



**Efecto de los sistemas silvopastoriles en la producción forrajera, consumo
y comportamiento ingestivo bovino en ganaderías colombianas**

**Effect of silvopastoral systems on forage production, dry matter intake and
intake bovine behavior in Colombian livestock**

Sebastián Montoya Uribe

Zootecnista

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal
Ciudad, Colombia

2022

**Efecto de los sistemas silvopastoriles en la producción forrajera, consumo
y comportamiento ingestivo bovino en ganaderías colombianas**

**Effect of silvopastoral systems on forage production, dry matter intake and
intake bovine behavior in Colombian livestock**

Sebastián Montoya Uribe. Zootecnista

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Maestría en Ciencias Agrarias

Director:

BSc, MSc, PhD. Rolando Barahona Rosales.

Codirector (a):

BSc, MSc, PhD. Guillermo Antonio Correa Londoño.

Línea de Investigación:

Producción Animal y gestión Ambiental

Grupo de Investigación:

BIOGEN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Animal

Ciudad, Colombia

2022

2.1.1 Dedicatoria

A mis padres Elquin y Luz Dary, un millón de gracias y toda una vida de felicidad; que con su ejemplo me enseñaron que la grandeza del hombre no está en lo que logra, sino en lo que se hace por los demás.

2.1.2 Agradecimientos

Infinitas gracias a los profesores Rolando Barahona Rosales y Guillermo Antonio Correa, porque ninguno como ellos logró permearme de su gran conocimiento y humildad, enseñándome que la vida es una oportunidad de aprendizaje para todos, donde reconociendo que nadie es perfecto, todos podemos trabajar nuestras limitaciones y abrimos a recibir nuevas ideas, consejos o críticas. Gracias a los doctores Julián David Chará Orozco y Enrique Murgueitio Restrepo por confiar en mi trabajo, darme dirección y brindarme el apoyo con todo su equipo técnico. Gracias infinitas a Gonzalo Villegas, Isabel Molina y Gina Donneys con quienes compartí la fase de campo y quienes no escatimaron ningún esfuerzo y compartieron siempre amables y dispuestos su conocimiento conmigo. Gracias a Carlos Eduardo Giraldo, por todo el apoyo incondicional que me brindó durante el análisis de la información y por regalarme la oportunidad de aprender de él. Finalmente, gracias a mi hermana Estefanya Montoya Uribe quien me dio su amor, tiempo y apoyo incondicional en este largo y extraordinario proceso.

2.1.3 Resumen

La alta demanda de alimentos para satisfacer el acelerado crecimiento poblacional crea un gran reto para los agricultores, al tener que incrementar la producción de sus explotaciones sin expandir la frontera agropecuaria y sin incrementar los efectos adversos de estas producciones en el ambiente. A pesar de que se conoce el papel de la ganadería como motor económico para las comunidades rurales y de fomentar el desarrollo de pequeñas empresas en el sector agrícola y así contribuir al crecimiento económico nacional, el ineficiente uso de los recursos y la falta de planeación y programación empresarial deja en el panorama, sistemas de producción bovina en esquemas de pastoreo extensivo, praderas de monocultivos y emprendimientos ganaderos con alta capacidad extractiva de los recursos, alto potencial de detrimento ambiental en el territorio y con un productor ganadero sin conciencia colectiva para detener el deterioro ambiental causado. La integración del sector forestal con el ganadero, como sucede con los sistemas silvopastoriles (SSP), es una alternativa para diversificar la producción y mejorar la rentabilidad de los sistemas tradicionales de producción bovina en Latinoamérica, la inclusión de diversidad de forrajes a las dietas animales y los diferentes arreglos silvopastoriles han reportado confort térmico y mayor productividad animal, en contraste con aquellos sistemas de monocultivos mencionados anteriormente, sin embargo, las investigaciones realizadas sobre este tema siguen siendo insipientes para Colombia. Con el propósito de contribuir al conocimiento de las múltiples bondades que tienen los sistemas silvopastoriles, sobre el aumento de la productividad bovina, fue evaluado el efecto de los SSP en la oferta forrajera, el consumo en pastoreo y el comportamiento ingestivo de los hatos bovino en diferentes regiones de Colombia.

