiente circundante e igualmente de la resistencia al movimiento en contra de la gradiente (Arias, Madeb, & Escobar, 2008).

Si el aire se encuentra saturado o presenta un alto contenido de vapor de agua, la vía de disipación de calor por evaporación se verá frenada y el ambiente se tomara más estresante para el animal (Cony, Casagrande, & Vergara, 2004). En zonas cálidas y secas la pérdida de calor por evaporación es rápida, pero en zonas cálidas y húmedas, la pérdida de calor por evaporación es lenta alterando el equilibrio térmico del animal (Bavera & Béguet, 2003; Herrera, 2011).

2.7.1.3. Radiación Solar.

La radiación solar es una variable que acentúa el efecto que la temperatura ejerce sobre el estrés del ganado, debido a que suma más calor al ya existente con las altas temperaturas y porcentajes de humedad (Da Silva, 2006). Ya sea radiación directa o indirecta, es considerada como uno de los factores más importantes debido a que está íntimamente relacionada con la temperatura atmosférica, el grado de nubosidad y las precipitaciones (Bavera & Béguet, 2003). La radiación tanto de onda corta como de onda larga tiene efectos en la carga total de calor y en el estrés calórico en los bovinos, debido a su impacto en la temperatura rectal y la tasa de respiración en el animal (Lusk, 1989).

Del calor radiante total que recibe el animal del sol, el 50 % procede de la radiación solar directa y reflejada en las nubes y partículas de la atmósfera, y el otro 50% procede de la radiación solar reflejada por el suelo y otros objetos que rodean al animal, aunque el calor que absorbe el cuerpo del animal depende también de la postura, forma, tamaño, longitud de su pelo, el ángulo del sol, entre otros (Bavera & Béguet, 2003), por lo que si no existe sombra disponible, el animal cambiará su postura a una posición vertical con respecto al sol, con la finalidad de reducir el área efectiva de incidencia de la radiación y por ende el intercambio de calor (Roca, 2011).

2.7.1.4. Precipitación.

La lluvia ejerce efectos directos sobre el animal al favorecer la disipación de calor mediante la evaporación, por lo que en un ambiente cálido la humedad retenida en la piel del animal disminuye el estrés térmico al evaporarse (Bavera & Béguet, 2003; Herrera, 2011). La ausencia de eventos de lluvia acentúa los efectos de la temperatura ambiente sobre la fisiología de los animales, al hacer variar el porcentaje de humedad del aire y maximizar las demandas evaporativas del cuerpo (Leaño, 2008).

Por otra parte, la precipitación afecta la distribución y cantidad de pasto, que dependiendo de las características del suelo y de la cantidad de lluvia, puede generar déficit hídrico disminuyendo la oferta y alterando las distancias que los animales deben recorrer entre la fuente de agua, pastos y sombra (Leaño, 2008).

2.7.1.5. El viento.

La velocidad del aire ayuda a reducir los efectos del estrés por calor durante el verano al mejorar los procesos de disipación de calor por evaporación sobre la piel del animal (Bavera & Béguet, 2003; Arias, Madeb, & Escobar, 2008) aunque que esta respuesta depende del estado en que se encuentra la piel del animal, por lo que la transferencia de calor es más eficiente cuando la piel esta húmeda que cuando está seca (Arias, Madeb, & Escobar, 2008). Si la temperatura del aire es superior a la temperatura de la piel, el animal ganará calor del medio que lo rodea y todo incremento en la velocidad del aire, solo servirá para aumentar esa ganancia (Herrera, 2011). Cuando la piel aparece desnuda, las pérdidas de calor en el animal por el movimiento del aire son relativamente más simple, aunque se complica con la presencia de pelo (Córdova, Murillo, & Castillo, 2010).

2.7.2. Efectos del estrés calórico en los bovinos.

Los efectos del estrés calórico se ven reflejados en la producción y reproducción del ganado. Los parámetros de producción y calidad de la leche se ven afectados por cambios en los factores meteorológicos, principalmente por los efectos que estos cambios tienen sobre la producción de forraje en los hatos (Echeverry & Restrepo, 2009). WingChing-Jones, Pérez, y Salazar (2008), afirman que dentro de las variables ambientales que más repercuten sobre la producción de leche se encuentra la humedad relativa ($p < 0,001$), mientras que la temperatura ambiental ($p = 0,32$) no ejerce un efecto directo. Los rendimientos lácteos disminuyen de un 50 a un 75% a temperaturas superiores a $26,5^{\circ}\text{C}$ con vacas Holstein y superiores a $29,5^{\circ}\text{C}$ con vacas Jersey y Pardo Suizo (Salvador, 2014).

En la reproducción, el estrés calórico desencadena alteraciones agudas y crónicas en concentraciones plasmáticas de cortisol y hormonas tiroideas, altera el desarrollo folicular, el celo, la implantación, el desarrollo embrionario temprano, la gestación, el parto y el regreso al calor durante el posparto (Góngora & Hernández, 2010). Además, puede generar alteraciones en las reacciones fisiológicas y el comportamiento de los animales por lo que el clima, el medio ambiente cambiante, el ruido y la alta densidad animal son factores causantes de estrés, y desencadenan serios problemas reproductivos que afectan el potencial para desarrollar un embrión viable (Vélez & Uribe, 2010). Estos efectos se ven más acentuados en razas del *Bos*

taurus; sin embargo, la ocurrencia de estas alteraciones dependen del grado de adaptación de los animales lo cual es clave para entender las excepciones existentes, como en el caso de las razas taurinas colombianas, que están adaptadas a rangos de temperatura que son nocivos para los animales no adaptados (Góngora & Hernández, 2010).

2.7.2.1. Indicadores comportamentales y fisiológicos de estrés calórico en los bovinos.

El estrés calórico ha sido utilizado como un indicador del bienestar animal. La determinación de la presencia de estrés en los bovinos requiere de indicadores que sean prácticos y que permitan el monitoreo del bienestar animal. Frente a esto, se han estudiado indicadores a partir del comportamiento animal y de la respuesta fisiológica que adopta el ganado cuando se encuentra bajo un ambiente de estrés. Como indicadores comportamentales en los bovinos al encontrarse en un ambiente que favorece el estrés calórico se encuentran (Cerqueira *et al.*, 2010; La Manna, Román, Bravo, & Aguilar, 2014):

- La búsqueda de sombra, ya que a través del suministro de sombra se reduce la incorporación de calor proveniente de la radiación solar.
- Un mayor consumo de agua, debido a que a través de esta actividad por el aumento de la actividad renal hay eliminación térmica por la orina.
- Menor ingesta de alimentos (inapetencia fisiológica), de tal modo que el animal elimina la principal fuente de abastecimiento térmico significando una disminución en las variables de producción (crecimiento, ganancia de peso vivo y producción láctea).

Los indicadores fisiológicos de respuesta están representados por el aumento de la temperatura corporal, frecuencia respiratoria, frecuencia cardiaca, la presencia de sudoración, vasodilatación y alteración en el estatus ácido-básico en el animal (Barragán, Mahecha & Cajas, 2015; La Manna *et al.*, 2014, Arias, Madeb, & Escobar, 2008). Según Herrera (2011), los indicadores fisiológicos más estudiados incluyen:

- Aumento de la Temperatura Corporal, o hipertermia la cual se considera un criterio cuantitativo útil para valorar el grado de estrés agudo. Pese a que la temperatura corporal está producida por las contracciones musculares, la asimilación de los alimentos y los

procesos metabólicos (Lusk, 1989), en ciertas situaciones estresantes existe otro componente denominado hipertermia inducida por estrés.

- Aumento de la Frecuencia Respiratoria (Polipnea, jadeo), en razón a que aumenta la masa de aire que entra en contacto con la superficie pulmonar, actividad que arrastra mayor cantidad de vapor de agua. Se ha demostrado que el aumento de la frecuencia respiratoria es un mecanismo eficiente para perder calor en situaciones de estrés calórico (Ferreira *et al.*, 2006; Arias, Madeb, & Escobar, 2008).
- Aumento de la Frecuencia Cardíaca, debido a un estímulo estresante que produce una taquicardia en consecuencia de la liberación de las catecolaminas (neurotransmisores que se vierten al torrente sanguíneo), especialmente adrenalina y noradrenalina, que ponen al animal en estado de alerta (Romero, Uribe, & Sánchez, 2011).

2.7.3. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) como método para cuantificar el estrés calórico.

Al momento de cuantificar las condiciones ambientales y su relación con la productividad animal, se han utilizado los índices biometeorológicos los cuales se han ajustado para permitir relacionar las variables biológicas en función de las meteorológicas (Saravia *et al.*, 2011). Entre los índices biometeorológicos más conocidos están el índice de temperatura y humedad, índice de humedad en globo negro, índice de temperatura equivalente, índice de carga calórica para ganado de carne, e índice de carga calórica para vacas lecheras (Molina *et al.*, 2015). El más difundido y utilizado para caracterizar el ambiente térmico a partir de la estimación del efecto combinado de la humedad relativa (%) y la temperatura (°C), es el Índice de Temperatura y Humedad [ITH] desarrollado por Thom (1959), que ha funcionado como base para sistemas de advertencia y para la evaluación de las consecuencias económicas del estrés calórico en ambientes naturales y/o modificados (Saravia *et al.*, 2011).

La Fórmula del ITH o índice de confort (DI) propuesta por Thom (1959) está expresada como: $DI = 0,4 (Ta + Twb) + 4,8$ donde Ta y Twb corresponde a temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo. Dicha fórmula ha sido adaptada por Armstrong (1994) y por Valtorta y Gallardo (1996) de tal modo que no se habla de la temperatura de bulbo seco y húmedo sino la Humedad Relativa, siendo expresada como se muestra en la ecuación 1.

$$\text{THI: } (1.8 * \text{Ta} + 32) - (0.55 - 0.55 * \text{HR}/100) * (1.8 * \text{Ta} - 26) \quad (1)$$

Ta (Temperatura del aire °C)

HR (Humedad del aire %)

Este índice es usado como herramienta de manejo en sistemas de producción animal reconociendo tres categorías del estrés térmico y toma de decisiones en relación al ambiente, como lo son: normal, alerta, peligro y emergencia. En la Tabla 2 y 3 se presentan respectivamente el Índice de Temperatura y Humedad aplicada por Amstrong (1994) y Valtorta y Gallardo (1996) y las Categorías de estrés térmico para los diferentes rangos de ITH según el World Meteorological Organization [WMO] (1989).

Tabla 2

Diferentes combinaciones de Temperatura y Humedad Relativa y su ITH correspondiente.

		Humedad Relativa [%HR].																						
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90		95	100	
Temperatura del aire [Ta]	22	64	64	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	Estrés moderado	
	23	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73		
	24	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75		
	25	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77		
	26	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	Estrés Elevado
	27	68	69	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81	
	28	69	70	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	
	29	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84	
	30	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	85	86	Estrés severo
	31	71	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	85	86	87	87	88	
	32	72	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	89	90	
	33	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91	91	
	34	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	93	
	35	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	95	
	36	75	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	96	97	Muerte de vacas
	37	76	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	94	95	96	97	97	99	
	38	77	78	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100	100	
	39	78	79	80	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	94	95	96	97	99	100	101	101	102	
	40	79	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	103	104	
	41	80	81	82	83	85	86	87	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	106	106	
42	80	82	83	84	86	87	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	104	105	106	108	108		
43	81	83	84	85	87	88	90	91	92	94	95	97	98	100	101	102	104	105	107	108	109	109		
44	82	83	85	86	88	89	91	92	94	95	97	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	111		
45	108	84	86	87	89	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111	113	113		

Fuente: La Manna *et al.*, 2014.

Tabla 3
Categorías de Estrés Calórico (EC) para animales en producción.

ITH	Categoría	Interpretación
<70	Normal	Condiciones adecuadas, el animal no se encuentra bajo ningún estrés por calor.
71-78	Alerta	Aproximándose al límite crítico de producción, preparándose para tomar precauciones, no dejar los animales expuestos al sol.
79-83	Peligro	Por encima del límite crítico de producción; no someter a los animales a demasiados movimientos.
>84	Emergencia	Condiciones extremas de estrés calórico en la producción; minimizar cualquier actividad, se deben realizar actividades de manejo durante la mañana.

Fuente: Olivares, Guevara, Oliveros y López (2013).

Los rangos de temperatura ambiental reportados como de confort para animales de tipo *Bos taurus* van de 0 a 20°C y para *Bos indicus* de 10 a 27°C, con 70% de humedad ambiental en ambos casos, aunque se reportan diferencias entre razas, edad, estado fisiológico, sexo y variaciones individuales de los animales (Jhonson, Citado por Vélez y Uribe, 2010). La zona de confort térmico para animales ½ Holstein - ½ Cebú, tomando como base la temperatura de la superficie corporal, toma valores de ITH menores a 76 puntos; con ITH de 79 o más, se llega a valores críticos para la presencia de EC (De Azevedo *et al.*, 2005).

En términos fisiológicos y productivos, Leño (2008) describe que el aumento de cada punto en los valores de ITH con temperaturas superiores a los 18°C significan para el ganado en producción de leche una disminución de 0,26 kilos de leche por día, una disminución en el consumo de forraje por día de 0,23 kilos y el incremento de 0,12°C en la temperatura corporal de la vaca.

2.8. El Silvopastoreo y su importancia en la reducción del estrés calórico en bovinos

El Silvopastoreo es un tipo de agroforestería aplicada en la producción pecuaria, considerado como un sistema en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), bajo un sistema de manejo

integral de producción pecuaria a partir de un amplio rango de técnicas (Krishnamurthy, 1999; Mahecha, 2002).

Los sistemas silvopastoriles como una alternativa de producción sostenible, permite reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción (Mahecha, 2002), a través del uso de árboles como un componente productivo en los sistemas de producción ganadera en los diferentes agroecosistemas, de tal modo que logran mitigar los efectos negativos ambientales generados en los sistemas de producción tradicionales, mejoran el bienestar animal e incrementan la productividad animal (Navas, 2010).

Para lograr la implementación de los sistemas silvopastoriles, por parte de los productores de América tropical, se deben sobrepasar limitaciones no solamente biológicas y sociales, sino principalmente económicas por lo que es importante, según las consideraciones de Russo y Boreto (2005):

- Plantar árboles nativos para reducir el riesgo de ataque de plagas y enfermedades y tener seguridad sobre su adaptación al medio.
- Plantar árboles que generen diversidad de productos tales como madera, frutos, medicinas, materias primas industriales, forraje, leña entre otros, además del beneficio ambiental.
- Tanto arbustos como árboles para ramoneo deben ser intercalados entre los forrajeros de corte y los maderables, buscando reducir el daño que sufren algunas especies forestales por parte de los animales al ser descortezado.
- Especies arbustivas y arbóreas deben ser establecidas en asociación con cultivos agrícolas, para financiar el lucro de un lote que no puede ser utilizado durante el tiempo que transcurre entre su establecimiento hasta darse el pastoreo sin daño.
- Los cultivos agrícolas y los árboles permiten obtener un producto comercializable o de consumo interno y generar empleo adicional durante su siembra, control de malezas, fertilización, raleo, cosecha y demás labores del cultivo.
- Con el forraje arbóreo de mayor calidad, además del incremento en la calidad y cantidad del forraje de las gramíneas asociadas en silvopasturas, se logra la intensificación de los sistemas de producción con rumiantes en el trópico.

- Una mayor productividad del sistema puede ser el efecto del confort obtenido por los animales a partir de la sombra que producen los árboles.

Las cercas vivas y las barreras rompe-vientos en los sistemas silvopastoriles brindan protección contra el efecto de los vientos sobre los pastos y cultivos, e igualmente proveen un mejor ambiente para los animales, disminuyendo así la presencia de deshidratación y enfermedades respiratorias principalmente; contribuyen a acortar las distancias entre los sitios de descanso para la rumia o de sombra reduciendo el gasto de energía invertida por los animales al realizar dichos desplazamientos lo cual aumenta la productividad (Uribe F. *et al.*, 2011). Durante la época de verano, estos arreglos son de gran importancia sobre todo cuando las corrientes de aire secan los pastos y en efecto disminuyen la disponibilidad de forrajes para el ganado.

Sobre la importancia de los sistemas silvopastoriles en la ganadería tropical, de acuerdo al beneficio que cumple el componente arbóreo sobre la actividad ganadera y sobre el medio ambiente, los árboles son considerados como modificadores del forraje y como forrajeros, gracias a que la introducción de árboles puede incrementar la cantidad total de forraje disponible para el ganado, lo cual depende del manejo que se realice a los árboles, la densidad y la cobertura arbórea utilizada, así como las especies forrajeras involucradas, la condición del pasto y la región analizada (Mahecha, 2003). La producción forrajera se estabiliza sobre todo en temporadas de bajas precipitaciones y de acuerdo con la especie arbórea asociada, esta puede proveer de forraje a través del follaje o frutos para la alimentación del ganado.

Como modificadores del ambiente para los animales y de la producción animal, los sistemas silvopastoriles permiten el suministro de sombra al ganado reduciendo el estrés calórico e igualmente brindan protección de la lluvia y la radiación (Mahecha, 2003). Pezo e Ibraim (Citado por Navas, 2010) evidencian la presencia de efectos positivos en el consumo voluntario debido a un mayor tiempo dedicado a la rumia y el pastoreo, en la producción de carne y/o leche por eficiencia en la conversión alimenticia, en la reproducción por regulación del ciclo estral mejorando la tasa de concepción, y en la sobrevivencia de los animales por mayor vida útil y respuesta inmunológica a enfermedades. Efecto que se resalta en mayor medida en razas *Bos taurus* las cuales tienen menor tolerancia a las condiciones tropicales.

Navas (2010) concluye que los sistemas silvopastoriles contribuyen a mejorar el bienestar animal y la eficiencia productiva y reproductiva de los hatos ganaderos por medio de la generación de microclimas que permiten a los animales estar cerca o en el rango de termoneutralidad ideal para la composición de cual sea la raza, y de esta manera reducir los impactos negativos del estrés calórico en los animales bajo los diferentes agroecosistemas tropicales. Desde el punto de vista de la medición del Bienestar Animal, en cuanto a los indicadores basados en el medio ambiente que rodea al animal, Navas (2010) afirma que el sistema silvopastoril le proporciona al animal protección contra los vientos deshidratantes, reducción del estrés calórico aumentando la sensación de confort lo que se traduce en una mejor conversión alimenticia.

En un estudio realizado por Escobar, Hernández, Giraldo y Mahecha (2001) donde se evaluó el efecto del microambiente (medido en temperatura, humedad relativa e intensidad de luz) generado por un sistema silvopastoril de *Acacia mangium* y *Brachiaria humidicola* durante la época seca sobre el consumo de forraje y sobre algunas constantes fisiológicas, encontraron que la temperatura rectal fue mayor en las vacas que ocuparon el potrero testigo durante las horas evaluadas. Se encontró una temperatura rectal de 38,8°C en los animales en el monocultivo y de 38,5°C en el sistema silvopastoril, en las horas de la mañana, aumentando la diferencia en horas de la tarde donde la temperatura fue de 39,3°C y 38,7°C, respectivamente. Los resultados de dicho estudio, junto a una mayor disponibilidad, calidad y estabilidad de la producción de forraje que se reportan en los sistemas silvopastoriles, evidencian el efecto positivo de estos sistemas sobre la producción bovina.

En otra investigación realizada por Barragán, Mahecha y Cajas (2015), que tuvo como objetivo valorar cambios en parámetros fisiológicos y metabólicos como indicadores de estrés calórico de vacas de cruce 50% Romosinuano, 25% Hosltein y 25% Cebú comercial bajo silvopastoreo y pradera sin árboles, encontraron que a la 1:00pm el ganado ubicado en los tratamientos de potrero sin árboles ($^{\circ}T=37,91^{\circ}C$) y silvopastoril con solo arbustos ($^{\circ}T=38,18^{\circ}C$) presentaron una mayor temperatura de la piel ($p<0,05$) que los tratamientos silvopastoriles con sombrío proveniente de árboles ($^{\circ}T=36,55^{\circ}C$ y $36,39^{\circ}C$) por lo que evidenciaron un efecto positivo del sombrío proveniente de árboles en el sistema sobre las variables fisiológicas evaluadas.

Osorio (2014) encontró que las vacas bajo mayor sombra en sistemas silvopastoriles consumen forraje en las horas del día más cálidas mientras que en las mismas horas se puede observar al ganado bajo menor cobertura ocultándose bajo la sombra, como primeros signos de estrés. De igual modo, el mismo autor evidenció que los animales ubicados bajo mayor cobertura arbórea presentaron una mejor recuperación de la condición corporal que los animales bajo cobertura insuficiente y de igual modo los terneros al destete presentaron mayores ganancias de peso. De acuerdo con lo anterior, Osorio (2014) concluyó que los arreglos silvopastoriles con sombrío del 22% al 30% del total del área de los potreros bajo el arreglo de árboles dispersos y de árboles en callejón central, crearon microclimas que registraron una reducción de temperatura de menos 2°C lo cual permitió ofrecer confort al animal lo cual se reflejó en el comportamiento del animal y en los parámetros productivos.

En la producción de leche, Betancourt (2003), evidenció diferencias en vacas doble propósito por la cobertura arbórea, con una producción promedio de 4,5 litros/vaca/día con cobertura entre el 22 y 30%, siendo un 22% superior a la obtenida en potreros con coberturas bajas. Así mismo, Sousa de Abreu (2002), quien trabajó con razas bovinas de lechería especializada, encontró que la producción de leche fue de 13,9 kg/vaca/día en potreros con sombra la cual fue mayor que la producción obtenida en potreros sin sombrío (12,3 kg/vaca/día). Por el contrario, Chica (2011) encontró que la producción de leche en vacas doble propósito no presentó variación en cuanto a la alta o baja presencia de árboles en los potreros tanto en época seca como en época lluviosa, lo cual refleja que potreros con alta cobertura arbórea no influyen en la producción de leche.

Sobre los efectos del estrés calórico en el bienestar animal, Roca (2011) sugiere que para evitarlos se establezcan sistemas silvopastoriles que provean sombra, especialmente en lugares donde la temperatura sea mayor a 25°C, que la distancia entre abrevaderos y áreas de pastoreo permita el acceso de los animales por lo menos dos veces al día y que los bebederos suministren agua limpia. Además, Roca (2011) afirma que en términos de bienestar animal, el criar animales de razas no adaptadas al calor en áreas en las que típicamente se exceden los 25°C, no es correcto ya que superando los límites de la zona de confort comienzan los problemas en sus funciones fisiológicas, por lo que los sistemas silvopastoriles juegan un papel importante en la generación de microclimas y el confort del ganado.

3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

El trabajo se enmarcó dentro del tipo de investigación cuantitativo experimental, que permite determinar el efecto de una variable independiente sobre una variable dependiente, o el efecto conjunto de dos o más variables independientes sobre otra (Briones, 1996). Para efectos del análisis de las variables se utilizó la investigación correlacional, ya que este tipo de investigación permite determinar el grado en el cual las variaciones en uno o más factores están relacionadas con la variación en otro u otros factores (Monje, 2011).

3.2. Hipótesis

La cobertura arbustiva proporcionada por el Pelá genera microclimas que aportan a la reducción del estrés calórico en los bovinos y en efecto, ayuda a mejorar los parámetros productivos.

3.3. Localización

La investigación se desarrolló en la finca “Santa Lucía” con coordenadas 3°38’34.48” N 75°04’58.86” O, a una elevación de 320m.s.n.m., ubicada en el Distrito de riego del Sur del Tolima-Canal 4-zona 3, vereda Baloca, municipio de Natagaima, Tolima (Figura 2). La vereda Baloca tiene un área de 2.345ha, limita al sur con el casco urbano de Natagaima y al norte con el Municipio de Coyaima. En esta vereda se encuentra ubicada la comunidad indígena de Baloca y parte del territorio del Resguardo del Tambo (Alcaldía municipal de Natagaima, 2012).

Natagaima es el tercer municipio con mayor número de comunidades indígenas de la población Pijao en el departamento, con un total de 47 comunidades. De éstas, 24 se encuentran constituidas como resguardos y 24 se encuentran organizadas bajo la figura de cabildo (Ministerio del Interior, 2013). De la población indígena descendiente de los Pijao, el 36% se concentra en el municipio de Natagaima, y su actividad económica predominante es la producción agropecuaria con destino inicial al autoconsumo, bajo modelos agroforestales

complejos que representan una alternativa para la conservación del ecosistema bosque seco tropical (Acevedo, 2016).

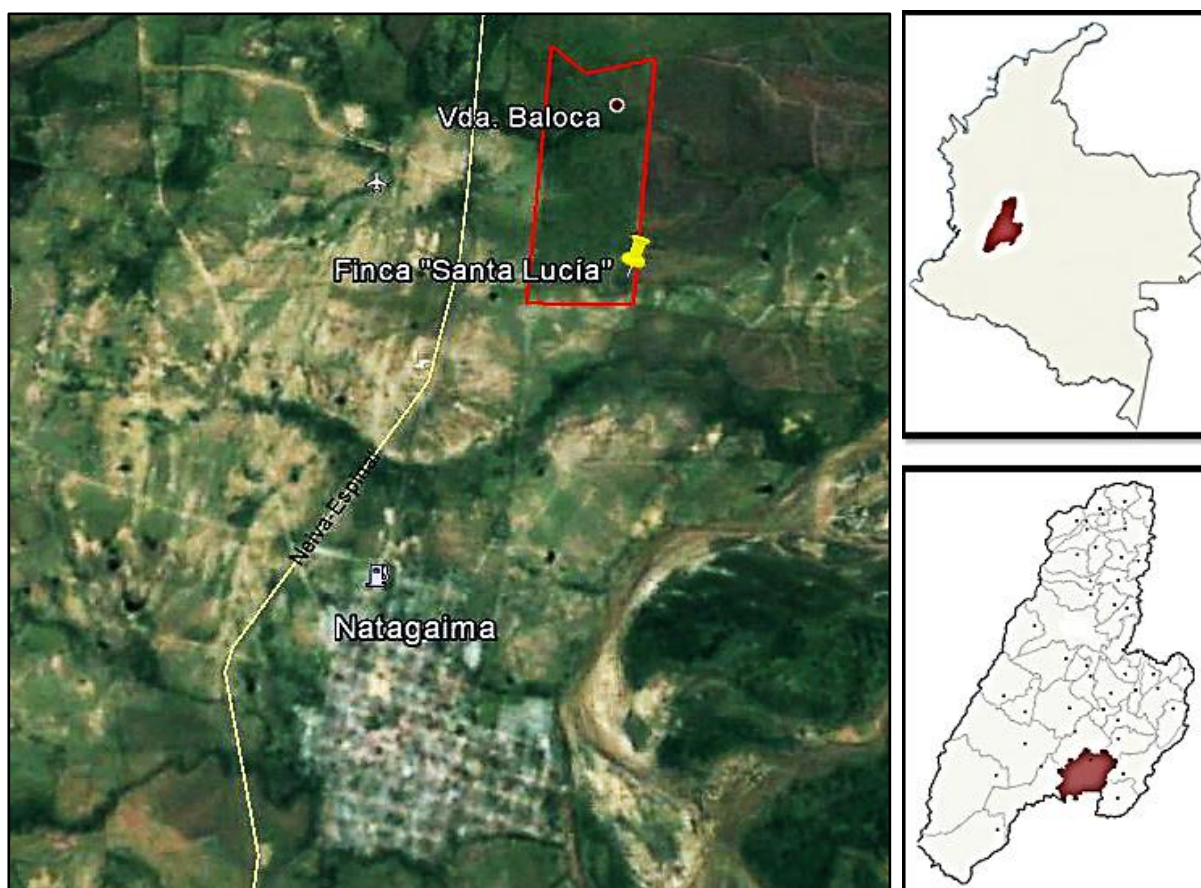


Figura 2. Ubicación geográfica de la finca “Santa Lucía”. Fuente: Google Earth.

El municipio de Natagaima se caracteriza por presentar clima cálido semiárido (Csa) y se encuentra ubicada dentro la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T) según el esquema de Holdridge (CORPOICA, 2005; Instituto Alexander von Humboldt [IAVH], 1998), con pendiente del 0,1%, característico por el crecimiento bajo de arvenses y gramíneas al igual que la densidad arbórea, siendo alta la cantidad de luz solar en algunos lugares y la cantidad sombra por proporcionar es nula (Galeano, Gómez, & Gómez, 2013).

La temperatura promedio en el municipio es de 29°C y la precipitación promedio anual es de 1493,9mm, siendo esta región característica por la presencia de cultivos de arroz, algodón, maíz, plátano, papaya, limón, entre otros, además de pastizales para ganadería extensiva e intensiva, de algunos cultivos comerciales, de pancoger y de cultivos mecanizados y monocultivos con dominancia de bosques xerofíticos (Alcaldía municipal de Natagaima, 2012).

3.4. Fases, métodos y herramientas de investigación.

3.4.1. Diseño experimental.

El experimento se llevó a cabo durante 50 días comprendidos entre los meses de Agosto y Septiembre del 2016, aplicando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con estructura de 4 tratamientos equivalentes a la combinación de porcentajes de cobertura obtenidos de lotes diferenciados a partir de la caracterización del Pelá como recurso arbustivo estudiado, los cuales se clasificaron en tres tipos de cobertura (Tabla 4). Las repeticiones fueron equivalentes a 5 días de ocupación por parte de las 3 sub-muestras de bovinos seleccionadas y correspondientes a los 3 tipos de cobertura, como se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4

Identificación gráfica de los tratamientos y repeticiones en el diseño experimental.

Mes	Agosto		Septiembre	
Tratamiento	1	2	3	4
Repeticiones	4	1	1	4
Días de ocupación	20	5	5	20
Tipo de cobertura	<i>alta</i>			
	<i>media</i>			
	<i>baja</i>			
<i>Testigo ambiental</i>	Sin cobertura			

Fuente: Autora.

Para el presente diseño, se aplicó el modelo lineal expresado en la ecuación 2. Los análisis del recurso arbustivo de Pelá, de las variables del microclima y de las variables de respuesta en los bovinos, descritas en la metodología, se realizaron por repeticiones para 3 horas de muestreo (10:00am, 1:00pm y 4:00pm).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

$i = 1, \dots, t$; t = Número de tratamientos.

$j = 1, \dots, n$; n = Número de repeticiones por tratamiento.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Error experimental.

3.4.2. Preliminares.

3.4.2.1. *Caracterización del sistema productivo.*

A partir de visitas al predio y diálogos con el propietario y los trabajadores implicados en las labores cotidianas de la finca, se conoció la distribución productiva del predio, las especies cultivadas y el tipo de manejo realizado. Se realizó una descripción del sistema de rotación de potreros y una descripción detallada de la situación actual del ganado en términos del propósito productivo, número de animales por etapa productiva y producción promedio. Finalmente, con datos suministrados por el veterinario encargado en la finca, se conoció la situación actual del ganado en términos de la condición corporal (CCC), índice de fertilidad, promedio de días abiertos (DA), intervalo entre partos (IP), natalidad y mortalidad, edad al primer parto y forma de reproducción.

3.4.2.2. *Caracterización de los lotes y del recurso arbustivo presente en los mismos.*

Se hizo una revisión de los lotes destinados al pastoreo del hato en el predio, de los cuales se seleccionaron 7 lotes que fueron identificados a partir de los siguientes parámetros dasométricos:

3.4.2.2.1. *Área del lote (Al).*

Se realizaron recorridos por el cercado de cada lote con un dispositivo GPS marca GARMIN obteniendo las respectivas áreas ($A_{Pelá}$). Teniendo en cuenta la presencia adicional de especies arbóreas dispuestas de manera lineal a modo de cercas vivas en los lotes, y que estas igualmente aportan al microclima generado en el lote, se hizo la medición adicional del área que ocupó dicha disposición arbórea (A_{cv}) aplicando la ecuación 3, siendo el área del lote (A_l) para este caso el equivalente a la sumatoria entre el área medida con GPS y el área ocupada por la cerca viva alrededor del lote (ecuación 4).

$$A_{cv} = L * A \quad (3)$$

A_{cv} (Área ocupada por la cerca viva)

L (largo ocupado por la cerca viva)

A (Ancho ocupado por la cerca viva)

$$A_l = A_{pelá} + A_{cv} \quad (4)$$

3.4.2.2.2. Densidad de Pelá ($\rho_{Pelá}$).

La densidad, equivalente al número total de individuos en un área determinada, se obtuvo a partir de un conteo directo del total de individuos (#Ind) de la especie y de los dispuestos en la cerca viva (#IndCV) cuando fue requerido, en el área ocupada por el Pelá ($A_{Pelá}$) y por la cerca viva respectivamente, obteniendo del mismo modo la densidad de esta disposición arbórea (ρ_{CV}).

3.4.2.2.3. Área basal promedio de Pelá (AB).

Se midió el perímetro a la base (CAB) con una cinta métrica en una muestra de 10 plantas por lote a la altura el suelo, dato con el cual se calculó el diámetro a la base (DAB) (ecuación 5) como lo sugiere la metodología de Mostacedo y Fredericksen (2000) para medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de arbustos que presentan ramificaciones desde la base. Se obtuvo el área basal (AB) promedio (ecuación 6), y el área basal por hectárea (G) (ecuación 7).

$$DAB = \frac{CAB}{\pi} \quad (5)$$

CAB (Perímetro a la Base)

π (3.141592)

$$AB = \left(\frac{\pi * (DAB^2)}{4} \right) \quad (6)$$

π (3,141592)

DAB (Diámetro a la Base)

$$G = \frac{(AB) * (\#Ind)}{A_{Pelá}} \quad (7)$$

AB (Área Basal)

#Ind (Número total de plantas de Pelá)

3.4.2.2.4. Área de copa de los arbustos de Pelá ($AC_{Pelá}$).

A partir de una muestra aleatoria de 10 arbustos de Pelá por lote que presentaran una altura mayor a 2m, se midió con cinta métrica los diámetros en sentidos norte-sur y oriente-occidente; con el promedio obtenido se aplicó la fórmula utilizada por Serrano, Andrade y Mora-Delgado (2014) para la obtención del área de copa en árboles a partir del diámetro mayor y menor de la proyección de la copa sobre el suelo (ecuación 8).

$$AC_{Pelá} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * D^2 \quad (8)$$

D (Diámetro promedio)

π (3,141592)

3.4.2.2.5. *Altura Dominante del Pelá (h).*

Se realizó un muestreo por lote de los arbustos en los que se observó mayor altura, utilizando un Nivel Abney ubicado sobre una base a una altura de 1,5m y a una distancia conocida desde la base del arbusto. Se midió el ángulo (α) formado desde la altura mencionada hasta la altura total del arbusto y se aplicó la ecuación 9.

$$h = (\text{Distancia} * \tan \alpha) + 1.5 \quad (9)$$

3.4.2.2.6. *Área en cobertura de Pelá (Cob_{Pelá}).*

Se obtuvo como el producto entre el área de copa de los arbustos de Pelá ($AC_{Pelá}$) y el número total de individuos de la especie (#Ind) presente en el lote (la ecuación 10).

$$Cob_{Pelá} = AC_{pelá} * \#Ind \quad (10)$$

3.4.2.2.7. *Área en cobertura por la Cerca Viva al interior del lote (CobCV).*

Se obtuvo como el producto entre el radio de la copa promedio proyectada al interior del lote por la cerca viva (R_2) y la distancia ocupada por la cerca viva (L) (ecuación 11).

$$CobCV = R_2 * L \quad (11)$$

3.4.2.2.8. *Porcentaje de cobertura (%Cob).*

Se obtuvo como la expresión porcentual del cociente entre el área en cobertura total (Cob_T) y el área del lote (Al) (ecuación 12), siendo la cobertura total igual a la sumatoria del área en cobertura de Pelá ($Cob_{Pelá}$) y el área en cobertura por la cerca viva al interior del lote (CobCV) (ecuación 13).

$$CobT = Cob_{Pelá} + CobCV \quad (12)$$

$$\left(\frac{CobT}{Al}\right) * 100 = \%Cob \quad (13)$$

3.4.3. Fase 1: Caracterización de los microclimas en cada lote de pastoreo de acuerdo con las diferentes coberturas de Pelá presentes en los mismos.

3.4.3.1. Caracterización del microclima del lugar de estudio.

Se utilizaron los registros de los últimos 30 años de temperatura media, media máxima y media mínima, de humedad relativa, brillo solar, precipitación y velocidad del viento suministrados por la Estación Climatológica Principal (CP) de Anchique (código 21135030) ubicada a 415m.s.n.m. con Latitud 334N y Longitud 7506W en el municipio de Natagaima-Tolima a través del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM].

3.4.3.2. Caracterización de los microclimas en cada lote de pastoreo en función de los tipos de cobertura.

De manera específica, como indicadores del microclima en el predio, se analizó el comportamiento de la temperatura ($^{\circ}\text{T}$) y humedad relativa (%HR) registradas en espacio abierto y bajo la cobertura del Pela, definidas como variables del microclima en esta investigación.

3.4.3.2.1. Medición de Temperatura y Humedad Relativa como Testigo ambiental.

Se tomaron registros de $^{\circ}\text{T}$ y %HR con un dispositivo Datalogger de Humedad y Temperatura marca EBCHQ 94150, ubicado en la finca a una altura de 2m en un espacio que no presentara ningún tipo de cobertura (herbácea, arbustiva o arbórea) en un radio de 25m, guardando registros tres veces al día (10:00am, 1:00pm y 4:00pm) como testigo de las variables del microclima evaluadas. Los resultados obtenidos se compararon con los registros de la estación climatológica y con los registros de las variables del microclima registrados bajo los 3 tipos de cobertura evaluadas.

3.4.3.2.2. Medición de Temperatura y Humedad Relativa bajo el dosel del Pelá.

Se utilizaron 3 Datalogger de Humedad y Temperatura marca EBCHQ 94150, ubicando cada dispositivo en los lotes con los porcentajes de cobertura diferenciados para los 3 tipos de cobertura durante cada tratamiento, ubicados bajo la copa de uno de los arbustos a una altura de 2m, guardando registros tres veces al día (10:00am, 1:00pm y 4:00pm) para su posterior comparación con los registros obtenidos del *Testigo ambiental*.

3.4.4. Fase 2: Determinación de la presencia o ausencia de estrés calórico en los bovinos y su relación con las variables evaluadas en los lotes en los cuales se encontraban ubicados.

Se seleccionaron 16 vacas entre segundo y tercer parto de cruce *Bos taurus x Bos indicus* acogiendo a la selección genética hecha por el ganadero de la finca buscando el doble propósito en función mejorar la producción de leche y la adaptación del hato a las condiciones del trópico seco. Las hembras se dividieron en 3 sub-muestras que fueron mantenidas en los lotes clasificados para los 3 tipos de cobertura, tomando registros en tres horas del día (10:00am, 1:00pm y 4:00pm).

3.4.4.1. Indicadores biometeorológicos.

3.4.4.1.1. Aplicación del Índice de temperatura y humedad:

A partir de los registros de °T y %HR obtenidos por los Datalogger's en cada lote, utilizando la fórmula adaptada por Armstrong (1994) y por Valtora y Gallardo (1996) (ecuación 1), y con la tabla que establece las categorías de estrés calórico para animales en producción desde las diferentes combinaciones de °T y %HR (Tabla 5), se estableció bajo qué grado de estrés calórico debería estar el ganado en las tres horas de muestreo.

$$ITH: (1.8 * Ta + 32) - (0.55 - 0.55 * HR/100) * (1.8 * Ta - 26) \quad (1)$$

Ta (Temperatura del aire °C)

HR (Humedad Relativa %)

Tabla 5

Categorías de Estrés Calórico (EC) para vacas lecheras en lactancia.

Valor	Categoría	Observaciones
<70	Normal	Condiciones adecuadas: El animal no se encuentra bajo ningún estrés.
71-78	Alerta	Estrés moderado: Se aproxima el límite crítico de producción de leche.
79-83	Peligro	Estrés Elevado: Por encima del límite crítico de producción del leche.
>84	Emergencia	Estrés severo: Condiciones extremas de estrés calórico en la producción.

Fuente: Adaptada por la autora; a partir de la tabla de Categorías de estrés calórico para animales en producción propuesta por World Meteorological Organization (1989).

3.4.4.2. Indicadores Fisiológicos.

3.4.4.2.1. Medición de Temperatura corporal.

Se utilizó un Termómetro infrarrojo veterinario marca Thermometer for Animals YM-558D ubicado a una distancia entre 1 y 50cm del animal tomando registros diarios en las 3 horas de muestreo ya mencionadas.

3.4.5. Fase 3: Evaluación del efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la disposición del ganado en los lotes, su condición corporal y la producción de leche.

3.4.5.1. Medición de la disposición del ganado en los lotes.

Se establecieron 5 categorías en función de la actividad que se encontrara realizando el ganado y 2 categorías en función de la ubicación de cada animal en los lotes en el momento de muestreo (Tabla 6). Los respectivos análisis se realizaron en función del porcentaje del total de observaciones (50 observaciones por hora de muestreo en las 3 sub-muestras) realizadas en los que el ganado realizó cada actividad descrita en la Tabla 6, durante la investigación.

Tabla 6

Categorías de clasificación de la Disposición del ganado en los lotes.

ACTIVIDAD		UBICACIÓN	
Pastoreando/ Ramoneando	La vaca tiene la cabeza agachada para comer pasto o el cuello erguido para ramonear.	Bajo sombra	Cuando la vaca se encuentra bajo la copa de algún arbusto/árbol.
Rumiando	Sea que la vaca esté echada o parada realizando la actividad de rumia.		
Caminando	El animal se está desplazando con la cabeza erguida.	Bajo rayo directo	Cuando la vaca se encuentra bajo exposición solar directa.
Acostada	La vaca está descansando con el vientre pegado al suelo.		
Parada	La vaca no está en movimiento y no se encuentra rumiando.		

Fuente: Adaptada por la autora; de García F. (2010).

3.4.5.2. Medición de la condición corporal del ganado:

Se realizaron dos mediciones de la condición corporal de la muestra de ganado, al iniciar y al finalizar el experimento, a partir de fotografías y aplicando la guía para la evaluación de la condición corporal de vacas doble propósito propuesta por CORPOICA (1999) (Tabla 7).

Tabla 7

Escala y guía para medición de la Condición Corporal (CCC) del ganado doble propósito.

Valor	Estado	Apófisis transversas	Fosa del ijar	Vista posterior coxal-coxal	Base de la cola
1	<i>Muy flaca</i>	Extremadamente visibles	Depresión muy profunda	Depresión muy severa, Tuberosidad muy prominente	Depresión muy profunda en forma de V. Tuberosidad isquiática prominente.
2	<i>Flaca</i>	Muy visibles	Depresión profunda	Depresión severa, tuberosidad coxal muy prominente.	Depresión profunda en forma de V. Tuberosidad isquiática prominente.
3	<i>Condición regular</i>	Moderadamente visibles	Depresión moderadamente profunda	Depresión moderada, tuberosidad coxal moderadamente prominente.	Depresión moderadamente profunda en forma de U. Tuberosidad isquiática moderadamente prominente.
4	<i>Buena condición</i>	Poco visibles	Depresión leve	Depresión leve, tuberosidad coxal poco prominente.	Depresión ligera en forma de U. Tuberosidad isquiática poco visible, ligero acumulo de grasa.
5	<i>Ligeramente gorda</i>	No visibles	Depresión muy leve	Depresión muy leve, tuberosidad coxal ligeramente cubierta (grasa).	Depresión ligera en forma de U. Tuberosidad isquiática no visible, moderado acumulo de grasa.
6	<i>Obesa</i>	No visibles	No se observa depresión	No se observa depresión, tuberosidad coxal no visible.	No se observa depresión, tuberosidad isquiática no visible, excesivo acumulo de grasa.

Fuente: CORPOICA (1999).

3.4.5.3. Medición de la producción de leche de los bovinos seleccionados como muestra.

Se tomó un único registro correspondiente al ordeño en horas de la madrugada y se obtuvo el peso en kilogramos de leche producida por cada animal, teniendo en cuenta las condiciones de pastoreo en las que se encontraban para hacer el posterior análisis.

3.4.6. Análisis de la información.

Todos los datos colectados se organizaron en una matriz utilizando el programa Microsoft EXCEL®, para el análisis del Diseño Completamente al Azar (DCA). En términos de varianza se utilizó la ANDEVA y adicional a eso se realizó la Prueba Tukey ($\alpha=0,05$). Para la correlación de variables se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson y las pruebas estadísticas se realizaron por medio del software InfoStat (2015) desarrollado por Di Rienzo *et al.*, (2015).