Este estudio se llevó a cabo en dos etapas. El primer experimento (Capítulo 2) consistió en evaluar la oferta forrajera y el consumo bovino en 17 fincas demostrativas del “Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible” distribuidas en 5 ecorregiones de Colombia, estos sistemas productivos ganaderos se

caracterizaron por tener 2 años de antigüedad de establecidos y de utilizar un manejo de pastoreos rotacionales con cargas animales ajustadas con la ayuda de técnicos de la Organización CIPAV y FEDEGAN, para las cuales se tuvieron en cuenta áreas cercadas no superiores a 5000 m², periodos de descansos definidos por la curva de crecimiento observada de los forrajes en cada zona y de las conversaciones realizadas con los productores. Las zonas ganaderas estudiadas fueron:

En la **ecorregión Cafetera y el Valle Alto del Río Cauca** se evaluaron sistemas con arbustos de *Tithonia diversifolia* (hemsl Gray) y *Leucaena leucocephala*. La pastura mejorada predominante fue *Cynodon plectostachyus*, siendo la producción de ganado de leche, la principal orientación económica. En la **Región de ganadería tradicional del Valle del Río Cesar** se evaluaron sistemas basados en los arbustos de *L. leucocephala* y bancos forrajeros de *Gliricidia sepium*; la pastura predominante fue *Panicum maximum* cv Mombaza en asocio con líneas de árboles de *Eucalyptus melliodora* y *Samanea saman*, dentro de un sistema orientado a la cría y el engorde de ganados cebuinos y sus cruces. En el **Bajo Magdalena** las praderas evaluadas estuvieron principalmente conformadas por *Bothriochloa pertusa* en asocio con *P. máximum*, el estrato secundario estuvo constituido por *L. leucocephala* y *G. sepium* y el nivel arquitectónico terciario de la pradera estuvo compuesto por árboles de *S. saman*. En el **Piedemonte del Orinoco** (departamento del Meta) se evaluaron ganaderías doble propósito, con sistemas forrajeros basados en *Brachiaria decumbens* y *T. diversifolia*, reconocidos por su tolerancia a la toxicidad por aluminio. **Las Regiones lecheras de Boyacá y Santander** fueron estudiados sistemas con la presencia de *Cenchrus clandestinus* en asocio a *Trifolium repens* y *Sambucus peruviana* en los territorios más altos de esta zona; en las secciones más bajas de la vertiente, el componente forrajero fue totalmente diferente y los forrajes de mayor presencia fueron *B. decumbens* y *T. diversifolia*. Se debe tener en cuenta, además, que las fincas estudiadas se encontraban en un proceso de reconversión productiva y ambiental, en donde no todas sus praderas estaban estructuradas como un SSP y no todas las fincas

contaban con todos los sistemas de siembra que se mencionan a continuación: Sistema de monocultivo (SC), Arboles dispersos en praderas (AD), Setos forrajeros (SF) y Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi). Pero buscando ordenar la información de la mejor manera y realizando un bloqueo por el efecto propio del predio, se concibe la unidad experimental de este trabajo como la oferta y consumo diario encontrado en franjas o áreas asignadas por la rotación en potreros de los diversos sistemas de siembra, para de esta manera escalar la investigación de lo meramente descriptivo y proponer de manera humilde una comparación del desempeño productivo de los SSP.

La oferta forrajera fue de 4.55 en SF sin diferencias con 4.12 del SSPi, pero mayor al 2.78 y 3.24 (kg/100 kg PV/día) de AD y SC respectivamente ($P < 0,05$); los dos primeros sistemas ofertaron más de un 50% y un 45% de proteína cruda y cenizas respectivamente con relación a la oferta observada en los sistemas de AD y SC ($P < 0,05$). Igual tendencia tuvo el consumo de proteína cruda, que fue de 352.30 en SF y 293.77 SSPi superiores a 141.36 y 151.99 (gr de PC/100 kg PV/día) de AD y SC respectivamente ($P < 0,05$). El consumo de cenizas fue de 301.97 en SSPi y superior a 212.37, 206.24 y 258.11 (gr de Cenizas/100 kg PV/ día) en AD, SC y SF respectivamente ($P < 0,05$). El consumo de grasa (gr de grasa /100 kg PV/día), tuvo una relación inversa con el consumo de proteína, siendo mayor en los AD y SC ($P < 0,05$). El R^2 El coeficiente de determinación (0.0403) obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de CMS por el aforo y el encontrado con Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) fue bajo y el cuadrado medio de error de predicción ($CMEP=0.6849$ (kg/100 kg PV/d)²) fue alto, surgiendo un enfoque diferente en la heurística de las metodologías, mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos en el consumo bovino de animales en pastoreo.

El segundo experimento (Capítulo 3) consistió en estudiar el comportamiento ingestivo bovino encontrado en tres zonas ganaderas de importancia productiva para Colombia, en fincas donde se tienen consolidados SPP en casi toda la extensión de sus territorios. El primer sistema de producción evaluado fue la finca

“Cien Años De Soledad” ubicada en el municipio de Rionegro, vereda el tablazo del departamento de Antioquia, el segundo sistema evaluado fue la “Hacienda Lucerna” ubicada en el norte de Valle Del Cauca, en el municipio de Bugalagrande y el tercer sistema fue la finca “Sinaí” ubicada en el municipio de Pailitas, en el departamento del Cesar. En esta evaluación del desempeño productivo de los hatos, se compararon animales estabulados y animales en pastoreo, estando los primeros en un modelo de evaluación individual del desempeño productivo de animales a los cuales se les suministró una dieta típica de un sistema silvopastoril y los segundos fueron animales pastoreando en las condiciones naturales y grupales propias de la especie. Se monitorearon las horas destinadas por los animales a las siguientes actividades (h/día) por 48 h consecutivas: consumo de forraje, rumia de pie, rumia estando acostados, descanso de pie y descanso estando acostados. Los datos registrados fueron analizados a través de un análisis de correspondencias. La actividad de consumo ocurrió generalmente en horas diurnas y fue a esta actividad a la que los animales dedicaron más tiempo (entre 7 a 10 h/día), representando el 35% su actividad diaria y registrando un consumo de 1.44, 0.713 y 0.490 Kg MS/animal/hora en los predios Cien años de soledad, Lucerna y Sinaí, respectivamente. Los animales tendieron a rumiar principalmente estando acostados durante las horas nocturnas con una consagración temporal promedio de 8 h, representado en el 30.5 % del tiempo. La rumia de pie se identifica como un mecanismo para acomodar el tamaño de partícula rápidamente, siendo este el patrón al que los animales dedicaron menos tiempo (1.3 h al día, que corresponden al 5.2% del tiempo). A la actividad de descanso de pie, los animales dedicaron 2 h/día, lo que corresponden al 9 % del tiempo total. El ritmo biológico del sueño bovino manifestado en el patrón de descanso estando acostados, se caracterizó por falta de respuesta a estímulo ambiental y a esta actividad los animales dedicaron 4.5 h o 19.5 % del tiempo diario.

Palabras claves: *Bovinos en pastoreo, composición botánica de las praderas, consumo voluntario, oferta de forraje, productividad, sistema silvopastoril intensivo (SSPi), etograma.*

2.1.4 Abstract

The high demand for food to satisfy the accelerated population growth creates a great challenge for farmers, as they have to increase production on their farms without expanding the agricultural frontier and without increasing the adverse effects of these productions on the environment. Although the role of cattle ranching as an economic engine for rural communities is well known, and the development of small businesses in the agricultural sector is known to contribute to national economic growth, the inefficient use of resources and the lack of planning and business programming leaves in the panorama, cattle production systems in extensive grazing schemes, monoculture pastures and cattle ranching enterprises with high extractive capacity of the resources, high potential for environmental damage in the territory and with a cattle producer without collective conscience to stop the environmental deterioration caused. The integration of the forestry sector with the livestock sector, as is the case with silvopastoral systems (SSP), is an alternative to diversify production and improve the profitability of traditional cattle production systems in Latin America. The inclusion of forage diversity in animal diets and the different silvopastoral arrangements have reported thermal comfort and higher animal productivity, in contrast with those monoculture systems mentioned above; however, research on this subject is still insipient for Colombia. With the purpose of contributing to the knowledge of the multiple benefits that silvopastoral systems have on the increase of bovine productivity, the effect of SSP on forage supply, grazing consumption and ingestive behavior of bovine herds in different regions of Colombia was evaluated.