4. Resultados y Discusión

4.1. Caracterización del sistema productivo

4.1.1. Descripción del predio.

El predio cuenta con un área de 64,7 hectáreas de las cuales 5 hectáreas se destinan a producción de frutales, 10 hectáreas aproximadamente se destinan a producción de forrajes y en 2 hectáreas se encuentra establecido un banco de proteína, 30,7 hectáreas son utilizadas para el pastoreo del ganado en 34 lotes y alrededor de 17 hectáreas se encuentran ocupadas por un canal de agua principal, un canal secundario y el paso dos quebradas con cobertura forestal, además de la vivienda y el corral. Conjuntamente habitan especies menores para el consumo en la vivienda y para la venta, y animales usados para el transporte de maquinaria de tracción animal y para el manejo del ganado por parte de los encargados de la finca.

Los lotes destinados al pastoreo se encuentran divididos para cada etapa productiva del ganado en lotes con áreas que varían entre 0,5 ha, 1 ha y 1,5 ha aproximadamente, siendo un total de nueve lotes utilizados para la rotación del hato. La composición vegetativa de estos lotes se caracteriza por la presencia de un estrato arbustivo de Pelá (en diferentes alturas) presente de

manera espontánea con distribución al azar, y un estrato herbáceo de *Brachiarias* como *decumbens* y *humidícola*, y de pasto Estrella (*Cynodon plectostachius*), con presencia adicional de cercas vivas en aquellos lotes en los que pasa el canal de agua, y de bebederos a partir de las derivaciones del canal que rodea a la finca. Bajo la descripción anterior, se define al sistema productivo como un sistema silvopastoril partir de una estrategia de regeneración natural bajo el modelo de árboles dispersos y cerca viva.

En el banco de forrajes encuentra establecido pasto mulato II (*Brachiaria* híbrido), pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*), Pangola (*Digitaria decumbens*), Maní forrajero (*Arachis pintoii*), Sorgo dulce (*Sorghum* spp.), pasto Anglenton climacuna (*Dichanthium annulatum*), pasto Morado (*Pennisetum purpureum*), Cratylia (*Cratylia argétea*), Guatemala o pasto maíz (*Tripsacum laxum*), Cuba 22 (*Pennisetum* sp.), Botón de oro (*Tithonia Diversifolia*), más 2 variedades de Caña. La producción obtenida de este lote es empleada como suplemento a la alimentación de los bovinos presentes en el sistema productivo.

4.1.2. Descripción del ganado.

Se encuentran bovinos de raza Holstein, Gyr, y cruces de Gyr por Holstein, cruce para el doble propósito característico en las condiciones propias del trópico bajo en Colombia (Uribe F. *et al.*, 2011); el método de reproducción en la finca se realiza por monta natural. El ganado es suplementado con ensilaje, heno y concentrado cuando es requerido (CONTELAC 18 en harina), además de los pastos existentes en la finca. Cuando las vacas están recién paridas se les suministra Sal Somex Doble Propósito.

La producción láctea promedio del hato es de 100 litros/día, con mínimos de 80 litros, máximos de 120 litros y con una producción promedio animal/día de 3 litros obtenidos a partir de un único ordeño diario realizado manualmente entre las 4:00am y las 7:00am; la producción de leche se conserva en cantinas y se destina a la comercialización directa en la finca con la finalidad de elaborar subproductos lácteos en el casco urbano del municipio. El tiempo del hato en pastoreo al día equivale a un promedio de 9 horas comprendidas entre las 8:00am y las 5:00pm.

Según el informe sobre el estado inicial del ganado, el predio cuenta con un total de 177 bovinos, resaltando la presencia de 33 hembras en el Hato (Tabla 8). Dentro de las variables de importancia evaluadas se registró una condición corporal de 3.5, tasa de natalidad del 90%, intervalo entre partos de 428 días y 127 días abiertos.

Tabla 8

Informe general sobre la Condición inicial del ganado en la finca “Santa Lucía”.

Variable	Descripción
Condición corporal (CCC)	3.5
Índice de fertilidad	73,84%
Promedio días abiertos (DA)	Vacas 127 días y Novillas 220 días
Intervalo entre partos (IP)	428 días
Natalidad	90%
Mortalidad	1,3% en crías y 0% en adultos
Edad al primer parto	37 meses
Número total de bovinos	174 animales
Preñadas	15 hembras
Pie de cría	6 machos
Horras	40 hembras acompañadas de 1 macho
Novillas de Levante	40 hembras
Terneros	36 animales
En Hato	33 hembras acompañadas de 3 machos

Fuente: Autora; a partir de los registros productivos de la finca realizados por Guzmán, E. (Médico Veterinario Zootecnista).

De acuerdo con lo anterior, el informe evidencia que la condición corporal obtenida no es la ideal ya que se traduce a una condición “Regular”. No obstante, el valor se ajusta a las condiciones de la ganadería en los alrededores. El número total de bovinos, en relación con el área destinada al pastoreo del ganado, sugieren que la carga animal se encuentra por encima del promedio departamental (0,5 cabezas/ha) (FNG y FEDEGÁN, 2014). Esto se debe a los cultivos de pastos de corte destinados para la venta (silo y heno) y para el consumo del ganado en la finca además del banco de proteína, permitiendo al ganadero mantener un número de cabezas superior al promedio departamental.

Los porcentajes de natalidad e índice de fertilidad son superiores al 70% representando un buen indicador de la fertilidad del ganado, aunque los implicados en las labores del predio

afirman que no existe control del ciclo estral. El promedio de días abiertos es mayor al valor óptimo (390 días) y el intervalo entre partos registrados se traduce en una cría en más de un año, estando en el rango óptimo. El porcentaje de mortalidad es nula en adultos y de 1,3% en crías, lo cual refleja el buen estado de salud en el que se encuentra el ganado. La producción de leche promedio por animal/día se encuentra en el promedio departamental (3,1 litros) (FNG y FEDEGÁN, 2014).

4.1.3. Condición actual del sistema productivo.

La rotación de potreros actualmente no cuenta con un sistema de pastoreo establecido por la falta de un cercado adecuado para la permanencia y distribución adecuada del ganado en los lotes. Los lotes se encuentran ocupados por más de 30 animales al mismo tiempo y la rotación y permanencia de los mismos, además del tiempo de descanso con el que cuentan los lotes, se da únicamente en función de la disponibilidad de pasto de manera que la distribución del ganado entre el total de lotes para pastoreo no es homogénea y las raciones de comida que consumen puede variar de un día a otro. Esta dinámica afecta los tiempos de recuperación de los pastos en los lotes, asumiendo que para *B. decumbens* los días de recuperación son entre 28 y 42 días y para *B. humidícola* de 21 a 35 días (Cabrera, s.f.).

El crecimiento de los pastos es lento, de tal modo que estos no logran la altura mínima adecuada para ser consumido por el ganado (de 20cm en promedio para *B. decumbens* y *B. humidícola* (Cabrera, s.f.)) al momento de ser introducidos en los lotes y el sobrepastoreo sugiere algún grado de erosión en el suelo. Sin embargo, la excreta del ganado junto con la biomasa reciclada en los lotes y la presencia de raíces, se constituyen como elementos que aminoran el daño erosivo.

Siendo el cruce de Gyr x Holstein el de mayor relevancia en finca para lograr mayor rusticidad y mejorar la producción de leche, el ganado evidencia la falta de una orientación específica en las proporciones de este cruce. Tal situación la describe Pérez (2010) en la caracterización del doble propósito como raza en Colombia y esto se refleja en la falta de registros por animal de los parámetros productivos que permitan controlar y en efecto seleccionar a los animales con mayor potencial para lograr las proporciones del cruce ideal en la finca.

En efecto, la producción de leche por animal es muy baja (sobre todo en temporada de bajas precipitaciones) y la condición corporal del hato tampoco evidencia el potencial genético propio del ganado Cebú en cuanto a producción de carne, por lo que no se están cumpliendo las expectativas del ganadero.

Finalmente, sobre el manejo en general del sistema productivo, las labores culturales que requieren tanto los cultivos como el propio ganado presentan un déficit en el número de jornales por lo que se evidencia un deterioro con el tiempo del sistema productivo, lo cual dificulta el manejo especialmente del ganado.

4.1.4. Caracterización de los lotes y del recurso arbustivo presente en los mismos.

Se seleccionaron 7 lotes con características que presentaron variaciones en términos dasométricos a partir de la metodología aplicada en campo. Los lotes presentaron áreas que oscilaron entre media hectárea y tres hectáreas (Tabla 9). No obstante, estas áreas presentaron forma y tamaño heterogéneo por el deterioro del cercado, evidenciando la falta de organización de los potreros en la finca que determinen un sistema de rotación; Se encontró la presencia de cercas vivas en 4 lotes (2, 4, 5 y 6) (Tabla 9) con especies arbóreas nativas (que igualmente cumplen la función de cobertura forestal en los canales de agua) lo cual influyó el aumento del área en cobertura por el área de copa obtenida que proyecta sombra al interior de estos lotes.

La densidad del Pelá fue variada, de modo que el número de individuos de la especie por lote fluctuó entre 75 y 816, en áreas relativamente pequeñas (Tabla 9); el Pelá se presentó como única especie dentro de las áreas de pastoreo y de manera invasiva, lo cual se relaciona con lo que afirman López *et al.*, (2012), Parrotta (1992), y Rico (2001) sobre la capacidad que presenta esta especie para colonizar suelos sin cobertura. Además, la especie se presentó de manera abundante por la dispersión de semillas que realiza el ganado, según comentan de los trabajadores de la finca y lo afirman Parrotta (1992) y Rico (2001), generando la necesidad de implementar prácticas de control para su manejo de tal modo que no intervenga con los rendimientos de los pastos con los cuales se asocia esta planta.

Tabla 9
Caracterización del recurso arbóreo en los lotes seleccionados.

Lote	$\rho_{Pelá}$		ρ_{CV}		Al	ACpelá	DAB	AB	G	h	CobPelá	CobCV	CobT	%Cob
	#Ind	Apelá	#IndCV	Acv										
1	550	15362,6	0	0	15362,6	22,182	11,953	0,0112	4,017	5,17	12199,92	0	12199,92	79,41
2	816	19909,6	42	557,2	20466,8	9,926	17,467	0,0240	9,821	3,95	8099,52	1866,6	9966,14	48,69
3	214	11065,0	0	0	11065,0	22,182	11,976	0,0113	2,179	4,90	4746,88	0	4746,88	42,90
4	446	30936,9	30	328,2	31265,1	22,512	12,931	0,0131	1,893	4,90	10040,17	1115,9	11156,05	35,68
5	43	8689,6	20	126,0	8815,6	17,285	12,812	0,0129	0,638	5,04	743,25	466,2	1209,45	13,72
6	75	5770,0	15	119,0	5889,0	18,190	18,826	0,0278	3,618	4,33	1364,25	319,52	1683,76	28,59
7	233	7951,3	0	0	7951,3	9,016	8,296	0,0054	1,584	4,65	2100,70	0	2100,70	26,42

#Ind: Número total de plantas de Pelá; **Apelá:** Área ocupada por Pelá (m²); **$\rho_{Pelá}$:** Densidad del Pelá; **#IndCV:** Número total de plantas de la cerca viva; **Acv:** Área ocupada por cerca viva (m²); **ρ_{CV} :** Densidad de la cerca viva; **Al:** Área del lote (m²); **ACpelá:** Área de la copa del Pelá prom. (m²); **DAB:** Diámetro a la base prom. (cm); **AB:** Área Basal prom. Pelá (m²); **G:** Área basal por hectárea (m²/ha); **h:** Altura dominante del Pelá (m); **CobPelá:** Área en Cobertura de Pelá (m²); **CobCV:** Área en cobertura por cerca viva (m²); **CobT:** Cobertura total (m²); **%Cob:** Porcentaje de cobertura.

Como características del recurso arbustivo estudiado (Tabla 9), el Diámetro a la Base (DAB) en promedio estuvo sobre 13,46cm para lo que Sibaja (2015) reporta que *V.farnesiana* puede alcanzar un diámetro a la altura del pecho DAP hasta de 40cm. El Área Basal (AB) promedio estuvo sobre 0,015m² siendo los lotes 2 y 6 aquellos que presentaron mayor AB. El Área Basal por Hectárea (G) estuvo sobre 3,3m²/ha en promedio, siendo los lotes 1 y 2 los que presentaron mayores valores (Tabla 9). Frente a estos resultados, Cancino (2012) afirma que el AB es un indicador de densidad defectuoso ya que determinado valor puede obtenerse tanto con un número grande de árboles pequeños como con una cantidad pequeña de árboles grandes y en los dos momentos se pueden presentar niveles muy diferentes de ocupación del sitio, como sucedió con el caso particular de los lotes 2 y 6.

No obstante, el AB de esta especie expresa su uso viable para madera por el volumen relativo que esta puede alcanzar, lo cual se relaciona con que *V. farnesiana* produce madera dura y pesada (1,04 g/cm³) afirmado por Cardoso (2010), y con Yerena *et al.*, (2015), quienes discuten sobre el potencial de almacenamiento de carbono atmosférico que presenta esta especie, para su conservación e implementación en sistemas silvopastoriles. Por su parte, Chica (2011) encontró que la producción de madera aumenta conforme se incrementa la cobertura arbórea de los potreros, y a su vez, el secuestro de carbono es mayor en potreros con alta cobertura de árboles que en aquellos potreros con baja cobertura arbórea. En efecto, el Pelá se puede convertir en una alternativa que contribuye a la disminución en la tasa de contaminación ambiental generada en los sistemas productivos ganaderos.

Si bien el sistema silvopastoril funciona con una especie de carácter arbustivo, se encontraron individuos con una altura superior a 5m (en lote 1). No obstante, la especie presentó una Altura Dominante (h) mayor a 3m por lo que se podría hablar de la presencia de esta especie tanto en su forma arbustiva como en su forma arbórea, con valores de altura comprendidas entre los 3 y 10 metros, rango que describe Daza (2014) para considerar a esta especie en su forma arbórea. De igual modo, Sibaja (2015) reporta que *V. farnesiana* presenta alturas hasta de 8m. El Área de copa promedio de Pelá (AC_{Pelá}) superó los 9m² en todos los lotes mostrando un crecimiento abundante en sentido horizontal. En relación con lo anterior, se observó que la intensidad de la sombra que genera el Pelá permite la entrada de determinada cantidad de luz, lo que en efecto admite el crecimiento de los pastos bajo su dosel.

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 9, en la Tabla 10 se observan las diferentes coberturas en las que se ubicó al ganado por tratamientos y conjuntamente, en la Figura 3 se muestra un esquema de la forma y ubicación de los lotes seleccionados dentro del sistema productivo para los tratamientos y la distribución de la cobertura del Pelá dentro de los mismos.

Tabla 10

Combinaciones de porcentajes de cobertura para cada tratamiento.

Mes		Agosto		Septiembre					
Tratamiento		1	2	3		4			
Repeticiones		4	1	1		4			
Días de ocupación		20	5	5		20			
Combinación de % Cob.	<i>alta</i>	Lote 1	79,41%	Lote 1	79,41%	Lote 2	48,69%	Lote 2	48,69%
	<i>media</i>	Lote 3	42,90%	Lote 3	42,90%	Lote 4	35,68%	Lote 4	35,68%
	<i>baja</i>	Lote 5	13,72%	Lote 6	28,59%	Lote 6	28,59%	Lote 7	26,42%
<i>Testigo ambiental</i>			0%		0%		0%		0%

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.



Figura 3. Esquema de la distribución de las coberturas de Pelá en los lotes seleccionados.

4.2. Caracterización de los microclimas en cada lote de pastoreo en función de la cobertura de Pelá presentes en los mismos.

4.2.1. Caracterización del microclima del lugar de estudio.

Durante los meses de Agosto y Septiembre, elementos del clima como la Velocidad del viento en interacción con la Temperatura y Humedad Relativa, generaron condiciones ambientales que influenciaron el grado de confort del ganado. Por lo anterior, a partir del registro histórico meteorológico de la estación climatológica principal Anchique, se conocieron los promedios mensuales de Velocidad del viento, Evaporación media, Brillo Solar, Humedad Relativa, Precipitación y Temperatura de los últimos 30 años, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Datos meteorológicos mensuales de la estación Climatológica Principal “Anchique”.

Estación: 21135030 ANCHIQUE		Municipio: Natagaima						
Departamento: Tolima		Altura: 415 m.s.n.m						
Latitud: 0334 N		Tipo estación: CP						
Longitud: 7506 W		Años de registro: 1985-2015						
MES	Velocidad del viento (m/s)	Evaporación media (mm)	Brillo Solar	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)	Temperatura Media (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Enero	1,7	158,9	217,6	72,3	103,6	27,8	36,2	21,2
Febrero	1,9	155,0	184,1	71,5	117,2	27,9	37,3	21,3
Marzo	2,0	149,2	176,2	72,7	159,9	27,7	37,1	21,3
Abril	1,9	126,7	167,9	74,4	179,6	27,5	36,8	21,5
Mayo	2,4	144,2	187,2	72,9	119,5	27,6	36,9	21,5
Junio	3,0	171,7	189,4	65,8	39,5	28,4	37,5	21,7
Julio	3,9	214,4	204,3	59,6	38,2	29,1	38,3	21,4
Agosto	3,8	218,4	204,2	55,6	29,9	29,8	39,2	21,4
Septiembre	3,0	204,9	188,8	59,8	69,2	29,4	39,1	21,3
Octubre	2,1	146,0	196,1	70,9	196,8	27,8	38,2	20,9
Noviembre	1,7	108,9	186,2	78,1	247,8	26,7	34,2	21,1
Diciembre	1,6	124,5	202,2	77,3	167,6	26,9	34,7	21,1
Total /Año	29,1	1922,7	2304,4	830,7	1468,8	336,7	445,6	255,7
Promedio	2,4		192,0	69,2		28,1	37,1	21,3

Fuente: Autora; a partir de registros meteorológicos suministrados por el IDEAM.

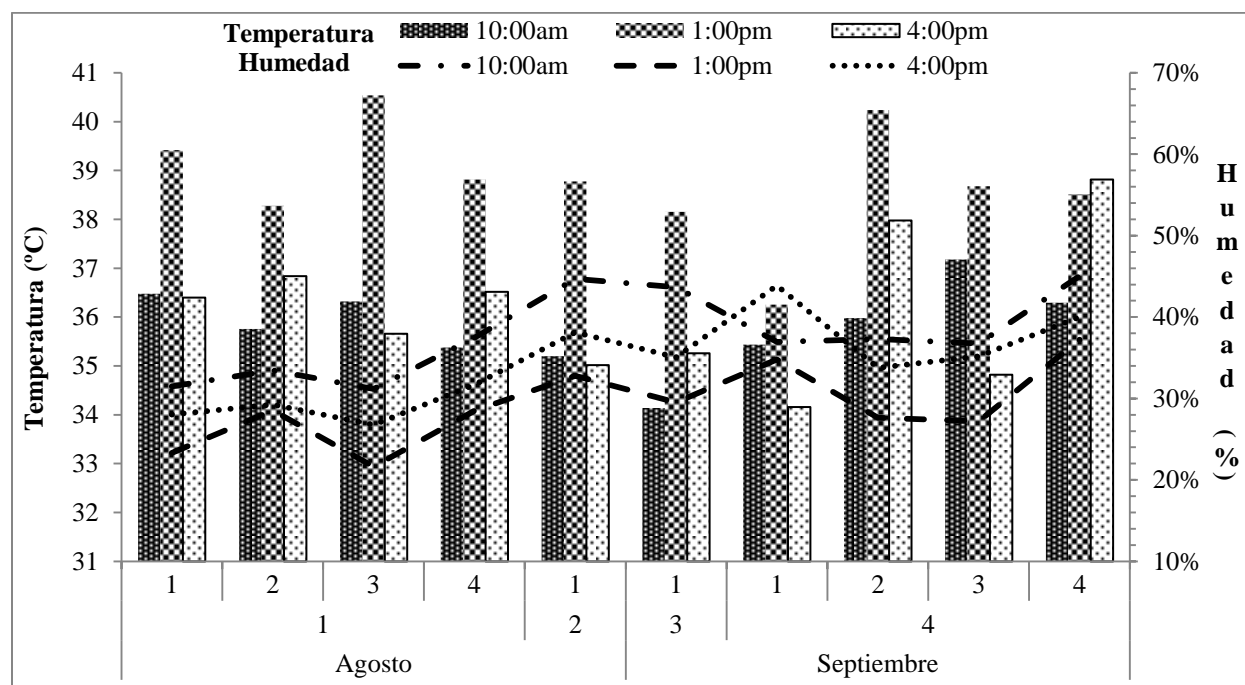
De los promedios obtenidos (Tabla 11), respecto a los meses que abarcó la investigación, se observa que la Velocidad del viento es mayor en Agosto (3.8m/s) que en Septiembre (3.0m/s) siendo Agosto el mes característico para mayores valores de velocidad, lo cual se percibió en dicho mes durante la investigación. La Humedad Relativa es menor en Agosto (55,6%) que en Septiembre (59,8%), siendo Septiembre el mes en el que se predispone la temporada de altas precipitaciones, por lo que se observa a los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre al igual que los meses de Febrero a Mayo como los meses con mayores precipitaciones, representando un régimen de lluvias de carácter bimodal. El Brillo solar se presenta con mayor intensidad en el mes de Agosto respecto a Septiembre y los valores de Temperatura media son muy similares en los dos meses (Tabla 11), siendo estos dos meses los que presentan temperaturas más altas respecto al resto del año, generando condiciones de mayor estrés para el ganado.

De los datos meteorológicos observados en la Tabla 11 en relación con los registros obtenidos del *Testigo ambiental* de la finca, el muestreo de la 1:00pm reportó las temperaturas más altas (entre 38°C y 41°C) respecto a los muestreos de las 10:00am (entre 35°C y 37°C) y 4:00pm (entre 35°C y 38°C) (Gráfica 1), siendo el mes de Agosto el que registró las temperaturas más altas comparado con el mes de Septiembre. Se evidenció el caso contrario con el comportamiento de la Humedad Relativa, siendo el mes de Septiembre el que presentó mayores porcentajes de Humedad respecto al mes de Agosto, con un aumento del 31% al 46% a las 10:00am, del 20% al 38% a la 1:00pm y del 28% al 44% a las 4:00pm (Gráfica 1). Esta situación se ajusta a los promedios históricos descritos en la Tabla 10 en los meses de interés para la investigación.