This study was carried out in two stages. The first experiment (Chapter 2) consisted of evaluating the forage supply and cattle consumption in 17 demonstration farms of the "Sustainable Colombian Livestock Project" distributed in 5 ecoregions of Colombia. These cattle production systems were characterized by having been established for 2 years and using rotational grazing management with animal loads adjusted with the help of technicians from the CIPAV Organization and FEDEGAN,

These were based on fenced areas of no more than 5,000 m², rest periods defined by the growth curve observed for forage in each zone and the conversations held with the producers. The livestock zones studied were:

In the Coffee ecoregion and the Upper Cauca River Valley, systems with *Tithonia diversifolia* (hemsl Gray) and *Leucaena leucocephala* shrubs were evaluated. The predominant improved pasture was *Cynodon plectostachyus*, with dairy cattle production being the main economic orientation. In the traditional cattle raising region of the Cesar River Valley, systems based on *L. leucocephala* shrubs and *Gliricidia sepium* fodder banks were evaluated; the predominant pasture was *Panicum maximum* cv Mombaza in association with tree lines of *Eucalyptus melliodora* and *Samanea saman*, within a system oriented to the breeding and fattening of zebu cattle and their crossbreeds. In the Lower Magdalena, the grasslands evaluated were mainly composed of *Bothriochloa pertusa* in association with *P. maxima*, the secondary stratum was constituted by *L. leucocephala* and *G. sepium* and the tertiary architectural level of the grassland was composed of *S. saman* trees. In the Piedemonte del Orinoco (department of Meta), dual-purpose cattle ranches were evaluated, with forage systems based on *Brachiaria decumbens* and *T. diversifolia*, recognized for their tolerance to aluminum toxicity. In the dairy regions of Boyacá and Santander, systems were studied with the presence of *Cenchrus clandestinus* in association with *Trifolium repens* and *Sambucus peruviana* in the higher areas of this zone; in the lower sections of the slope, the forage component was totally different and the forages with the greatest presence were *B. decumbens* and *T. diversifolia*. It should also be taken into account that the farms studied were in a process of productive and environmental reconversion, where not all their pastures were structured as a SSP and not all the farms had all the planting systems mentioned below: Monoculture system (SC), Dispersed trees in pastures (AD), Forage hedges (SF) and Intensive silvopastoral systems (SSPi). However, in order to organize the information in the best way possible, and making a blockage due to the effect of the farm itself, the experimental unit of this work is conceived as the daily supply and consumption found in strips or areas assigned by the rotation in paddocks of the different sowing systems, in order

to scale up the research from the merely descriptive and humbly propose a comparison of the productive performance of the SSP.

The forage supply was 4.55 in SF without differences with 4.12 of SSPi, but higher than 2.78 and 3.24 (kg/100 kg PV/day) of AD and SC respectively ($P < 0.05$); the first two systems offered more than 50% and 45% of crude protein and ash respectively in relation to the supply observed in the AD and SC systems ($P < 0.05$). The same trend had the crude protein intake, which was 352.30 in SF and 293.77 SSPi higher than 141.36 and 151.99 (g CP/100 kg PV/day) of AD and SC respectively ($P < 0.05$). Ash intake was 301.97 in SSPi and higher than 212.37, 206.24 and 258.11 (gr of Ash/100 kg BW/day) in AD, SC and SF respectively ($P < 0.05$). Fat intake (gr of fat/100 kg PV/day), had an inverse relationship with protein intake, being higher in AD and SC ($P < 0.05$). The R^2 coefficient of determination (0.0403) obtained from the regression found between the CMS estimate by gauging and that found with Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) was low and the mean square of prediction error (CMEP=0.6849 (kg/100 kg BW/d)²) was high, emerging a different approach in the heuristics of the methodologies, mutually complementary for a range of values of maxima and minima in bovine consumption of grazing animals.

The second experiment (Chapter 3) consisted of studying the bovine intake behavior found in three cattle raising zones of productive importance for Colombia, in farms where SPP are consolidated in almost all the extension of their territories. The first production system evaluated was the farm "Cien Años De Soledad" located in the municipality of Rionegro, vereda el tablazo in the department of Antioquia, the second system evaluated was the "Hacienda Lucerna" located in the north of Valle Del Cauca, in the municipality of Bugalagrande and the third system was the farm "Sinai" located in the municipality of Pailitas, in the department of Cesar. In this evaluation of the productive performance of the herds, stabled animals and grazing animals were compared, the former being in a model of individual evaluation of the productive performance of animals to which a typical diet of a silvopastoral system was provided and the latter were animals grazing in the natural and group conditions typical of the species. The hours spent by the animals in the following

activities (h/day) were monitored for 48 consecutive hours: forage consumption, standing rumination, lying rumination, standing rest and lying rest. The recorded data were analyzed by correspondence analysis. Consumption activity generally occurred during daylight hours and it was to this activity that the animals dedicated more time (between 7 to 10 h/day), representing 35% of their daily activity and registering a consumption of 1.44, 0.713 and 0.490 kg DM/animal/hour in the farms Cien años de soledad, Lucerna and Sinai, respectively. The animals tended to ruminate mainly while lying down during the night hours with an average time commitment of 8 h, representing 30.5 % of the time. Standing rumination is identified as a mechanism to accommodate particle size quickly, being this the pattern to which the animals dedicated less time (1.3 h per day, corresponding to 5.2% of the time). To the standing resting activity, the animals dedicated 2 h/day, corresponding to 9 % of the total time. The biological rhythm of bovine sleep manifested in the pattern of resting while lying down, was characterized by lack of response to environmental stimuli and to this activity the animals dedicated 4.5 h or 19.5 % of the daily time.

Keywords: *Botanical composition of the pastures, forage offer, grazing bovines, productivity, voluntary intake, intensive silvopastoral system (SSPi), ethogram.*

2.1.5 Índice

	<u>PÁG.</u>
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Abstract.....	XI
Índice	XV
Lista de Figuras	XVIII
Lista de Tablas.....	XIX
Introducción	1
Bibliografía	3
Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
1. Capítulo 1: La Pradera, la condición climática su composición botánica y el efecto en el consumo y comportamiento bovino.: una revisión	6
1.1. La Pradera y la oferta forrajera.....	6
1.1.1 Especificaciones Morfológicas, Bioquímicas y su efecto en la Producción de Biomasa	6
1.1.2 Estacionalidad en la producción Forrajera.....	9
1.1.3 Estados fenológicos, composición química de los forrajes y su influencia en la selectividad.	10
1.1.4 Arquitectura forrajera de la pradera, los sistemas silvopastoriles y su efecto en el consumo y el bienestar animal.	12
1.1.5 Métodos para la determinación de la oferta forrajera.....	15
1.2 El Bovino, el pastoreo y sus ritmos circadianos.....	17

Efecto de los sistemas silvopastoril en la producción forrajera, consumo y comportamiento bovino en ganaderías colombianas.

1.2.1 Consumo en pastoreo: Tiempo de pastoreo, tamaño del bocado y tasa de consumo.	17
1.2.2 Rumia	20
1.2.3 Descanso y otros comportamientos	22
1.2.4 Métodos y ecuaciones para la estimación del consumo en pastoreo	23
1.3 Bibliografía.....	27
2. Capitulo 2: Producción forrajera y consumo en ganaderías colombianas con diversos sistemas de pastoreo incluyendo sistemas silvopastoriles.	42
2.1 Introducción	46
2.2 Materiales y metodos	49
2.2.1 Procedimiento general	49
2.2.2 Zonas de estudio	50
2.2.2 Muestreo y medidas.....	56
2.2.3 Tratamientos.....	57
2.2.4 Análisis estadístico	60
2.3 Resultados Y Discusión	61
2.3.1 Oferta de forraje y nutrientes.	61
2.3.2 La oferta forrajera y su relación con el consumo bovino	70
2.4. Conclusiones	75
2.5. Bibliografía.....	76
3. Capitulo 3: Efecto de los sistemas silvopastoril intensivos en el comportamiento bovino en tres regiones ganaderas de Colombia.	81
3.1 Introduccion	85
3.2 Materiales y metodos.....	87
3.2.1 Procedimientos general	87
3.2.2 Localización del estudio.....	88
3.2.2 Determinación del consumo de forrajes.....	89

3.2.3 Determinación del consumo de agua	90
3.2.4 Análisis composicional de las materias primas	91
3.2.5 Respuesta productiva.....	92
3.2.6 Determinación de la temperatura y la humedad relativa	93
3.2.7 Comportamiento animal	93
3.2.8 Diseño experimental y análisis estadístico	94
3.3 Resultados	94
3.3.1 Información general.....	94
3.3.2 Oferta y Consumo	95
3.3.3 Producción de leche y ganancia de peso	96
3.3.4 Índice de Temperatura y Humedad (ITH)	98
3.3.5 Comportamiento animal	99
3.3.6 Distribución temporal de las actividades en cada finca.....	101
3.4 Discusión	110
3.5 Conclusiones.....	112
3.6 Agradecimientos	112
3.7 Bibliografía	113
4. Discusión General.....	119
5. Recomendaciones.....	120