La temperatura máxima registrada durante la investigación fue de 43,6°C, con una humedad del 26,7% y se presentó en el tratamiento 2 para el mes de Agosto a la 1:00pm. El mayor porcentaje de humedad relativa registrada fue de 86,7% con una temperatura de 24,1% y se registró a las 4:00pm en la repetición 1 del tratamiento 4. Sobre los valores de temperatura ambiental registrado, Singh, Upadhyay, y Ashutosh (2008) destacan que por encima de los 32°C se producen fallas en los mecanismos de termorregulación en el ganado *Bos indicus*, incrementándose la temperatura rectal, la tasa respiratoria y la ocurrencia en la disminución en el consumo de alimentos.

Gráfica 1

Comportamiento de la Temperatura ($^{\circ}T$) y Humedad Relativa (%HR) del Testigo Ambiental por repeticiones para cada hora de muestreo.



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.2.2. Caracterización del microclima en cada lote de pastoreo en función de las coberturas de Pelá.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en las tres horas de muestreo (Tabla 12). No obstante, se presentaron casos aislados: en la repetición 1 del tratamiento 1, muestreo de las 10:00am, la temperatura de la cobertura del 42,90% fue diferente (p -valor=0,0029) respecto a las otras, y la humedad relativa de la cobertura 42,90% fue diferente (p -valor=0,0007) de la cobertura del 13,72% y del *Testigo ambiental* (Anexo 1); a la 1:00pm, la temperatura de la cobertura del 42,90% fue diferente (p -valor=0,0192) de la cobertura del 13,72% y estas dos fueron diferentes de la cobertura alta y el *Testigo ambiental* (Anexo 1).

Al hacer un análisis del comportamiento de los promedios de temperatura y humedad bajo las diferentes coberturas, se registraron menores valores de temperatura y mayores porcentajes de humedad en los tipos de cobertura *alta* y *media*, respecto a los tipos de cobertura *baja* y al

Testigo ambiental en las tres horas de muestreo, los cuales se describen en detalle en las Gráficas 2, 3 y 4.

Tabla 12

Análisis de varianza (SC tipo III) entre los promedios de Temperatura (°T), Humedad Relativa (%HR) y las diferentes combinaciones de coberturas (%Cob) para cada repetición y hora de muestreo ($\alpha=0,05$).

Hora	Rep.	p-valor					
		10:00am		1:00pm		4:00pm	
Tto.		°T	%HR	°T	%HR	°T	%HR
1	1	0,0029	0,0007	0,0192	0,0501	0,7099	0,6185
	2	0,6752	0,4935	0,5821	0,5451	0,5092	0,5604
	3	0,3454	0,7109	0,1450	0,1192	0,8179	0,6094
	4	0,8709	0,7685	0,7152	0,8623	0,5925	0,9311
2	1	0,5135	0,1971	0,3931	0,3567	0,2410	0,4675
3	1	0,9024	0,9819	0,6284	0,7421	0,6270	0,7067
4	1	0,4339	0,6169	0,9115	0,9418	0,8350	0,9459
	2	0,3701	0,6017	0,1355	0,5984	0,0735	0,5356
	3	0,2068	0,8860	0,7194	0,6437	0,1489	0,7793
	4	0,4195	0,7425	0,3320	0,8096	0,0325	0,3375

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

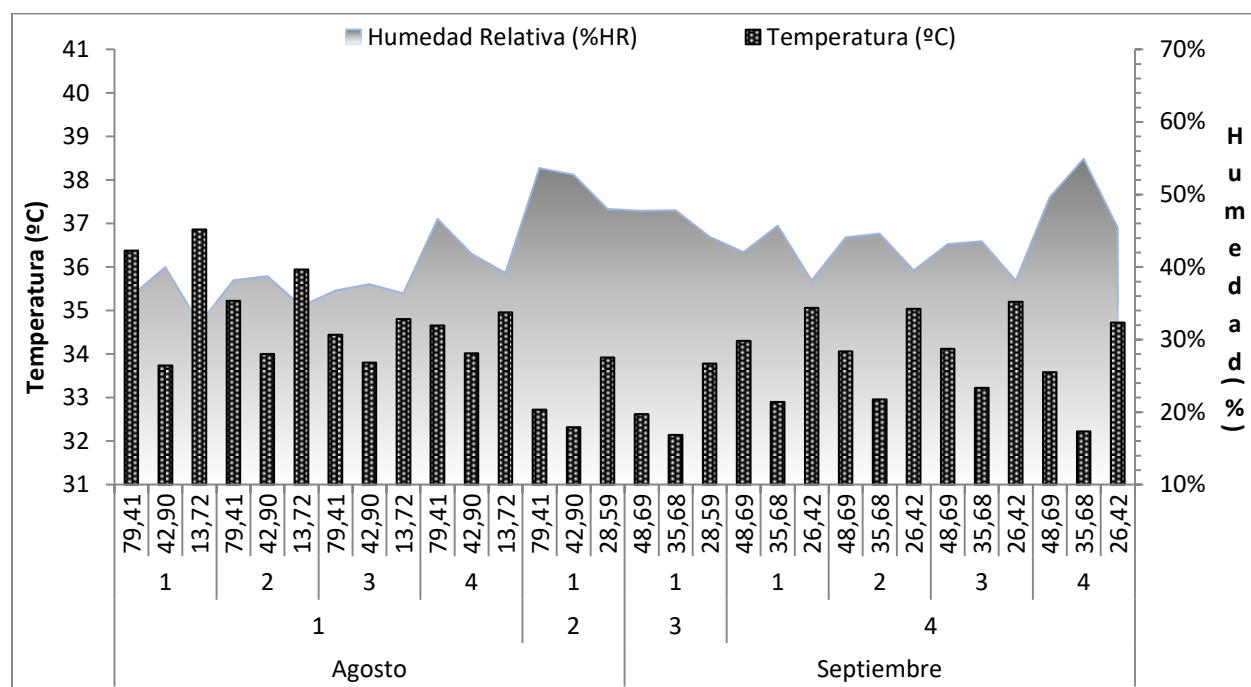
4.2.2.1. Comportamiento de las variables del microclima evaluadas para muestreo de las 10:00am.

En esta hora de muestreo la temperatura osciló entre 32 y 37°C y la humedad relativa entre 34 y 56%; en los tratamientos 1 y 2 la cobertura del 42,90% (Lote 3) presentó mayor reducción de la temperatura (-2,10°C y -2,88°C respectivamente) en relación con las demás coberturas y en los tratamientos 3 y 4, la cobertura del 35,68% (Lote 4) evidenció una reducción de la temperatura (-2,00°C y -3,40°C respectivamente) sobresaliendo entre las demás coberturas (Gráfica 2). No obstante, la humedad relativa fue mayor en estas.

Por consiguiente, la variación entre los promedios de temperatura y humedad relativa sugieren que los lotes con coberturas del 42,90% y del 35,68%, correspondientes al tipo de cobertura *media*, generaron mejores condiciones ambientales para la estadía del ganado respecto a las demás coberturas evaluadas y aunque en estos lotes la humedad fue mayor, esta no superó el 50% por lo esta variable no influyó para generar condiciones ambientales de estrés.

Gráfica 2

Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}T$) y Humedad Relativa (%HR) por repeticiones para cada combinación de coberturas (muestreo de las 10:00am).



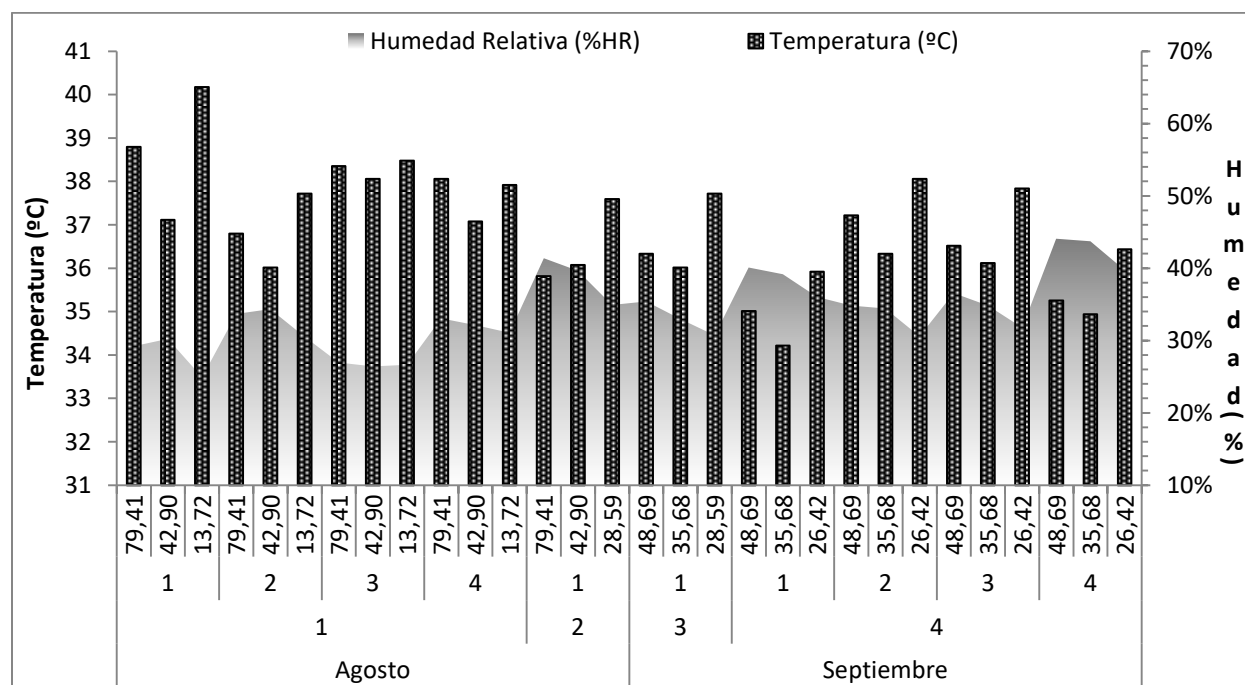
Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.2.2.2. Comportamiento de las variables del microclima evaluadas para muestreo de la 1:00pm.

Asumiendo a la 1:00pm como hora en la que se presentaron mayores valores de temperatura ambiente (Gráfica 1), la temperatura promedio fluctuó entre 35 y 41°C en los tratamientos 1 y 2 y entre 34 y 38°C en los tratamientos 3 y 4 con un porcentaje de humedad que fluctuó entre el 24 y 44%. En el tratamiento 1, la cobertura del 42,90% (Lote 3) presentó mayor reducción de temperatura (-2,20°C) respecto a las demás coberturas, aunque la humedad relativa presentó un comportamiento semejante al de la cobertura del 79,41% (Lote 1) (Gráfica 3); en el tratamiento 2 no hubo diferencia relativamente notoria de las variables del microclima evaluadas en las coberturas del 79,41% y 42,90% al igual que en las coberturas del 48,69% (Lote 2) y 35,68% (Lote 4) en el tratamiento 3; en el tratamiento 4, la cobertura del 35,68% registró menor temperatura sobre las demás coberturas (-3,02°C) aunque la humedad relativa presentó un comportamiento semejante al de la cobertura del 48,69% (Gráfica 3). De acuerdo con lo anterior, Los lotes con cobertura del 35,68% y del 42,90% registraron mejores condiciones ambientales para la estadía del ganado.

Gráfica 3

Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}T$) y Humedad Relativa (%HR) por repeticiones para cada combinación de coberturas (muestreo de la 1:00pm).



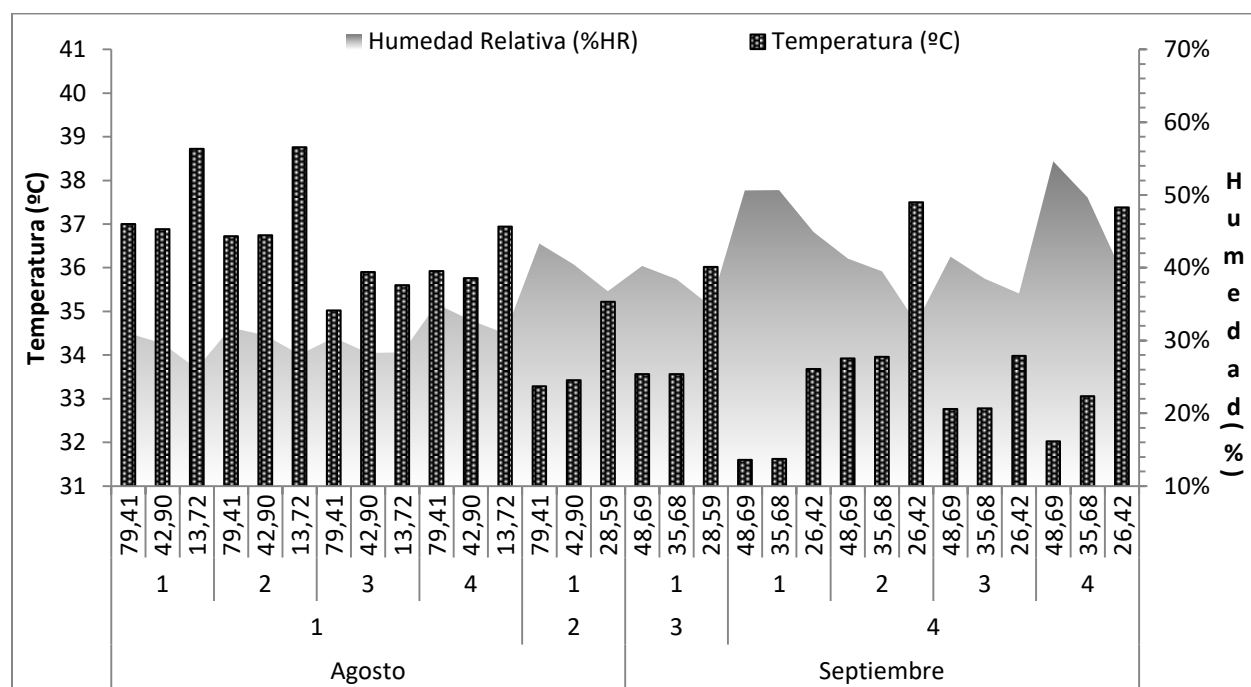
Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.2.2.3. Comportamiento de las variables del microclima evaluadas para muestreo de las 4:00pm.

Si bien en el muestreo de las 4:00pm no se registraron las mayores temperaturas, estos valores fluctuaron entre 31 y 39°C y la humedad relativa entre el 30 y 58%. En esta hora de muestro se observó en mayor medida la reducción de la temperatura ambiente en los lotes correspondientes a los tipos de cobertura *alta* (79,41% y 48,69%) y *media* (42,90% y 35,68%) respecto a los lotes con tipo de cobertura *baja* (13,72%, 28,59% y 26,42%) como se observa en detalle en la Gráfica 4. No se encontraron diferencias notorias entre las coberturas *media* y *alta* para las variables del microclima evaluadas, aunque la tendencia descrita en los muestreos de las 10:00am y 1:00pm se mantuvieron. La humedad relativa registró un aumento visible para el mes de Septiembre, lo cual se relaciona con el aumento de los eventos de lluvia respecto al mes de Agosto. Según lo anterior, en esta hora de muestreo no se diferencia un lote con porcentaje de cobertura que evidencie una mejora significativa de las condiciones ambientales para la estadía del ganado.

Gráfica 4

Variación entre los promedios de Temperatura ($^{\circ}T$) y Humedad Relativa ($\%HR$) por repeticiones para cada combinación de coberturas (muestreo de las 4:00pm).



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.2.3. Evaluación de los microclimas en los lotes en función de la cobertura.

Los promedios de reducción de temperatura evidenciados en los 4 tratamientos y las 3 horas de muestreo se ajustan a lo afirmado por Wilson y Ludlow (1991), Pezo e Ibrahim (1999) y Navas, Ibrahim y Alvarez (2008) quienes reportan una reducción de la temperatura de $-2^{\circ}C$ alcanzando los $-9^{\circ}C$ bajo la cobertura arbórea respecto a las temperaturas registrada en áreas abiertas. Los promedios también se justaron a lo reportado por Barragán, Mahecha y Cajas (2015) y por Osorio, (2014) quienes registraron temperaturas de $-2^{\circ}C$ y hasta de $-3^{\circ}C$ en potreros con cobertura respecto a potreros sin cobertura sobretodo en horas de la tarde (1:00pm). Por su parte, García F. (2010) reportó un efecto microclimático similar al evidenciado en esta investigación, afirmando que los árboles ejercieron un efecto reductor de la temperatura, pero incrementaron la humedad relativa bajo su copa, pues la temperatura se redujo en $-1,49^{\circ}C$ ($p < 0,0001$) y la humedad relativa se incrementó hasta en 4,5% ($p < 0,0001$).

La evaluación hecha permite validar que la presencia de los arbustos de Pelá en los lotes proporcionaron microclimas moderados traducidos en una disminución de la temperatura ambiente y un aumento de la humedad relativa respecto a las áreas abiertas, destacando que la especie es resistente a los periodos de sequía (Cordero *et al.*, 2003; Parrotta, 1992) y se desarrolla en suelos con alto grado de erosión (López *et al.*, 2012). Esto concuerda con Farrell y Altieri (1995) quienes describen como papel potencial de los árboles la moderación de los cambios de temperatura que resultan en temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas bajo los árboles en comparación con las áreas abiertas, además de la reducción de los movimientos del aire debido al dosel de los árboles que reduce el promedio de evaporación, tomando como característica propia de estos microclimas la presencia de mayores porcentajes de humedad bajo los árboles en comparación con los espacios abiertos.

Teniendo en cuenta que los lotes 1 y 2 registraron mayores porcentajes de cobertura (79,41% y 48,69% respectivamente), las temperaturas registradas en los tres muestreos fueron mayores comparados con las temperaturas registradas en los lotes 3 y 4 con porcentajes de cobertura del 42,90% y 35,68% respectivamente. Por lo tanto, se hizo importante analizar la composición del Pelá como recurso arbustivo estudiado, en los lotes con los que se trabajaron en la presente investigación.

4.2.3.1. Análisis de la composición del recurso arbustivo del Pelá en los lotes seleccionados.

- ***%Cob. 79,41% (Lote 1):*** Este lote presentó el más alto número de individuos de la especie, los cuales se encontraban aglomerados y concentrados en un área pequeña (Figura 3), lo cual impidió el paso del ganado entre estos espacios por lo se observó que la muestra de bovinos se ubicó de manera frecuente en los espacios con árboles más dispersos, de tal modo que el porcentaje de cobertura obtenida no pudo ser aprovechada en su totalidad por el ganado. De acuerdo a lo observado, el Datalogger de Humedad y Temperatura tuvo que ser ubicado en este espacio, lo que evidentemente incidió en los valores de temperatura registrados.
- ***%Cob. 48,69% (Lote 2):*** Este lote igualmente contó con un alto número de individuos ubicados de manera más dispersa dentro del lote, aunque la altura de los arbustos estuvo

sobre los tres metros, el área de copa promedio no fue mayor a 10m^2 (Tabla 9), que no fueron suficientes para modificar el microclima como si sucedió en los lotes 3 y 4.

- *%Cob 42,90% (Lote 3)*: El total de individuos de Pelá muestreados estuvo sobre los 200 individuos por hectárea, con altura superior a los 4m, un área de copa promedio de $22,182\text{m}^2$ y ubicados de manera dispersa como se observó en la Tabla 9. De acuerdo con estos valores, tal composición arbórea permitió proporcionar microclimas de confort para la estadía del ganado.
- *%Cob 35,68% (Lote 4)*: Así como en el lote 3, el total de individuos de la especie estuvo sobre los 200 individuos por hectárea para tres hectáreas que delimitan este lote, igualmente con alturas superiores a los 4m y con un área de copa promedio de $22,512\text{m}^2$. Esta composición igualmente brindó microclimas de confort para el ganado frente a las altas temperaturas registradas durante la investigación.
- *%Cob 13,72% (Lote 5)*: Los arbustos de Pelá muestreados en este lote registraron un área de copa de $17,285\text{m}^2$ para un total de 43 individuos en un área de $8689,6\text{m}^2$ (Tabla 9). Con estos datos se permite afirmar que hubo una falta de sombra disponible que resultó del total de individuos de la especie, lo que concluye que esta cobertura fue muy baja para brindar confort al ganado. Adicionalmente, bajo esta cobertura la apariencia del pasto fue seco y en cantidades muy bajas.
- *%Cob 28,59% (Lote 6)*: Este lote contó con 75 individuos de la especie en media hectárea y concentrados en un área reducida (Figura 3), con una altura superior a los 4m y con un área de copa promedio de $18,190\text{m}^2$. Esta composición no brindó la cobertura suficiente para reducir la temperatura ambiental y proporcionar un microclima de confort térmico. En efecto la apariencia del pasto igualmente se vio afectada al observarse seco y en cantidades muy bajas.
- *%Cob 26,42% (Lote 7)*: El área de copa de este lote fue baja ($9,016\text{m}^2$) así como la altura de los arbustos para el número de individuos presentes en un área del lote pequeña (Tabla 9). Esta composición, al igual que en los lotes 5 y 6, no brindó la sombra necesaria que propiciara un microclima de confort para el ganado.

En consecuencia, los lotes que presentaron mejores condiciones ambientales para el confort del ganado fueron aquellos que presentaron una distribución dispersa de la cobertura

arbórea, con individuos que presentaron un Área de copa que varió entre los 22m², con altura dominante (h) mayor a 4 metros y con una densidad de 200 individuos por hectárea, resultados que correspondieron en esta investigación a los lotes con porcentajes de cobertura del 42,90% y 35,68% para el tipo de cobertura *media*. Estos resultados se relacionan con lo afirmado por García F., (2010) quien evidenció que la magnitud de los efectos microclimáticos varían en función de las especies y la distribución de los mismos, siendo las especies con mayor área foliar las que mostraron un mayor efecto reductor de la temperatura bajo su copa.

4.3.Determinación de la presencia o ausencia de estrés calórico en los bovinos y su relación con las variables evaluadas en los lotes.

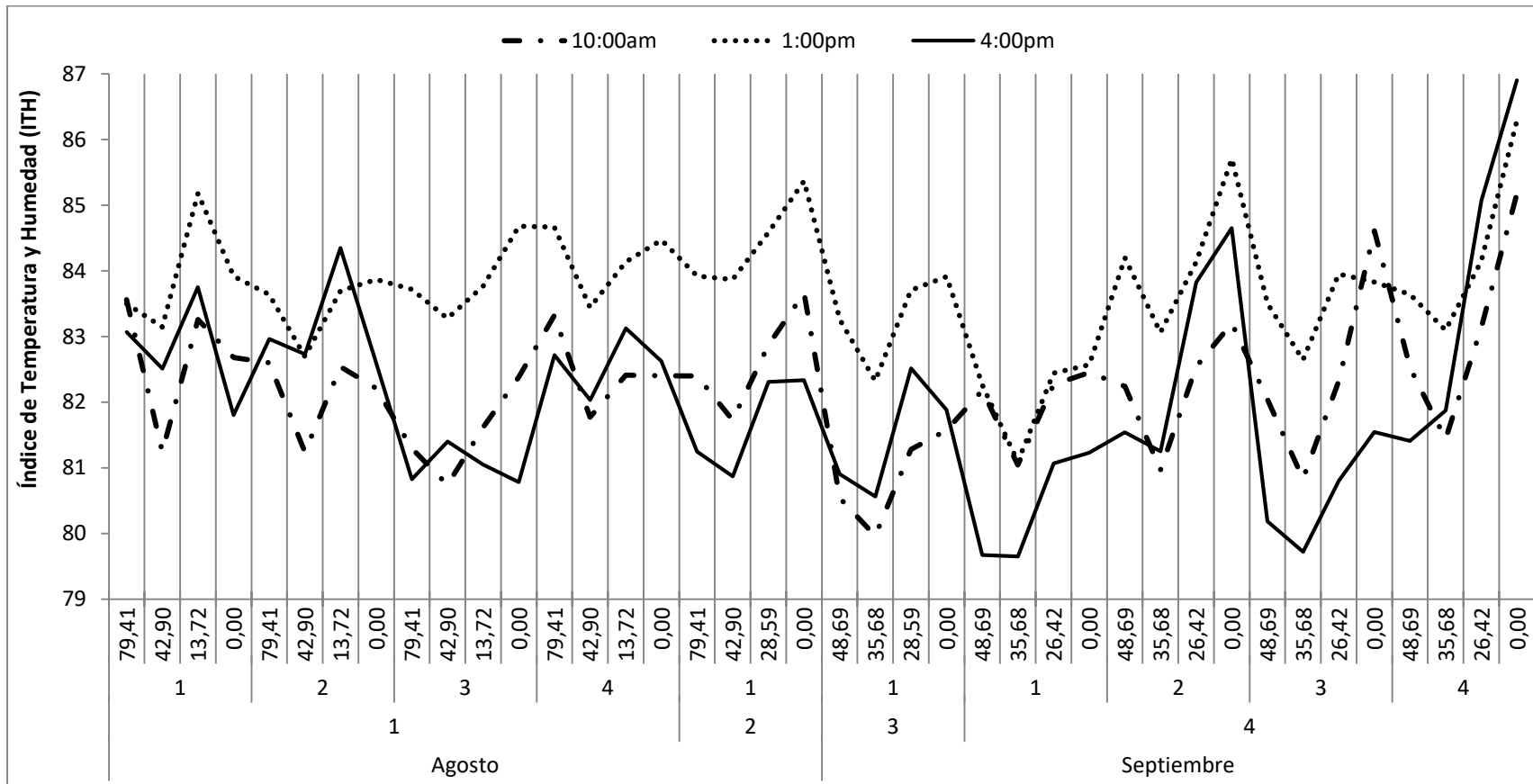
4.3.1. El Índice de Temperatura y Humedad (ITH) como indicador de estrés calórico en los bovinos.

El Índice de Temperatura y Humedad reveló la presencia constante de condiciones ambientales de estrés calórico en todos tratamientos y horas de muestreo, con valores que se mantuvieron entre 80 y 87 puntos (Gráfica 5) los cuales se incluyen en las categorías de *Peligro* y *Emergencia* (Tabla 4), y que coinciden con De Azevedo *et al.*, (2005) quienes suponen a valores de ITH mayores de 79 puntos para indicar la presencia de estrés calórico. Esta condición también la reportaron Barragán, Mahecha y Cajas (2015) quienes encontraron valores en el ITH de 81.6, 81.8, 80.3 y 80.1 tanto en potreros sin cobertura como en los sistemas silvopastoriles, aunque este fue más bajo en los tratamientos con cobertura arbórea.

La hora de muestreo en la que se presentaron los mayores valores de ITH fue la 1:00pm, siendo las coberturas del 13,72%, 28,59% y 26,42% (tipo de cobertura *baja*) en las que el ITH fue mayor además del *Testigo ambiental* (Gráfica 5). Esta situación reafirma la relación del ITH con los valores de temperatura registrados en todos los tratamientos, los cuales fueron mayores a los valores de temperatura comprendidos en la ZCT del ganado descrita por Oberto *et al.*, (2006). Los porcentajes de humedad se mantuvieron por debajo de 50% encontrándose dentro de la ZCT, por lo que se asume que esta variable no fue influyente en la presencia de estrés calórico como si lo fue para el caso de la temperatura ambiental.

Gráfica 5

Índice de Temperatura y Humedad (ITH) promedio por repeticiones para cada combinación de coberturas en relación al Testigo ambiental.



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.3.1.1. Relación entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y la Temperatura corporal ($^{\circ}T_{corporal}$).

Hubo una correlación positiva e imperfecta, con valores comprendidos entre 0,1 y 0,5 (Tabla 13) que califican para una relación entre baja y moderada. En los muestreos de las 10:00am y 4:00pm la relación se hizo relativamente más evidente en los tratamientos 2, 3 y 4, aunque sucedió lo contrario en el muestreo de la 1:00pm, hora en la que se presentaron mayores temperaturas ambientales durante la investigación, donde la correlación fue más baja.

Tabla 13

Matriz de correlación de Pearson entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y la Temperatura Corporal ($^{\circ}T_{corporal}$) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo.

Mes	Tto.	%Cob	ITH		
			10:00am	1:00pm	4:00pm
Agosto	1	79,41	-0,05	0,08	0,06
		42,90	0,08	0,17	-0,20
		13,72	0,48	0,20	0,09
	2	79,41	0,54	-0,43	0,67
		42,90	0,49	0,20	0,52
		28,59	0,65	-0,04	0,72
Septiembre	3	48,69	0,83	0,23	-0,18
		35,68	0,71	0,46	0,30
		28,59	0,66	0,15	-0,15
	4	48,69	0,41	0,34	0,36
		35,68	0,66	0,27	0,30
		26,42	0,43	0,41	0,31

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

En función de los resultados obtenidos, es importante resaltar que el ITH como fórmula no toma en cuenta 2 elementos del clima considerados de importancia para la carga calórica que recibe un bovino como lo son la radiación solar y la velocidad del viento, de tal modo que el ITH no mostró una correlación alta con la respuesta fisiológica de los bovinos en el ambiente tropical, afirmación igualmente hecha por Correa (2015). Además El ITH tampoco incluye factores de manejo o el genotipo por lo que de algún modo subestima los efectos reales del EC en el ganado (Gaughan, Mader, Holt, & Lisle, 2008).

Esta aseveración se hace más evidente cuando los resultados de las variables del microclima registradas por la estación meteorológica, muestran mayores valores de velocidad del

viento en los meses de Agosto y Septiembre respecto al resto del año, lo cual generó un efecto atenuante en la temperatura corporal de los bovinos al favorecer las pérdidas de calor por evaporación, como igualmente lo afirman Bavera y Béguet (2003).

Además, la humedad relativa al encontrarse dentro de la ZCT durante la investigación, insidió en los mecanismos de regulación térmica del ganado al facilitar las pérdidas de calor por evaporación junto con la presencia de los vientos, ya que según Humayel (2014), bajo temperaturas superiores a los 30°C (que se registraron durante la investigación) la humedad relativa asume un papel importante en los procesos evaporativos, siendo rápida la evaporación en zonas cálidas y secas donde la humedad es baja (Bavera & Béguet, 2003).

4.3.1.2. Relación entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y el Índice de Temperatura y Humedad (ITH).

Estadísticamente se registró una correlación negativa, imperfecta y muy baja con valores comprendidos entre -0,3 y 0, siendo los tratamientos 2 y 4 los que presentaron mayor relación de carácter inverso (Tabla 14). Esto coincide con las temperaturas registradas en todas las coberturas evaluadas las cuales superaron los 32°C en las tres horas de muestreo, y lo anterior se ajusta a lo afirmado por García F. (2010) quien no encontró diferencias entre dos tipos de cobertura (p -valor=0,1413, obteniendo valores en el ITH de 83,26 y 84,13 puntos).

Tabla 14

Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo.

		%Cob.			
Tto.	Rep.	10:00am	1:00pm	4:00pm	
1	1	0,11	-0,28	0,09	
	2	0,01	-0,08	-0,08	
	3	-0,36	-0,23	0,01	
	4	0,18	0,03	-0,10	
2	1	ITH	-0,19	-0,29	-0,36
	3		-0,15	-0,19	-0,17
4	1	-0,20	-0,09	-0,16	
	2	-0,30	-0,46	-0,59	
	3	-0,38	-0,12	-0,46	
	4	-0,38	-0,40	-0,67	

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.3.1.3. Relación entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y la Temperatura corporal del ganado ($^{\circ}$ Tcorporal).

Se encontró una correlación nula para el muestreo de las 10:00am y una correlación negativa, imperfecta y muy baja para los muestreos de la 1:00pm y 4:00pm, con valores comprendidos entre -3 y 0 (Tabla 15).

Tabla 15

Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y la Temperatura corporal ($^{\circ}$ Tcorporal) para cada combinación de coberturas y horas de muestreo.

		%Cob.		
Tto.	Rep.	10:00am	1:00pm	4:00pm
1	1	-0,06	-0,20	-0,27
	2	0,06	0,01	-0,39
	3	0,08	0,01	-0,33
	4	-0,06	0,11	0,17
2	1	-0,01	-0,06	-0,04
3	1	0,01	-0,30	-0,39
4	1	-0,15	-0,30	-0,12
	2	0,07	-0,25	-0,41
	3	-0,03	-0,71	-0,67
	4	0,31	-0,03	-0,13

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

Por otra parte, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los promedios de temperatura corporal entre tratamientos para el muestreo de las 10:00am; en el muestreo de la 1:00pm se encontraron diferencias entre los tratamientos 2 ($p=0,0098$) y 3 ($p=0,0151$) y en el muestreo de las 4:00pm se encontraron diferencias en los tratamientos 1 ($p=0,0212$), 3 ($p=0,0014$) y 4 ($p=0,0748$) (Tabla 16), situación que igualmente evidenció la Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) (Anexo 2).

La temperatura corporal promedio registrada en las 3 sub-muestras de bovinos se mantuvo sobre 37°C en los muestreos de las 10:00am y 4:00pm en los tratamientos 2 y 3; en los tratamientos 1 y 4, la temperatura corporal estuvo sobre 38°C bajo las coberturas del 13,72% y 26,42% en los muestreos de las 10:00am y 4:00pm respectivamente. Caso contrario ocurrió en el muestreo de la 1:00pm, donde se registraron temperaturas corporales superiores a los 38°C en las muestras ubicadas en los tipos de cobertura *alta* (79,41% en Tto.1, 48,69% en Tto.3) y *baja*

(13,72% en Tto.1, 28,59% en Tto.2 y 3 y 26,42% en Tto.4), alcanzando temperaturas de 41°C en al menos el 10% del total de días de muestreo.

Tabla 16

Análisis de varianza (SC tipo III) entre los promedios de Temperatura corporal ($^{\circ}$ Tcorporal) para las diferentes combinaciones de coberturas (%Cob) por repetición y hora de muestreo ($\alpha=0,05$).

Tto.	Hora	p-valor		
		10:00am	1:00pm	4:00pm
	Rep.	$^{\circ}$ Tcorporal		
1	1	<0,0001	0,1770	0,0495
	2	0,0044	0,0009	0,0002
	3	0,6918	0,5309	0,0024
	4	0,3443	0,0895	0,0326
2	1	0,1788	0,0098	0,8244
3	1	0,8161	0,0151	0,0014
4	1	0,0597	0,1508	0,0082
	2	0,8133	0,0562	<0,0001
	3	0,1152	<0,0001	<0,0001
	4	0,0143	0,7201	0,1414

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

Lo anterior evidencia que en la hora más calurosa del día, bajo las coberturas mencionadas, el ganado mostró un aumento de la temperatura corporal como una respuesta fisiológica a las condiciones ambientales de EC igualmente reflejados en los valores de ITH (Gráfica 5), que si bien no mostraron una alta correlación con la temperatura corporal del ganado, fueron valores que superaron la ZCT de los bovinos.

El comportamiento de la temperatura corporal en los bovinos se ajusta a lo descrito por Davis *et al.*, Collier *et al.*, y Mader y Kreikemeier (Citados por Arias, Madeb, & Escobar (2008) y a los resultados obtenidos por Escobar, Hernández, Giraldo y Mahecha (2001), quienes aseguran que la temperatura corporal sigue patrones diurnos y estacionales, donde la temperatura mínima del cuerpo se presenta usualmente temprano en la mañana y en horas de la tarde llegando a la noche, siendo a media tarde donde el ganado alcanza la máxima temperatura corporal durante el verano.

Sin embargo, tomando como referencia la temperatura corporal registrada en la submuestra de bovinos ubicada en los lotes con tipo de cobertura *baja*, se observó una reducción de -

0,56°C promedio durante el muestreo de la 1:00pm en los tipos de cobertura *alta* [48,69% (-0,87°C Tto.3 y -0,68°C Tto.4)] y *media* [42,90% (-0,40°C Tto.1 y -0,86°C Tto.2) y 35,68% (-0,65°C Tto.3 y -0,53°C Tto.4)], y de -0,71°C promedio para el muestreo de las 4:00pm igualmente en las sub-muestras ubicadas en los tipos de cobertura *alta* [48,69% (-1,13°C Tto.3 y -1,16°C Tto.4) y *media* [42,90% (-0,92°C Tto.1) y 35,68% (-0,54°C Tto.3 y -1,11°C Tto.4)].

Por su parte, Souza de Abreu (2002), Betancourt *et al.*, (2003) y Barragán *et al.*, (2015) registraron disminución en la temperatura de la piel con valores alrededor de los -3°C y Escobar, Hernández, Giraldo y Mahecha (2001) registraron disminución en la temperatura rectal en ganado, lo que relaciona el comportamiento fisiológico del ganado con las condiciones de pastoreo dadas bajo la cobertura de árboles en sistemas silvopastoriles.

4.4. Evaluación del efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la disposición del ganado en los lotes, su condición corporal y la producción de leche.

4.4.1. Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Disposición del ganado en los lotes.

4.4.1.1. Muestreo de las 10:00am.

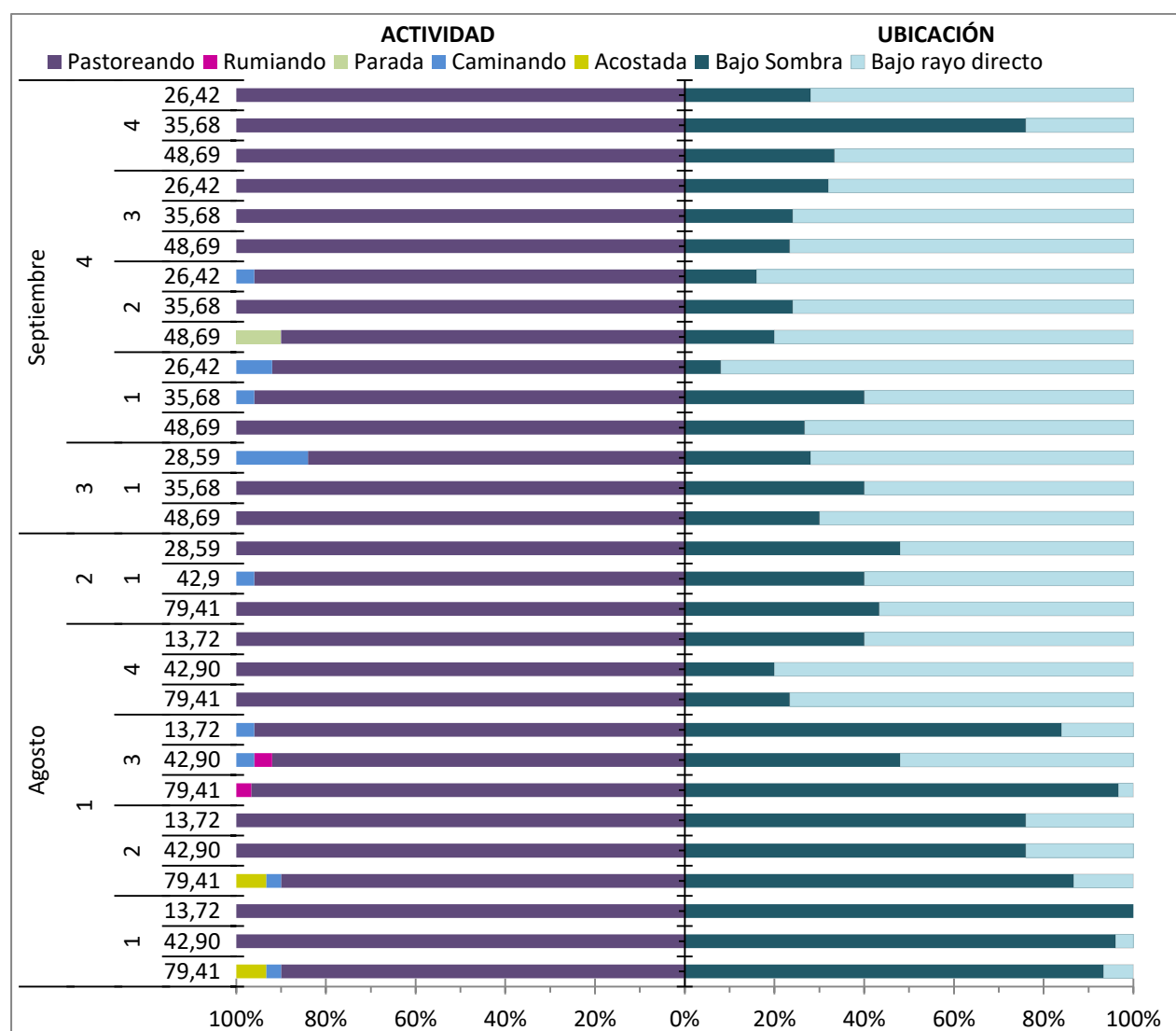
El ganado se encontró Pastoreando/Ramoneando de manera predominante en horas de la mañana, con más del 85% del total de observaciones realizadas en los tres tipos de cobertura (Gráfica 6). Esta actividad se realizó en mayor porcentaje Bajo Rayo Directo en los tratamientos 2 (55% del total de observaciones), 3 y 4 (>60% del total de observaciones), y Bajo Sombra en el tratamiento 1 (>70% del total de observaciones).

Este resultado se relaciona con la Temperatura Corporal registrada en las 3 sub-muestras a las 10:00am y 4:00pm, la cual se mantuvo sobre 37°C y 38°C, indicando que el ganado en estas horas no presentó EC. Frente a esto, Navas *et al.*, (2008) y Polania (2012) encontraron que en los días con temperaturas más frescas y en las horas más frescas del día (mañana y tarde), la ubicación del ganado en las áreas sin cobertura aumenta porque el ganado tiene libertad de buscar espacios abiertos.

Cabe resaltar que la temperatura corporal de la sub-muestra ubicada bajo la cobertura del 13,72%, si bien estuvo sobre los 38°C en el tratamiento 1, las hembras realizaron la actividad de Pastoreo/Ramoneo en más del 95% del total de observaciones aunque de manera predominante Bajo Rayo Directo (Gráfica 6), por lo que se descarta la presencia de EC.

Gráfica 6

Promedio (%) de la Disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de las 10:00am).



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

4.4.1.2. Muestreo de la 1:00pm.

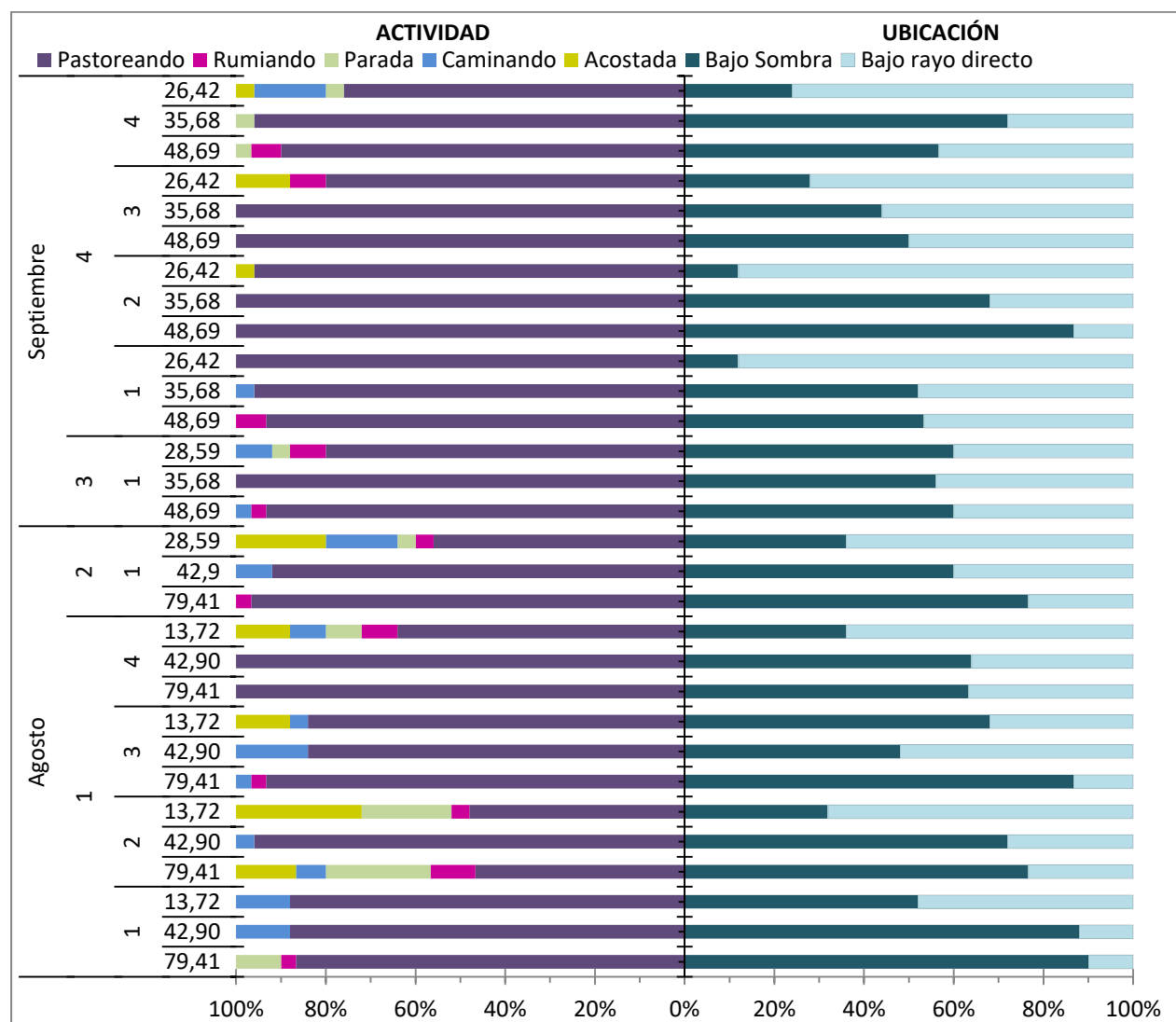
Teniendo en cuenta que en este muestreo se registraron las temperaturas más altas, se presentaron diferencias entre el porcentaje del total de observaciones que las 3 sub-muestras dedicaron a cada actividad y ubicación bajo los 3 tipos de coberturas en cada tratamiento (Gráfica 7). En los tratamientos 1 y 2 se observó una reducción del tiempo dedicado a la actividad de Pastoreo/Ramoneo y un aumento en el porcentaje de observaciones en los que las vacas se encontraron Paradas, Caminando, Acostadas y Rumiando en todas las coberturas, aunque esto se dio de manera sobresaliente en las coberturas del 79,41%, 13,72% y 28,59%. El ganado se ubicó Bajo Rayo Directo de manera predominante en la cobertura del 13,72% y 28,59% en relación con las coberturas *media* y *alta* (Gráfica 7). En los tratamientos 3 y 4, el aumento en el porcentaje del total de observaciones en los que las vacas se encontraron Paradas, Caminando, Acostadas y Rumiando se presentó de manera predominante bajo las coberturas del 48,69%, 28,59% y 26,42% y estas actividades se realizaron de manera predominante Bajo Rayo Directo en las coberturas del 28,59% y 26,42% (Gráfica 7).

De acuerdo con estos resultados, en las coberturas donde se registró reducción de la actividad de Pastoreo/Ramoneo fueron las mismas coberturas en las que el ganado registró temperaturas corporales superiores a los 38°C, por lo que se observa presencia de EC en las sub-muestras ubicadas en las coberturas del 79,41%, 13,72% y 28,59% durante los tratamientos 1 y 2 y en las coberturas del 48,69%, 28,59% y 26,42% durante los tratamiento 3 y 4.

Lo anterior se asemeja a lo reportado por Cerqueira *et al.*, (2010) y La Manna *et al.*, (2014), quienes reportaron a la reducción de la actividad de Pastoreo como comportamiento que el animal adopta para eliminar la principal fuente de abastecimiento térmico al encontrarse bajo un ambiente de estrés. De igual modo, Betancourt *et al.*, (2003) encontraron diferencias estadísticas significativas en muestreos realizados entre las 8:00am y 4:00pm, observándose la actividad de Pastoreo de manera predominante en el tratamiento de cobertura alta (22%-30%) comparado con el de cobertura baja (0%-7%) y siendo significativamente mayor el porcentaje de tiempo dedicado a la Rumia y al Descanso en las vacas ubicadas en los potreros con cobertura baja. Osorio (2014) igualmente evidenció el menor consumo de forraje en el ganado bajo menor cobertura como primeros signos de estrés, mientras que las vacas bajo mayor sombra en sistemas silvopastoriles consumieron forraje en las horas más calurosas del día.

Gráfica 7

Promedio (%) de la Disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de la 1:00pm).



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

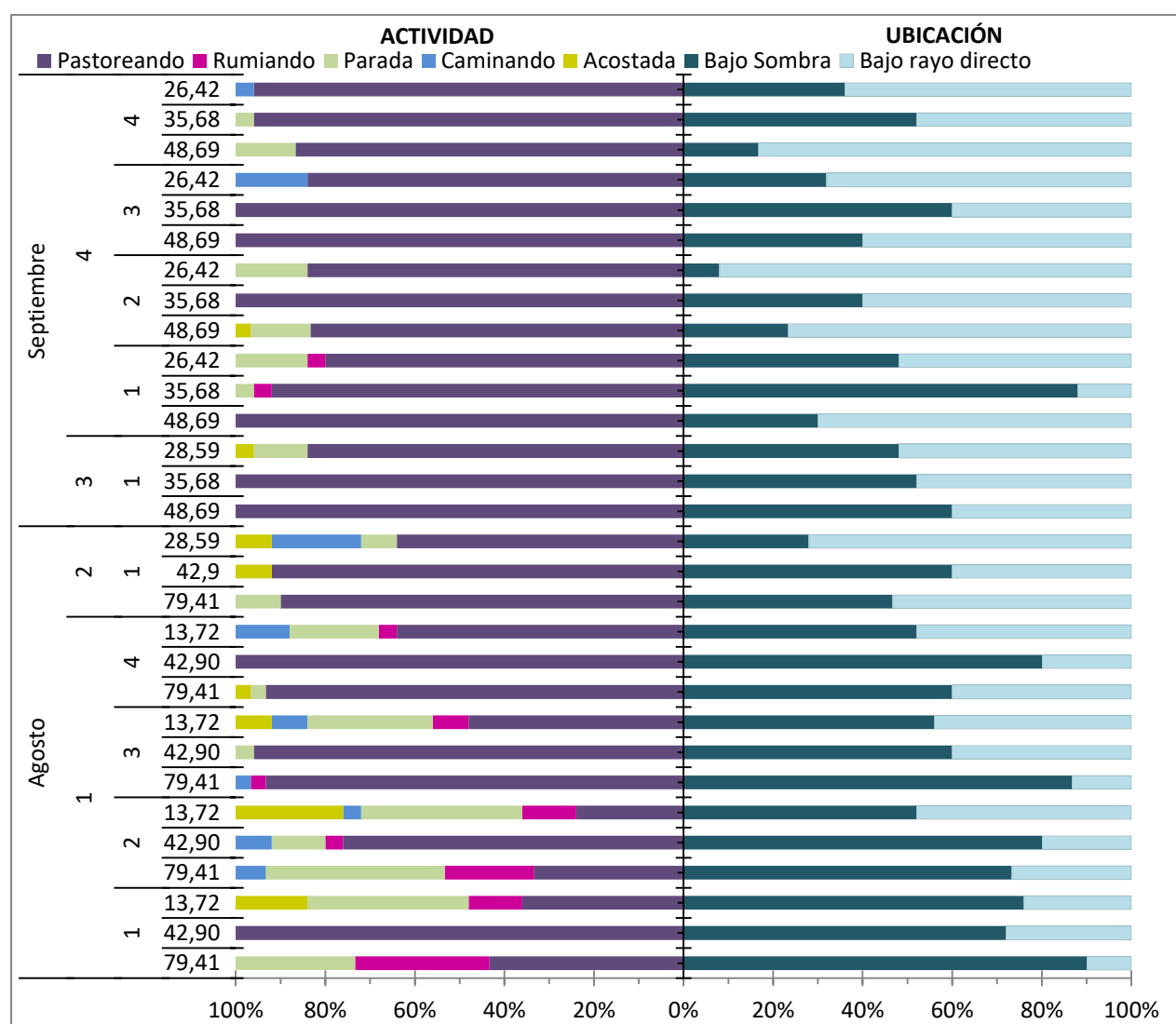
En cuanto a la ubicación del ganado, Polania (2012) y Navas *et al.*, (2008) encontraron que la tendencia del ganado es a estar más tiempo bajo sombra en las horas más calurosas del día, con tendencia a ubicarse bajo los árboles con mayor área de copa (Navas, Ibrahim, & Alvarez, 2008) buscando reducir el EC. Navas *et al.*, (2008) da los primeros indicios sobre la relación que puede existir entre la ocurrencia de la búsqueda de sombra y la oportunidad con la que cuenta el ganado de estar bajo una sombra que le brinde confort, para que así el ganado se ubique en estos espacios.

4.4.1.3. Muestreo de las 4:00pm.

En el mes de Agosto hubo una mayor dinámica entre el porcentaje del total de observaciones que el ganado dedicó a cada actividad respecto al muestreo de la 1:00pm (Gráfica 8). Sin embargo, aunque el porcentaje del total de observaciones que el ganado dedicó a la actividad de Pastoreo/Ramoneo se redujo, como en los demás muestreos, esta actividad fue predominante.

Gráfica 8

Promedio (%) de la disposición del ganado en los lotes por repeticiones (muestreo de las 4:00pm).



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

En los tratamientos 1 y 2, las coberturas del 79,41%, 13,72%, 26,42% y 28,59% presentan un aumento en el porcentaje del total de observaciones dedicado a la actividad de estar Acostadas, Caminando, Paradas y Rumiando por parte del ganado respecto a la muestra ubicada en la cobertura del 42,90%. Esta situación puede ser más el efecto de la rutina de pastoreo diaria con la que cuenta el ganado que la existencia de EC, ya que a esa hora el ganado se predispone a para ser regresado al corral, y en esta hora no se registró una temperatura corporal superior al rango de 37°C en ninguna de las muestras.

Por otra parte se encontró que el ganado estuvo más tiempo Bajo Sombra en el mes de Agosto y más tiempo Bajo Rayo Directo en Septiembre en esta hora de muestreo, lo cual se relaciona con el comportamiento de los promedios de temperatura registrados para las tres coberturas en la misma hora, el cual presentó temperaturas más altas en Agosto respecto a Septiembre, siendo Septiembre el mes donde el ganado tuvo mayor libertad para realizar determinada actividad ya fuese Bajo Sombra o en espacio abierto. Este resultado corresponde a lo reportado por Navas *et al.*, (2008) y Polania (2012) en sus investigaciones.

Finalmente, cabe resaltar que si bien la temperatura corporal de la muestra ubicada bajo la cobertura del 26,42% estuvo sobre los 38°C en el tratamiento 4, las hembras realizaron la actividad de Pastoreo/Ramoneo en más del 95% del total de observaciones aunque de manera predominante Bajo Rayo Directo (Gráfica 7), por lo que el comportamiento animal sugiere descartar la presencia de EC.

4.4.2. Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Condición corporal del ganado.

No se observaron efectos negativos significativos en las sub-muestras ubicadas bajo los tipos de cobertura *alta* y *media*, con valores que se mantuvieron entre 3,5 y 3,6 puntos (Tabla 17). Este resultado se asemeja a lo encontrado por Osorio (2014) quien evidenció que los animales ubicados bajo mayor cobertura arbórea presentaron una mejor recuperación de la condición corporal que los animales bajo cobertura insuficiente. Caso contrario se presentó con la sub-muestra ubicada bajo el tipo de cobertura *baja*, donde se evidenció una disminución en la condición corporal (Tabla 17).

Tabla 17

Valoración de la Condición Corporal (CCC) promedio del ganado al inicio y al final del experimento.

Cobertura	(Escala de 1 a 6)	
	Inicio	Fin
<i>alta</i>	3,60	3,65
<i>media</i>	3,62	3,56
<i>baja</i>	3,56	3,36

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

Esta baja en la condición corporal se puede asociar al menor porcentaje del total de observaciones en las que se encontró a esta sub-muestra realizando la actividad de Pastoreo/Ramoneo y con la temperatura corporal registrada en esta, la cual indicó presencia de EC en los muestreos de la 1:00pm. Muñoz, Gómez, Rojas y Orjuela (2013), Cerqueira *et al.*, (2010) y La Manna *et al.*, (2014) describen la inapetencia fisiológica como un indicador comportamental que adoptan los bovinos como efecto del EC que genera la disminución del consumo de energía y genera a su vez un desbalance energético, explicando parcialmente la baja condición corporal registrada. Este resultado concuerda con lo descrito por Singh *et al.*, (2008) quienes encuentran la reducción en la ganancia de peso vivo, y en casos extremos a la pérdida de peso, como efecto de las altas temperaturas en los mecanismos de regulación térmica del ganado.

Sin embargo, en esta investigación no se tuvo en cuenta el estado de lactancia en el que se encontraban las hembras debido a que esta variable era desconocida entre los encargados de la finca al momento de hacer la selección de la muestra en el hato, razón por la cual esta relación se da de manera parcial.

Sobre la relación entre la condición corporal y la lactancia, en un estudio donde evaluaron Producción de leche, el largo de lactación y los cambios de condición corporal durante la lactancia de vacas de doble propósito (Gyr x Holstein), encontraron que la condición corporal disminuyó entre -1 y -3 puntos y que esta variación difirió según el grupo genético y el nivel nutricional (Magaña, Ríos, & Martínez, 2006). Sin embargo, Salgado, Vergara y Simanca (2008), afirman que las correlaciones entre el peso corporal y producción de leche reportadas por la literatura no han sido consistentes debido al tiempo de lactancia en el que se realizan las mediciones, las asociaciones genéticas entre condición corporal y peso corporal y al grado de

movilización de tejidos a través de la lactancia y que por el contrario, los promedios obtenidos de la condición corporal durante la lactancia están correlacionados genética y fenotípicamente con rasgos de producción.

Aun así, Saborio y Sánchez (2014) afirman que la información reportada sobre el comportamiento de la CCC durante la lactancia en sistemas de pastoreo en ambientes tropicales y en ganado doble propósito es baja, así como sus implicaciones sobre variables de interés para el productor, por lo que es fundamental aumentar el conocimiento de la evolución de la curva de condición corporal para mejorar la productividad del ganado.

4.4.3. Efecto de los microclimas proporcionados por el Pelá sobre la Producción de Leche.

Hubo una correlación positiva e imperfecta, con valores comprendidos entre 0,4 y 0,6 que califican para una relación de tipo moderada (Tabla 18), mostrando la correspondencia que tienen los microclimas proporcionados por el Pelá con cambios fisiológicos y en el comportamiento que afectan la producción de leche.

Tabla 18

Matriz de correlación de Pearson entre el Porcentaje de Cobertura (%Cob) y la producción de leche (KgLeche).

Tto.	Rep.	%Cob.
1	1	0,41
	2	0,53
	3	0,49
	4	0,71
2	1	0,65
3	1	0,56
4	1	0,65
	2	0,40
	3	0,53
	4	0,63

Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

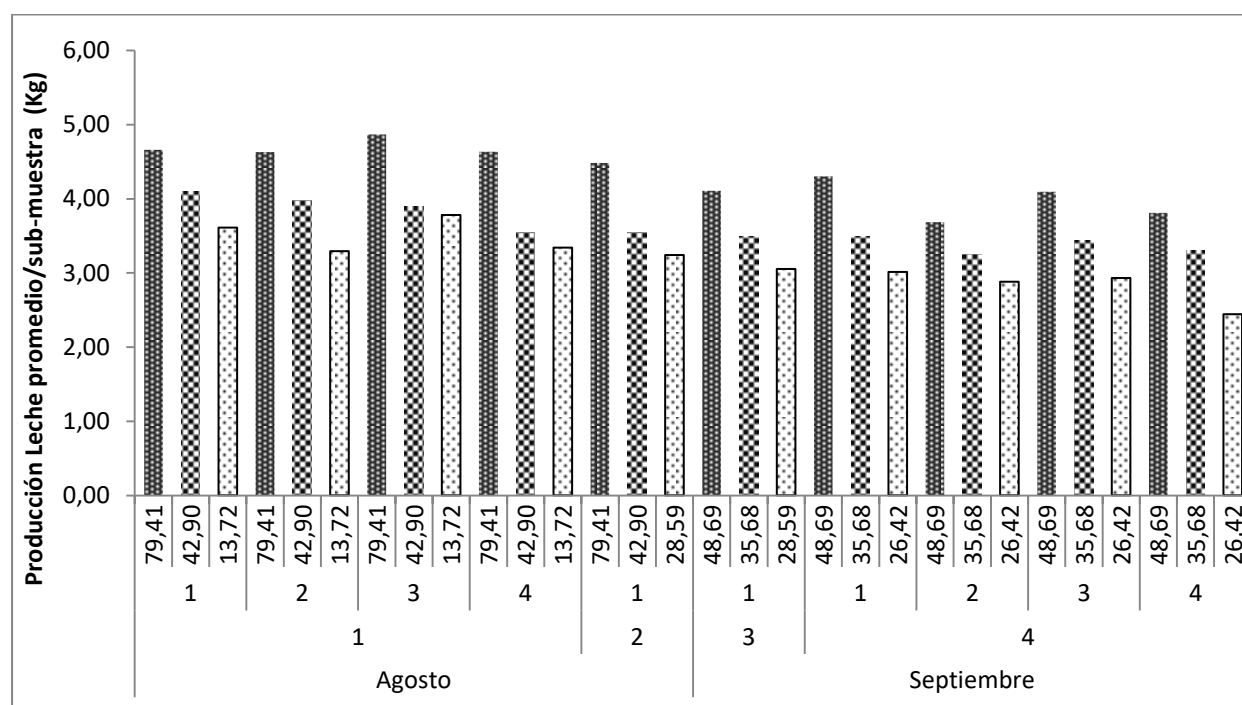
Este resultado coincide con Echeverry y Restrepo (2009), quienes evidenciaron una correlación negativa y baja entre la temperatura ambiental y la producción de leche y una

correlación positiva y baja entre la humedad relativa y la producción de leche, con alta significancia estadística.

Seguidamente, se encontraron diferencias significativas entre el peso de la leche registrado bajo los 3 tipos de cobertura ($p < 0,0001$) con fluctuaciones muy sensibles dadas entre los 2 y 5kg (Gráfica 9). Betancourt, Ibrahim, Harvey, y Vargas (2003) igualmente encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la cobertura arbórea alta (22-30%) y baja (0-7%) para la producción de leche, siendo mayor la producción de leche en la cobertura alta un 29%.

Gráfica 9

Comportamiento de la producción de leche (Kg) promedio de las unidades muestréales por repeticiones.



Fuente: Autora; a partir de datos recolectados en campo.

El peso de leche promedio registrado en la sub-muestra ubicada con cobertura *alta* (79,41% y 48,69%) fue de 4kg, en cobertura *media* (42,90% y 35,68) el promedio fue de 3,5kg y en cobertura *baja* (13,72%, 28,59% y 26,42%) el peso promedio fue de 3kg. No obstante, las sub-muestras ubicadas con tipo de cobertura *media* y *alta* registraron una producción de leche que estuvo por encima del promedio departamental (Gráfica 9), lo que evidencia el potencial lechero que presenta este cruce en el trópico seco.

Por otra parte, el comportamiento de la producción que se observó durante la investigación (Gráfica 9) evidencia una reducción en el mes de Septiembre respecto al mes de Agosto de hasta 1kg en todas las muestras. Lo anterior se pudo dar en coherencia con las condiciones ambientales de EC que se presentaron las 3 sub-muestras de manera crónica durante el tiempo que abarcó la investigación (reflejados en el comportamiento del ITH), lo que afectó de manera directa el parámetro productivo de variación inmediata como lo fue la producción diaria de leche, que a su vez tuvo relación con la disminución en la cantidad de alimento disponible para el consumo del ganado en los lotes, lo cual se observó durante la investigación. De igual modo, la marcada disminución en el consumo voluntario de alimento observado de manera sobresaliente en la sub-muestra ubicada con tipo de cobertura *baja*, significó un aumento significativo de los requerimientos energéticos de mantenimiento. De acuerdo con lo anterior, Singh *et al.*, (2008) resaltan las implicaciones de las altas temperaturas sobre la producción e incluso la composición de la leche por la falla en los mecanismos de regulación térmica del ganado.

Sin embargo, es importante resaltar que al no haber tenido en cuenta el estado de lactancia en el que se encontraban las hembras durante la investigación, se pierde soporte para relacionar la disminución de la producción de leche con el EC por lo que se habla de una relación parcial. Frente a esto, Mayer *et al.*, (1999) señalan que factores como el estado de lactancia, la raza, la edad del animal, el color del pelaje, la calidad y cantidad de alimento que se le suministra, entre otros, confunden los efectos del EC en la producción de leche. El autor también resalta que en condiciones de campo es difícil separar el efecto directo del EC, gracias a factores secundarios de incidencia como lo son la baja calidad de las pasturas por causa del manejo, las altas temperaturas o la falta de agua, entre otros.

Por otra parte, si bien la sub-muestra ubicada bajo el tipo de cobertura *alta* mostro un promedio más alto en la producción de leche, al observar que no mostró reducción en su CCC a pesar de que su temperatura corporal superó los 38°C, que mostró una reducción en el porcentaje del tiempo dedicado a la actividad de Pastoreo/Ramoneo en el muestreo donde se registraron las temperaturas más altas para dedicarse a realizar la actividad de Rumia y ubicarse Bajo Sombra en un mayor porcentaje respecto a las sub-muestras ubicadas en los otros tipos de cobertura, Navas (2010) lo describe como un efecto benéfico de la sombra en sistemas de producción bovina,

observándose un mayor tiempo dedicado al Pastoreo y a la posterior Rumia con el objetivo de reducir el EC al disipar el calor metabólico producto de la fermentación, la cual influyó en el aumento de la temperatura corporal en esta sub-muestra, aunque la composición arbustiva del Pelá en los lotes en los que se ubicó no hayan presentado condiciones ideales para su estadía.

Este resultado, en comparación con el promedio en producción de leche obtenido en la sub-muestra con cobertura *media*, permite afirmar que si bien este ganado contó con las mejores condiciones ambientales para expresar su potencial productivo en ausencia de EC, su genética evidencia que el potencial del cruce propuesto por el ganadero de la finca no ha sido expresado en su totalidad lo cual se ve reflejado en la falta de registros por animal que faciliten obtener la proporción genética ideal del cruce. En ese sentido se destaca el nivel de producción con el que cuenta la sub-muestra con cobertura *alta*, el cual resulta evidentemente de la expresión genética de rusticidad que presenta el ganado media sangre Holstein x Cebú, para su adaptación a climas cálidos, como igualmente lo afirma Pérez (2010). En alusión a lo anterior, Magaña, Ríos y Martínez (2006) mencionan que la expresión fenotípica de la productividad de un animal, como lo es la eficiencia en el uso del alimento disponible, es el resultado del potencial del animal y su habilidad para sobrellevar los efectos del EC.

4.5. Relación entre la composición del recurso arbustivo de Pelá y la presencia de estrés calórico en los bovinos.

La investigación evidenció la presencia de una relación entre la ocurrencia de la búsqueda de sombra por parte del ganado y la oportunidad con la que ellos cuentan de ubicarse bajo una sombra que les proporcione confort térmico. Esto se pudo observar en esta investigación, donde la sub-muestra de ganado ubicada con tipos de cobertura *alta* y *baja* realizaron la actividad de Pastoreo Bajo Sombra en función de la oportunidad con la que contaron para realizar esta actividad bajo una sombra que brindara confort al animal y permitiera realizar el pastoreo en esa área. De acuerdo con lo anterior, es importante resaltar el análisis de la composición arbustiva del Pelá en los lotes clasificados en los tipos de cobertura *alta* y *baja* el cual se analizó en el capítulo 2 de resultados, donde variables como la altura de la planta, el área de copa, el número de individuos de la especie y la distribución de la cobertura en los lotes, afectaron las variables del

microclima evaluadas así como las variables fisiológicas, comportamentales y productivas en el ganado las cuales ya fueron descritas anteriormente.

La investigación evidenció la relación entre la composición del recurso arbustivo de Pelá en los sistemas silvopastoriles y la presencia de EC. Tal resultado se observó en la sub-muestra de ganado ubicada con cobertura *baja*, la cual presentó temperatura corporal alta en las horas más calurosas del día, que redujo el consumo voluntario alimento y se vio afectada por la disponibilidad de pasto con la que contaron los lotes durante la investigación, lo cual afectó su condición corporal y la producción de leche. Igualmente se demostró la relación con la sub-muestra de ganado ubicado en los lotes con cobertura *media*, la cual no mostró signos de EC en ninguna de las variables de respuesta evaluadas. De acuerdo con lo anterior, se hace importante resaltar la importancia de la presencia de cobertura arbustiva con el crecimiento de los pastos para el consumo del ganado:

4.5.1.1. Efecto de la cobertura del Pelá en el crecimiento de los pastos.

La presencia del Pelá evidenció la relación existente entre la cobertura arbórea y la generación de microclimas que significaron la disminución de la temperatura y el aumento en la concentración de humedad en el aire, que a su vez, permitieron a los bovinos incrementar el consumo voluntario de pasto en los lotes. El efecto anterior se relaciona con que los bovinos prefirieron los lotes de cobertura arbórea intermedia (42,90% y 35,68%) y alta (79,41% y 48,69%) al momento de pastorear, ya que fue evidente durante la investigación que estos porcentajes de cobertura fueron los que tuvieron la mayor parte de su área cubierta por pasto verde en comparación con los lotes con menor cobertura de Pelá, por lo que en los lotes con cobertura baja, el crecimiento de pasto fue lento y este se encontraba seco (Figura 4).

La baja cobertura de Pelá en estos lotes permitió que los pastos se secaran rápidamente por efecto de las altas temperaturas y los vientos registrados. Esta razón justificó el que se evidenciara el desplazamiento de esta sub-muestra de ganado destruyendo el cercado de los lotes en busca de pasto verde, situación que se observó adicionalmente durante la investigación.

Frente a esta condición, Carvalho, Xavier, y Alvim (s.f.) y Velásquez, (2005) describen como efecto de los microclimas proporcionados por la cobertura arbórea, la reducción de la

evapotranspiración de las pasturas en la estación seca, la minimización en la pérdida de humedad del suelo y el incremento en la biomasa presente bajo el dosel de los árboles. En adición, por la arquitectura de copa que presentan los arbustos del Pelá y por la baja oclusión de la copa que, se infiere por observación, presenta la planta, el Pelá permite el buen crecimiento de las pasturas bajo su dosel. De igual forma, Mahecha (2003) afirma que los árboles son considerados como modificadores del forraje y como forrajeros, gracias a que la introducción de árboles puede incrementar la cantidad total de forraje disponible para el ganado.

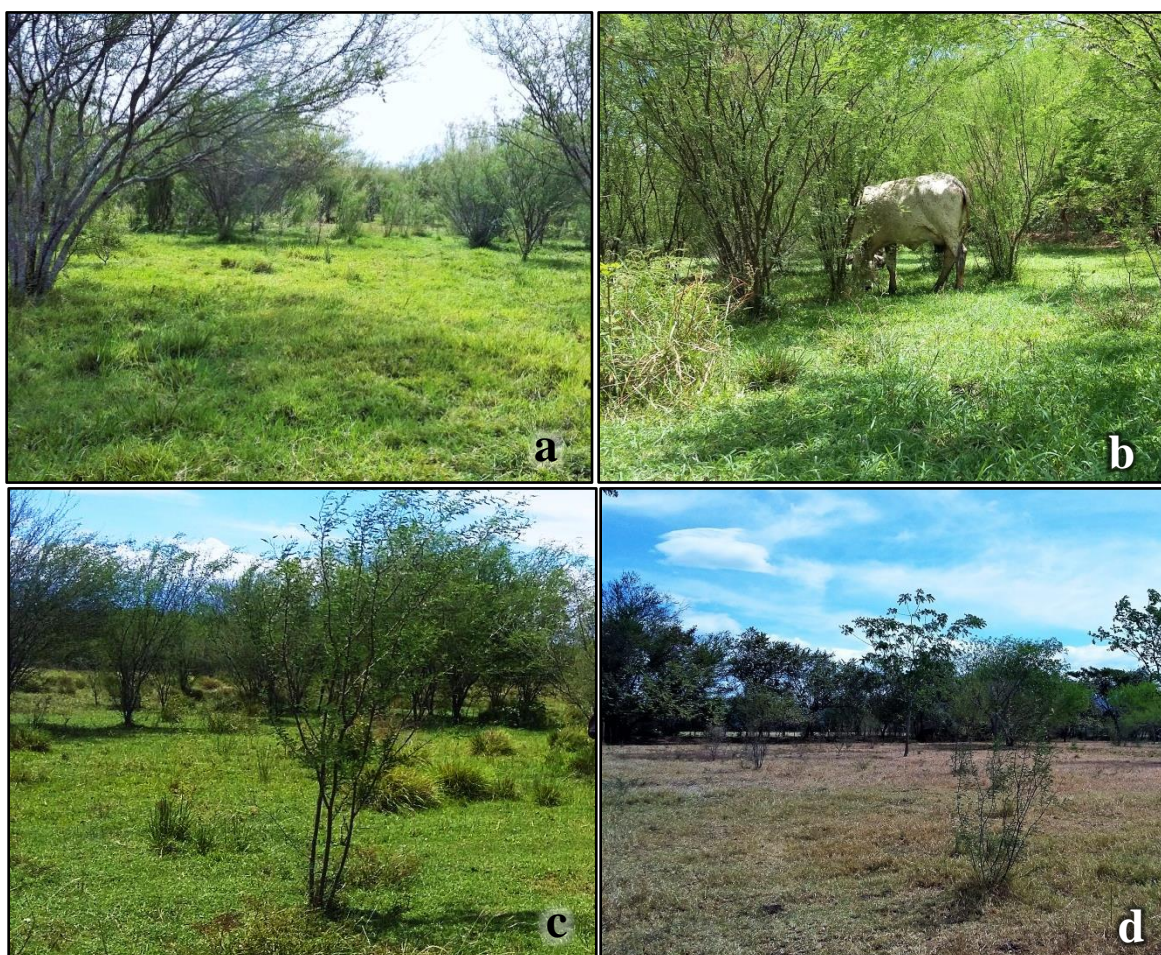


Figura 4. Apariencia de las pasturas en algunos lotes en función de la cobertura de Pelá. **a)** Cobertura del 79,41%; **b)** Cobertura del 42,90%; **c)** Cobertura del 35,68%; **d)** Cobertura del 13,72%. Fuente: Autora.

Carvalho *et al.* (Citado por Carvalho, Xavier, y Alvim, s.f.), encontraron que en pastos de *B. decumbens*, a partir de cuatro años de la introducción de leguminosas arbóreas, en períodos de más baja precipitaciones, ésta se presentaba más verde en las áreas con sombra reflejando una

mejor calidad del forraje en el área bajo sombra, en relación con el área a pleno sol. De manera consecuente, Serrano, Andrade, y Mora-Delgado (2014) sugieren direccionar los diseños de los sistemas silvopastoriles hacia modelos que involucren especies leñosas con valores con baja oclusión de copa, facilitando de esta manera el buen desarrollo de las especies herbáceas presentes bajo el dosel a partir de buena disponibilidad de luz solar.

5. Conclusiones

El Pelá (*Vachellia farnesiana*) se presentó de manera abundante al ser invasiva siendo necesario implementar prácticas de control para su manejo, de tal modo que no intervenga con los rendimientos de los pastos con los cuales se asocia la especie; el Pelá se encontró en su forma arbórea y generó sombra de intensidad baja que favoreció el crecimiento de los pastos bajo su dosel y en efecto, favoreció la estadía del ganado. La investigación encontró viable el uso de esta especie para madera por el volumen relativo que esta puede alcanzar a partir del área basal, siendo cualidades que potencializan su uso en sistemas silvopastoriles en la zona, representando un ingreso adicional en los sistemas productivos.

En el lugar de estudio, los meses de Agosto y Septiembre sobresalen respecto al resto del año por registrar las condiciones ambientales más críticas para la presencia de estrés calórico en los bovinos, siendo la 1:00pm la hora crítica.

La presencia de los arbustos de Pelá (*Vachellia farnesiana*) generaron microclimas moderados que disminuyeron la temperatura ambiente $-2,00^{\circ}\text{C}$ y aumentaron la humedad relativa en un 5% respecto a las áreas abiertas, que, bajo condiciones ambientales de EC constante, permitieron mantener la temperatura corporal del ganado dentro del rango normal, mitigando los efectos de las altas temperaturas en la producción, sobre todo en los bovinos ubicados con cobertura *media*.

La composición del recurso arbustivo de Pelá que presentó potencial para el establecimiento de sistemas silvopastoriles presentaron una distribución homogénea de la cobertura, con individuos que registraron un Área de copa sobre los 22m^2 , con altura dominante mayor a 4m y con densidades de 200 ind/ha en lotes con coberturas entre 42,90% y 35,68%; la arquitectura de copa que presentan los arbustos del Pelá, puede reducir las tasas de evaporación y suministrar la cantidad de humedad suficiente para promover el crecimiento de las pasturas para el consumo del ganado en pastoreo.

Los microclimas proporcionados por el Pelá, a partir de la composición del recurso arbustivo, modificaron la disposición del ganado en los lotes, la condición corporal y el comportamiento de la producción de leche, como efecto de las altas temperaturas registradas en

los mecanismos de regulación térmica del ganado, resaltando el potencial genético que presenta el cruce Gyr x Holstein para adaptarse a las condiciones del trópico seco y dar buenos rendimientos lácteos.

Finalmente, se resalta la importancia de establecer sistemas silvopastoriles aprovechando la presencia espontánea y la regeneración natural de los arbustos de Pelá en la zona, de tal modo que permita aprovechar los múltiples beneficios que esta especie puede generar en los suelos, en la apariencia de los pastos, en el bienestar animal, en los ingresos del ganadero y en la mitigación de los impactos de las altas temperaturas en la producción ganadera de la zona.

6. Recomendaciones

En el sistema productivo se hace necesario realizar un plan de manejo que incluya el conocimiento y manejo de la carga animal y de la genética del ganado, así como la implementación de un sistema de pastoreo que permita optimizar el uso del área destinada a lotes de pastoreo en función de los rendimientos de los pastos y la mejora de las variables productivas en el ganado de la finca.

Para el establecimiento de sistemas silvopastoriles con el Pelá se recomienda una distribución dispersa y homogénea de la cobertura, con individuos que presenten un Área de copa sobre los 22m², con altura dominante mayor a 4 metros y con una densidad de 200 individuos por hectárea que proporcione una cobertura entre el 42,90% y 35,68%. Además, se recomienda hacer control manual de la especie y podas de formación.

Es importante manejar un sistema de registro de las variables de importancia del ganado para que a partir de esos datos se pueda mejorar la genética del ganado y que esto funcione en la adaptabilidad del ganado a las condiciones climáticas del lugar y en la mejora de las variables de producción.

Para futuras investigaciones se recomienda utilizar un método para cuantificar el estrés calórico que incluya variables como Velocidad del viento y Radiación solar, y otros parámetros ambientales que interactúan con ellos como determinantes del estrés calórico, utilizando preferiblemente una estación meteorológica portátil como instrumento de recolección de información. Además, se recomienda contar con porcentajes de coberturas incluidos en rangos o niveles porcentuales que estadísticamente califiquen para coberturas altas, medias y bajas, y con características homogéneas entre los lotes.

Se espera que los resultados de esta investigación se utilicen como fundamento teórico para incentivar la mejora y transformación de los sistemas productivos ganaderos de la zona y que la presente investigación sirva como un primer precedente para futuras investigaciones que relacionen a *Vachellia farnesiana* con la digestibilidad en el ganado, con características físico-químicas y microbiológicas del suelo, con la regeneración natural de la biodiversidad de la zona y con propiedades medicinales y alelopáticas.

7. Referencias

- Acevedo, A. (2016). *La agricultura familiar en Colombia: estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz*. Bogotá: Fondo Editorial Ediciones.
- Alcaldía municipal de Natagaima. (2012). *Plan municipal de Desarrollo 2012-2015*. Recuperado de www.natagaima-tolima.gov.co
- Álvarez, P. (2002). Estrés calórico en Vacas lecheras: Efectos y Soluciones. *Ganadería* (15), 70-75.
- Alvear, C., Melo, W., Apráez, J., Gálvez, A., & Insuasty, E. (2013). Especies arbóreas y arbustivas con potencial silvopastoril en la zona de bosque muy seco tropical del norte de Nariño y sur del Cauca. *Agroforestería Neotropical* (3), 37-46.
- Arias, R., Madeb, T., & Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet*, 40(1), 7-22. doi: [dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002](https://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002)
- Aristizabal, N. (2013). *Caracterización bioclimática y del uso de la tierra en el Valle seco del Magdalena; en el departamento del Tolima, entre los municipios de Mariquita y Natagaima* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*(77), 2044-2050.
- Barbié, O. (2007). *Compendio de Agricultura Natural: Agricultura natural escalonada*. Francia: ITAN.
- Barragán, W., Mahecha, L., & Cajas, Y. (2015). Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 211-223. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i2.19277>.
- Barrientos, L., Vargas, J., Rodríguez, A., Ochoa, H., Navarro, F., & Zorrilla, J. (2012). Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. *Madera bosques*, 18(3), 23-35.
- Bavera, G., & Béguet, H. (2003). Clima y Ambiente: Elementos y factores. En G. Bavera, *Curso de Producción Bovina de Carne* (pp. 1-3). Sitio Argentino de Producción animal. Recuperado de www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion
- Betancourt, K. (2003). *Caracterización de sistemas lecheros y efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en la cuenca del río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.

- Betancourt, K., Ibrahim, I., Harvey, C., & Vargas, B. (2003). Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 47-51.
- Bonilla, A. (1999). El estrés en el Ganado. *Revista Acovez*, 18-26.
- Briones, G. (1996). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES).
- Broom, D. (2005). The effects of land transport on animal welfare. *Rev Sci Tech Off int Epiz*, 24(2), 683-691.
- Budowski, G. (1993). Agroforestería: Una Disciplina Basada en el Conocimiento Tradicional. *Revista Forestal Centroamericana*, 2(2), 14-18.
- Bush, J., & Van Auken, O. (1986). Light Requirements of *Acacia smallii* and *Celtis laevigata* in Relation to Secondary Succession on Floodplains of South Texas. *The American Midland Naturalist*, 115(1), 118-122. doi: 10.2307/2425841
- Bush, J., & Van Auken, O. (1989). Soil resource levels and competition between a woody and herbaceous species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 22-30.
- Bush, J., Richter, F., & Van Auken, O. (2006). Two decades of vegetation change on terraces of a south Texas river. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 113(2), 280-288. doi: 10.3159/1095-5674(2006)133[280:TDOVCO]2.0.CO;2.
- Caballero, A., Arce, R., Cuervo, D., Moreno, A., Parrado, L., & Pérez, M. (17 de Noviembre de 2013). *Microclimas*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cabrera, D. (s.f.). *Manejo y uso de pastos y forrajes en ganadería tropical*. Recuperado de http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/08_21_24_4.1.1.pdf
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría básica*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Caracol Radio. (12 de Septiembre de 2015). Productores de leche en el Tolima bastante afectados por temporada de sequía. *Caracol Radio*. Recuperado de www.caracol.com.co
- Caracol Radio. (13 de Enero de 2016). Sequía afecta sector ganadero del Tolima. *Caracol Radio*. Recuperado de www.caracol.com.co
- Cardoso, J. (2010). Anatomia da madeira de *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. *Revista Balduinia*, 15(22), 9-14.

- Carvalho, M., Xavier, D., & Alvim, M. (s.f.). *Uso de leguminosas arboreas en la recuperacion y sustentabilidad de pasturas cultivadas*. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x6342s.pdf>
- Castaño, M. (2006). *Manejo eficiente de la vaca en producción dentro del sistema doble propósito*. Colombia: CORPOICA.
- Cerqueira, J., Araújo, J., Cantalapiedra, J., Pedernera, C., & Blanco, I. (2010). Estrés térmico en explotaciones de ganado vacuno: Detección precoz y posibles soluciones. *AFRIGA* (111), 80-85.
- Chica, D. (2011). *Análisis de la relación entre cobertura y composición arbórea, factores de manejo y productividad ganadera en fincas doble propósito del departamento de Rivas, Nicaragua* (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2012). *Estrategia Nacional de Agrosilvicultura*. Zapopan, Jalisco, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- CONtexto Ganadero. (22 de Marzo de 2016). El viacrucis de los ganaderos en el primer trimestre del año. *CONtextoGanadero*. Recuperado de www.contextoganadero.com
- Cony, P., Casagrande, G., & Vergara, G. (2004). Cuantificación de un índice de estrés calórico para vacas lecheras en Anguil, provincia de La Pampa (Argentina). *Rev.Fac. Agronomía - UNLPam*, 15(1/2), 9-15.
- Cordero, J., Mesén, F., Montero, M., Stewart, J., Boshier, D., Chamberlain, J., & ... Detlefsen, G. (2003). Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. En J. Cordero, & D. Boshier, *Arboles de Centroamérica un Manual para el Extens*.
- Córdova, A., Murillo, A., & Castillo, H. (2010). Efecto de factores climáticos sobre la conducta reproductiva bovina en los trópicos. *Revista electrónica de Veterinaria REDVET*, 1(1), 1-12. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/636/63613103016.pdf>
- Córdova, A., Ruiz, C., Saltijeral, J., Xolalpa, V., Cortés, S., Méndez, M., ...Guerra, E. (2009). Importancia del Bienestar animal en las unidades de producción animal en México. *Revista electrónica de veterinaria (REDVET)*, 10(12), 1-12.
- Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria [CORPOICA]. (1999). *Guía para la Evaluación de la Condición Corporal de vacas en sistemas doble propósito*. Bogotá, D.C.: PRODUMEDIOS.
- Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria [CORPOICA]. (2005). *Zonificación Agroecológica, Evaluación económica y organización socioempresarial de sistemas de producción prioritarios en el área de desarrollo rural sur oriente del Tolima*. Recuperado de www.incoder.gov.co

- Correa, Z. (2015). *Respuestas fisiológicas de vacas criollas bajo tres rangos de caarca calórica ambiental en el pie de monte llanero* (Tesis de Maestría). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Da Silva, R. (2006). Weather and climate and animal production. En S. Huda, & J. Flesch, *Guide to agricultural meteorological practices* (pp. 563-567). Recuperado de http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap12.pdf
- Daza, A. (2014). *Estudio fitoquímico de la corteza de Acacia farnesiana utilizada tradicionalmente para el tratamiento de la malaria* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- De Azevedo, M., Ávila, M., Mattana, H., Quintão, Â., Barboza, I., Neves, J., & Esteves, L. (2005). Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandêz-Zebú em lactação. *R. Bras. Zootec.*(34), 2000-2008.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE]. (Marzo de 2016a). *Efectos del clima en la producción de la ganadería de leche*. Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción pecuaria (45). Recuperado de www.dane.gov.co
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE]. (Diciembre de 2012). *Agroforestería: una opción para la sustentabilidad agropecuaria*. Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria (6). Recuperado de www.dane.gov.co
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE]. (13 de Noviembre de 2015). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. Recuperado de www.dane.gov.co
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas [DANE]. (17 de Marzo de 2016b). *Cuentas Trimestrales-Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Cuarto Trimestre de 2015*. Recuperado de www.dane.gov.co
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2015). *InfoStat versión 2015*. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina: Grupo InfoStat, FCA. Recuperado de www.infostat.com.ar
- Díaz, L., Moreno-Elcure, E., & Carrero, L. (2006). Modelo silvopastoril de regeneración natural con especies forestales, promotor de servicios ambientales en la zona norte del Estado Táchira, Venezuela. *Livestock Research for Rural Development*, 18(11). Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd18/11/ampa18153.htm>
- Dikmen, S., & Hansen, P. (2009). Is the temperatura humidity index the best indicator of heat estrés in lactating cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109–116.

- Echeverry, J. J., & Restrepo, L. F. (2009). Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos Municipios de Antioquia–Colombia. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(1), 50-57.
- Echeverry, M., Galeano, L., Cerón, M., & Márquez, S. M. (2015). Efecto de las variables climatológicas sobre la producción de leche de vacas Holstein. *Livestock Research for Rural Development*, 27(12), 1-8.
- Escobar, B., Hernández, B., Giraldo, L., & Mahecha, L. (2001). Efecto de la sombra arbórea sobre los hábitos de pastoreo y el consumo de vacas Cebú en Caucasia, Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*(14), 92-94.
- Eslava, J. (1993). Climatología y diversidad climática de Colombia. *Revista académica Colombiana de ciencias*, 18(71), 507-538.
- Esquivel, M. J., Harvey, C. A., Finegan, B., Casanoves, F., Skarpe, C., & Nieuwenhuyse, A. (2009). Regeneración natural de árboles y arbustos en potreros activos de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*(47), 76-84.
- Farrell, J., & Altieri, A. (1995). Sistemas agroforestales. En A. Altieri, *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 229-243). Montevideo: Editorial Nordan–Comunidad.
- Federación Colombiana de Ganaderos [FEDEGAN] y Fondo Nacional del Ganado [FNG]. (2014). *El Departamento del Tolima en la Ganadería colombiana*. Recuperado de www.fedegan.org.co
- Ferreira, F., Pires, M., Martinez, M., Coelho, S., Carvalho, A., Ferreira, P., . . . Campos, W. (2006). Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet.*, 58(5), 732-738. doi: [dx.doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005](https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005).
- Figuroa, Y., & Galeano, G. (2007). Lista comentada de las plantas vasculares del enclave seco interandino de la Tatacoa, Huila, Colombia. *Caldasia*, 29(2), 263-281.
- Fondo Nacional del Ganado [FNG]. (2016b). *Balance y Perspectivas del sector ganadero en Colombia*. Recuperado de www.fedegan.org.co
- Fondo Nacional del Ganado [FNG]. (2016a). *La ganadería colombiana, Grandes cifras: Cifras de Referencia, Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana PEGA 2019*. Recuperado de www.fedegan.org.co
- Fukuoka, M. (1985). *La senda natural del cultivo: Teoría y práctica de una filosofía verde*. España: TERAPIÓN.

- Galeano, L., Gómez, M., & Gómez, J. (2013). Caracterización de los sistemas de pastoreo de pequeños rumiantes en el sur del Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 6(1), 75-85.
- Gallardo, M., & Valtora, S. (2011). *Producción y bienestar animal: estrés por calor en ganado lechero; impactos y mitigación*. Buenos Aires : Hemisferios Sur .
- Garavito, O. (2012). *Análisis del modelo de asistencia técnica para pequeños productores de bovinos doble propósito Caso: Municipio de Los Palmitos, Sucre* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- García, F. (2010). *Efecto de la cobertura arbórea en potreros y el estado de lactancia, sobre el comportamiento diurno de ganado doble propósito manejado bajo pastoreo en el trópico sub-húmedo* (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- García, L. (1997). *Estudio fenológico y de crecimiento de once especies leñosas del matorral espinoso Tamaulipeco en Linares, Nuevo León, México* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Nuevo León (UANL), Nuevo León, México.
- Gaughan, J., Mader, T., Holt, S., & Lisle, A. (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci*(86), 226-234.
- Gobernación del Tolima. (2002). *Programa forestal para el departamento del Tolima*. Ibagué. Recuperado de www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/documentos_tecnicos/PROGRAMA%20FORESTAL%20PARA%20EL%20DEPARTAMENTO%20DEL%20TOLIMA.pdf
- Góngora, A., & Hernández, A. (2010). La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 141-151.
- Hahn, G., Gaughan, J., Mader, T., & Eigenberg, R. (2003). Chapter 5: Thermal índices and their applications for livestock environments. En J. DeShazer (Ed.), *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management* (pp. 113-130). St. Joseph, M: Society of Agricultural And Biological Engineers (ASABAE).
- Hernández, G. (1998). *Estrategia genética para ganado tropical de doble propósito*. Bogotá D.C.: CORPOICA.
- Herrera, C. (2 de Mayo de 2011). *Indicadores Fisiológicos de Estrés en Ganadería Bovina*. Recuperado de Engormix-Ganadería: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/sanidad/articulos/indicadores-fisiologicos-estres-ganaderia-t3354/165-p0.htm>

- Heuvelodp, J., Pardo, J., Quirós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología tropical*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Hinsch, O. (1990). Exposición prolongada al calor solar. Mecanismos que intervienen en la termorregulación: sus consecuencias. *Proyección Rural, Bs. As*, 32-33.
- Humayel, I. (2014). *El efecto del estrés calórico en bovinos de leche*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México.
- Ibrahim, M., & Camargo, L. (2001). ¿Cómo aumentar la regeneración de árboles maderables en potreros? *Agroforestería en las Américas*, 8(32), 35-41.
- Instituto Alexander von Humboldt [IAVH]. (1998). *El Bosque seco Tropical (Bs-t) en Colombia*. Programa de Inventario de la Biodiversidad Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2016a). *Censo Pecuario Nacional: Censo bovino en Colombia*. Recuperado de www.ica.gov.co
- Instituto Colombiano Agropecuario[ICA]. (2016b). *Población bovina por municipio y por departamento 2016*. Recuperado de www.ica.gov.co
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM]. (2016). Promedios climatológicos 1978-2015. Recuperado de www.ideam.gov.co
- Khalifa, H. (2003). Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. Interactions between climate and animal production. *EAAP Technical(7)*, 15-29.
- Krishnamurthy, L. (1999). *Agroforestería básica*. México: Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R., & Aguilar, I. (2014). Estrés térmico en vacas lecheras. En I. N. (INIA), *Día de Campo: Manejo de Estrés Térmico en Ganado Lechero* (p. 31). La Estanzuela, Colonia: Serie Actividades de Difusión (728).
- Leaño, L. (2008). *Influencia climática sobre la producción bovina* (Tesis de pregrado). Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- León, J., & Poveda, L. (2000). Nombres comunes de las plantas de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 915.
- Little, E., Wadsworth, F., & Marrero, J. (1977). *Arboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes*. Puerto Rico: Editorial Universitaria Universidad de Puerto Rico.

- López, G. (2014). Sistemas agroforestales. En SAGARPA (Ed.), *Fichas Técnicas sobre Actividades del Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (COUSSA)* (pp. 1-8). México: SAGARPA.
- López, J. (2010). *Manual de Sistemas Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible: Agroforestería – Silvopastoril – Agrosilvopastoril*. San Lorenzo, Paraguay: Centro Internacional de Investigación de las Ciencias Agropecuarias del Japón.
- López, R., González, R., & Cano, M. (2012). Acacia farnesiana (L.) Willd. (Fabaceae: Leguminosae), una especie exótica con potencial invasivo en los bosques secos de la isla de Providencia (Colombia). *Biota Colombiana*, 13(2), 232-246.
- Lowry, W. (1973). *Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico de la clase IV*. Ginebra: Organización meteorológica Mundial (OMM).
- Ludovic, L. (2010). *Ganadería y cambio climático: Ir más allá de las ideas preconcebidas y reconocer el lugar específico de la ganadería campesina*. Lyon-Francia: Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras.
- Lusk, R. (1989). Thermoregulation. En S. Ettinger, *Textbook of Veterinary Internal Medicine* (pp. 23-27). Philadelphia: W.B. Saunders.
- Magaña, J., Ríos, G., & Martínez, J. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim*, 14(3), 105-114.
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 226-231.
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería Colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1), 11-18.
- Mauricio, R. M., Viana, V., Matta-Machado, R., & Pimenta, A. (2000). Avaliação de um Sistema Agroflorestal Pecuário baseado na Regeneração Natural de Espécies Arbóreas: influência da Bolsa-de-pastor (*Zeyheria turbeculosa*) e Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em parâmetros de fertilidade dos solos. *International symposium on silvopastoral systems*. Turrialba, Costa Rica: Tropical Agricultural Research and Training Centre (CATIE).
- Mayer, D., Davison, T., McGowan, M., Young, B., Matschoss, A., Hall, A., ...Gaughan, J. (1999). Extent and economic effect of heat loads on dairy cattle production in Australia. *Australian Veterinary Journal*, 77(12), 804-808.
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

- Ministerio del Interior. (2013). *Plan de Salvaguarda Étnica del pueblo Pijao*. Natagaima-Tolima: La Nación, Ministerio del interior, Asociación de Autoridades tradicionales del Consejo Regional Indígena del Tolima (CRIT). Recuperado de portalinfantil.mininterior.gov.co
- Molina, R., Silva, F., Perilla, S., & Sánchez, H. (2015). Caracterización del ambiente térmico para la actividad ganadera bovina en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta agronómica*, 65(4), 406-412. doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.49018>.
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Neiva, Huila: Universidad Sur-colombiana.
- Monroy, A., Estévez, J., García, R., & Ríos, R. (2007). Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Sociedad Botánica de México, Sup* (80), 49-57.
- Montagnini, F. (1992). *Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales.
- Montealegre, J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Bogotá D.C.: IDEAM. Recuperado de www.ideam.gov.co
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR.
- Muñoz, J., Gómez, A., Rojas, C., & Orjuela, J. y. (2013). Determinación de la incidencia de estrés calórico en numero de nacimientos en bovinos doble proposito del departamento del Caquetá. *REDVET*, 14(7). Recuperado de www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070713/071310.pdf
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654-1663.
- Murgueitio, E. (2005). Sistemas Silvopastoriles en el Trópico de América. En M. Mosquera, M. McAdam, & A. Rodríguez, *Silvopastoralismo Y Manejo Sostenible: Libro De Actas* (pp. 151-171). España: Unicopia Lugo.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*(19), 113-122.
- Navas, A., Ibrahim, M., & Alvarez, V. (2008). Influencia de la cobertura arbórea de sistemas silvopastoriles en la distribución de garrapatas en fincas ganaderas en el bosque seco tropical. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 1(1), 38-40.

- Oberto, M., Reitú, M., & Pirra, M. (2006). Estrés calórico: ¿Qué podemos hacer? ¿Dietas frías, manejo del ambiente? *Producir XXI, Buenos Aires*, 15(182), 36-39.
- Olivares, B., Guevara, E., Oliveros, Y., & López, L. (2013). Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 31(3), 209-233.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Livestock's Long Shadow*. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Ganadería Mundial 2011 - La Ganadería en la Seguridad Alimentaria*. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Informe Perspectivas Alimentarias: Resúmenes de mercado*. Roma: FAO.
- Osorio, J. (2014). *Efecto de la Cobertura arbórea sobre la fanancia de peso y el desempeño reproductivo de vavas Brhman en el trópico bajo* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Medellín.
- Ospina, A. (2001). Clasificación y caracterización de tecnologías agroforestales. En F. Delgado, E. Serrano, & J. Bilbá (Ed.), *Agroforestería en Latinoamérica: Experiencias locales* (pp. 11-20). Buga, Colombia: Movimiento Agroecológico para Latinoamérica.
- Oyhantçabal, W., Vitale, E., & Lagarmilla, P. (2010). El Cambio Climático y su relación con las enfermedades animales y la producción animal. *Conf OIE*, 169-177.
- Pabón, J., Zea, J., León, G., Hurtado, G., Gonzalez, O., & Montealegre, J. (2001a). La atmósfera, el tiempo y el clima. En P. Leiva (Ed.), *El medio ambiente en Colombia 2 ed* (pp. 35-91). Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Pabón, J., Zea, J., León, G., Hurtado, G., Gonzalez, O., & Montealegre, J. (2001b). Colombia en el Ambiente Global. En P. Leiva (Ed.), *El medio ambiente en Colombia 2 ed* (pp. 35-91). Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Padrón, R., & Ricart, J. (2015). *Sinopsis anotada y comentada de la flora del Bosque Estatal de Guilarte*. Puerto Rico: Ediciones y Taller CIBA.
- Palma, J. (2006). Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 14(3), 95-104.
- Palomeque, E. (2009). *Sistemas Agroforestales*. Huehuetán, Chiapas, México: SOCLA.

- Parrotta, J. (1992). *Acacia farnesiana* (L.) Wild. Aroma, huisache. New Orleans, LA, U.S: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Pérez, L. (2010). *Evaluación y diagnóstico de la lechería doble propósito en la Hacienda Normandía* (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria LaSallista, Caldas.
- Pezo, D., & Ibrahim, M. (1999). Sistemas silvopastoriles. *CATIE*, 276.
- Pinzón, G. (2007). *Diseño de un sistema para mejorar el Rendimiento de una ganadería intensiva Doble propósito en la finca Sarvipai en el municipio de Yacopí, Cundinamarca* (Tesis de Pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá D.C.
- Polania, Y. (2012). *Movimientos de vacunos en un paisaje arbolado y su relación con el gasto de energía* (Tesis de pregrado). Universidad del Tolima, Ibagué.
- Rico, M. (2001). El género acacia (leguminosae, mimosoideae) en el Estado de Oaxaca, México (parte A). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 58(2), 251-275.
- Roca, A. (2011). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático. *ESPAMCIENCIA*, 2(1), 15-25.
- Rodríguez, G., Banda, K., Reyes, S., & Estupiñán, A. (2012). Lista comentada de las plantas vasculares de bosques secos prioritarios para la conservación en los departamentos de Atlántico y Bolívar (Caribe colombiano). *Revista Biota Colombiana*, 13(2), 7-39.
- Rojas, F., & Torres, G. (2012). Árboles del Valle Central de Costa Rica: Reproducción Aromo (*Acacia farnesiana*). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 66-67.
- Romero, M., Uribe, L., & Sánchez, J. (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud*, 10(1), 71-87.
- Russo, R., & Botero, R. (2005). *El Componente Arbóreo como Recurso Forrajero en los Sistemas Silvopastoriles*. San José, Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH).
- Russo, R., & y Botero, R. (2005). *El Componente Arbóreo como Recurso Forrajero en los Sistemas Silvopastoriles*. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), San José, C.R.
- Saborio, A., & Sánchez, J. (2014). Evaluación de la Condición Corporal en un hato de vacas Jersey en pastoreo en la zona alta de Cartago. Variaciones durante el ciclo reproductivo. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 55-65.
- Salazar, R. (2000). Serie Técnica: Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. *Centro agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Manual técnico*(41), 123-124.

- Salgado, O., Vergara, O., & y Simanca, J. (2008). Relaciones entre Peso, Condición Corporal y producción de leche en vacas del sistema doble propósito. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1360-1364.
- Salvador, A. (6 de Febrero de 2014). *Efecto del estrés calórico en vacas lecheras*. Recuperado de Engormix: www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/manejo/articulos/efectos-estres-calorico-vacas-t5489/124-p0.htm
- Sandoval, A., & Mendoza, J. (2006). *Identificación de los arreglos de los sistemas agroforestales (SAF) en el paisaje terrestre protegido de Mirafior-Moropotente Esteli* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Saravia, C., Astigarraga, L., Van Lier, E., & Bentancur, O. (2011). Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia Uruguay*, 15(1), 93-102.
- Selye, H. (1973). The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. *American Scientist*, 61(6), 692-699.
- Serrano, J., Andrade, H., & Mora-Delgado, J. (2014). Caracterización de la cobertura arbórea en una pastura del trópico seco en Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 99-110.
- Sibaja, R. (2015). *Propiedades fisicoquímicas y funcionales de las gomas de Acacia cochliacantha y Acacia farnesiana* (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional, YAUTEPEC, MORELOS.
- Simón, L., López, O., & Álvarez, D. (2010). Evaluación de vacas de doble propósito de genotipos Holstein x Cebú en sistemas de pastoreo arborizado. II. Búparas. *Pastos y Forrajes*, 33(2), 1-4.
- Singh, S., Upadhyay, R., & Ashutosh. (2008). Impact of temperature rise on bovine production performance under limited available feed resources. *Journal of Farming Systems Research and Development*, 14(1), 140-143.
- Somarriba, E. (1990). Qué es agroforestería? *El Chasqui*, 8(24), 5-13.
- Sousa de Abreu, M. (2002). *Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics* (Tesis de doctorado). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Suárez, J., Santana, J., & Moreno, D. (Febrero de 2011). *Informe del sector ganadero Colombiano*. Bogotá, D.C.: Profesionales de Bolsa S.A. Recuperado de http://www.profesionalesdebolsa.com/aym_imagenes/files/Documentos/Analisis%20de%20mercado/FCP/Informe%20Especial%20Ganadero/2011/02_Ganadero_Febrero_2011.pdf

- Thom, E. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61.
- Toro, J., & Briones, J. (1995). *Manejo de plantas-plagas en pastizales*. Ecuador: INIAP.
- Torres, J., Tenorio, A., & Gómez, A. (2008). *Agroforestería: una estrategia de adaptación al cambio climático*. Lima, Perú: Soluciones Prácticas-ITD.
- Trevisi, E., & Bertoni, G. (2009). Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*, 8(Suppl.1), 265-286. Recuperado de doi: 10.4081/ijas.2009.s1.265
- Uribe, F., Zuluaga, A. F., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A., Solarte, L., & Soto, R. (2011). *Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible: Manual 1, Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Bogotá, Colombia: GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC.
- Uribe, F., Zuluaga, A., Valencia, L., Murgueitio, E., & Ochoa, L. (2011). *Buenas prácticas ganaderas: Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. Bogotá, Colombia: GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC.
- Valencia, J., Trujillo, L., & Vargas, O. (2012). Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. *Revista Biota Colombiana*, 13(2), 40-65.
- Valtorta, S., & Gallardo, M. (1996). El estrés por calor en producción lechera. En I. N. (INTA), *Miscelánea (81)* (pp. 173-185). Argentina.
- Van Auken, O., & Bush, J. (1985). Secondary succession on terraces of the San Antonio River. *The Torrey Botanical Club*, 112(2), 158-166. Recuperado de doi: 2996412
- Vargas, W. (2015). *Una breve descripción de la vegetación, con especial énfasis en las pioneras intermedias de los bosques secos de La Jagua, en la cuenca alta del río Magdalena en el Huila*. Recuperado de doi: dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.1.a03
- Velásquez, R. (2005). *Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función* (Tesis de doctorado). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Vélez de Villa, E. (2013). *Factores de origen ambiental que afectan la producción de leche en vacunos bajo pastoreo semi-intensivo*. Lima, Perú: Sistema de Revisiones en Investigación (Sirivs).
- Vélez, M., & Uribe, L. F. (2010). ¿Cómo afecta el estrés calórico la Reproducción? *Revista Biosalud*, 9(2), 83-9.
- Vergara, W. (2010). La ganadería extensiva y el problema agrario. El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia. *Revista de Ciencias Animales*(3), 45-53.

- Viana, V. M., Maurício, R. M., Matta-Machado, R., & Pimenta, I. A. (2002). Manejo de la regeneración natural de especies arbóreas nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en las zonas de bosques secos del sureste de Brasil. *Agroforestería en las Américas*, 9(33-34), 48-52.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., & Arguedas, R. (2005). *Las cercas vivas en las fincas ganaderas. Proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas*. Argentina: INPASA. Recuperado de http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/instalaciones/16-cercasvivas.pdf
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Casasola, F., Ríos, N., & Sepúlveda, C. (2009). Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. En C. Sepúlveda, & M. Ibrahim (Ed.), *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central* (pp. 103-126). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.
- Villar, C. (2012). El parasitismo en bovinos y el cambio climático en países tropicales con énfasis en investigaciones de Colombia. *Engormix-Ganadería*. Recuperado de <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/sanidad/articulos/parasitismo-bovinos-cambio-climaticot4313/165-p0.htm>
- Vitousek, P. (1994). Beyond global warming: Ecology and global change. *Ecology*, 75(7), 1861-1876.
- Wilson, J. R., & Ludlow, M. M. (1991). The environment and potential growth of herbage under plantations. En S. H.M., & W. Stur, *Forages for plantation crops* (pp. 10-24). Canberra, Australia: ACIAR.
- WingChing-Jones, R., Pérez, R., & Salazar, E. (2008). Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado Jersey en el trópico húmedo: El caso del módulo lechero-SDA/UCR. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 87-94.
- World Meteorological Organization. (1989). Animal Health and production at extremes of weather. *Technical Note*(191).
- Yabuta, A. (2001). *El estrés calórico en ganado lechero*. Mexico.
- Yerena, J., Jiménez, J., Alanís, E., Pompa, M., Aguirre, O., & Treviño, E. (2015). Contenido de carbono en la biomasa aérea del Mezquital con historial agrícola, en México. *Interciencia*, 40(10), 722-726.
- Zambrano, H. (2011). *Fundamentos de Meteorología y climatología*. Neiva, Colombia: Litocentral.

8. Anexos

Anexo 1.

Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) entre la Temperatura ($^{\circ}T$), Humedad Relativa (%HR) y las diferentes combinaciones de % coberturas para cada repetición y hora de muestreo.

Hora		10:00am			1:00pm			4:00pm	
Tto	Rep.	%Cob	$^{\circ}T$	%HR	$^{\circ}T$	%HR	$^{\circ}T$	%HR	
1	1	79,4	B	A	B	A	A	A	
		42,9	A		B	A	A	A	
		13,7	B	A		B	A	A	A
		0	B	A		A	B	A	A
	2	79,4	A	A	A	A	A	A	A
		42,9	A	A	A	A	A	A	A
		13,7	A	A	A	A	A	A	A
		0	A	A	A	A	A	A	A
	3	79,4	A	A	A	A	A	A	A
		42,9	A	A	A	A	A	A	A
		13,7	A	A	A	A	A	A	A
		0	A	A	A	A	A	A	A
4	79,4	A	A	A	A	A	A	A	
	42,9	A	A	A	A	A	A	A	
	13,7	A	A	A	A	A	A	A	
	0	A	A	A	A	A	A	A	
2	1	79,4	A	A	A	A	A	A	
		42,9	A	A	A	A	A	A	
		28,6	A	A	A	A	A	A	
		0	A	A	A	A	A	A	
3	1	48,7	A	A	A	A	A	A	
		35,7	A	A	A	A	A	A	
		28,6	A	A	A	A	A	A	
		0	A	A	A	A	A	A	
1	48,7	A	A	A	A	A	A	A	
	35,7	A	A	A	A	A	A	A	
	26,4	A	A	A	A	A	A	A	
	0	A	A	A	A	A	A	A	
2	48,7	A	A	A	A	A	A	A	
	35,7	A	A	A	A	A	A	A	
	26,4	A	A	A	A	A	A	A	
	0	A	A	A	A	A	A	A	
4	3	48,7	A	A	A	A	A	A	
		35,7	A	A	A	A	A	A	
		26,4	A	A	A	A	A	A	
		0	A	A	A	A	A	A	
4	4	48,7	A	A	A	A	A	A	
		35,7	A	A	A	A	A	A	
		26,4	A	A	A	A	A	A	
		0	A	A	A	A	A	A	

Anexo 2.

Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) entre la Temperatura corporal ($^{\circ}T_{\text{corporal}}$) y las diferentes combinaciones de % coberturas para cada repetición y hora de muestreo.

Tto.	Rep.	%Cob.	10:00am	1:00pm	4:00pm
1	1	79,41	B	A	A
		42,90	A	A	A B
		13,72	B	A	B
	2	79,41	B	B	A
		42,90	A	A	A
		13,72	B	B	B
	3	79,41	A	A	A
		42,90	A	A	A
		13,72	A	A	B
	4	79,41	A	A	B
		42,90	A	A	A
		13,72	A	A	A B
2	1	79,41	A	A B	A
		42,90	A	A	A
		28,59	A	B	A
3	1	48,69	A	A	A
		35,68	A	A B	A B
		28,59	A	B	B
4	1	48,69	A	A	A B
		35,68	A	A	A
		26,42	A	A	B
	2	48,69	A	A	A
		35,68	A	A	A
		26,42	A	A	B
3	48,69	A	A	A	
	35,68	A	B	B	
	26,42	A	C	C	
4	48,69	B	A	A	
	35,68	A B	A	A	
	26,42	A	A	A	