2.1.6 Lista de Figuras

FIGURA 2.1. ECORREGIONES GANADERAS DE COLOMBIA Y VALORES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.	54
FIGURA 2.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EVALUADOS. A) SISTEMA CONVENCIONAL; B) ARBOLES DISPERSOS; C) SETOS FORRAJEROS; D) SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS.	59
FIGURA 2.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) Y REGRESIÓN DE LA OFERTA FORRAJERA CON EL CONSUMO ESTIMADO CON METODOLOGÍA DE AFORO Y CNCPS	65
FIGURA 2.4. MAPA DE OFERTA FORRAJERA DE MS Y SU RESPECTIVO CONTENIDO PROTEICO.	68
FIGURA 2.5. MAPA DE OFERTA FORRAJERA DE MS Y SU RESPECTIVO CONTENIDO DE MINERALES.....	69
FIGURA 2.6. VALORES DE NUTRIENTES AJUSTADOS EN FUNCIÓN DE LA OFERTA FORRAJERA E INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.....	71
FIGURA 2.7. MAPA DE CONSUMO DE MATERIA SECA (CMS) Y SU RESPECTIVA CARGA ANIMAL.	72
FIGURA 2.8. ECUACIONES DE REGRESIÓN ENTRE EL CMS ESTIMADO CON CNCPS (FOX ET AL 2003) Y LA METODOLOGÍA DE AFORO.	74
FIGURA 3.1. ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD AJUSTADO POR CLASIFICACIÓN DE RIESGO (WIERSAMA 2005).	98
FIGURA 3.2. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA Y FRECUENCIA COMPORTAMENTAL EN LA FINCA CIEN AÑOS DE SOLEDAD.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.3. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA Y FRECUENCIA COMPORTAMENTAL EN LA HACIENDA LUCERNA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.4. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA Y FRECUENCIA COMPORTAMENTAL EN LA FINCA SINÁÍ	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 3.5. ETOGRAMA CIEN AÑOS DE SOLEDAD.....	107
FIGURA 3.6. ETOGRAMA HACIENDA LUCERNA.....	108
FIGURA 3.7. ETOGRAMA FINCA SINÁÍ	109

2.1.7 Lista de Tablas

TABLA 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LAS FINCAS EVALUADAS.	55
TABLA 2.2. OFERTA DE FORRAJE Y CONSUMO DE MATERIA SECA Y NUTRIENTES EN LOS CINCO MODELOS PRODUCTIVOS	63
TABLA 2.3. CONSUMO DE MATERIA SECA (CMS; KG/100 KG PV /DÍA) Y COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL CMS UTILIZANDO TÉCNICA DE AFOROS Y CNCPS (FOX ET AL 2003)...	73
TABLA 3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.....	88
TABLA 3.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LAS FUENTES OFERTADAS DURANTE EL ESTUDIO.	92
TABLA 3.3. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS: COMPOSICIÓN BOTÁNICA, OFERTA FORRAJERA, CONSUMO DE FORRAJE Y PRODUCCIÓN EN LA FINCA CIENTO AÑOS DE SOLEDAD.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.4. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS: COMPOSICIÓN BOTÁNICA, OFERTA FORRAJERA, CONSUMO DE FORRAJE Y PRODUCCIÓN EN LA HACIENDA LUCERNA..	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.5. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS: COMPOSICIÓN BOTÁNICA, OFERTA FORRAJERA, CONSUMO DE FORRAJE Y PRODUCCIÓN EN LA FINCA SINÁI.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.6. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL Y EN HORAS DEL TIEMPO TOTAL DIARIO DEDICADO A UNA ACTIVIDAD.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

2.1.8 Introducción

Los Sistemas Silvopastoriles (SSP) son un uso de la tierra caracterizado por amplificar la conversión de energía solar en biomasa a través de una vegetación estratificada, permitiendo la rehabilitación de suelos degradados, el reciclaje de nutrientes, la oferta de hábitat para organismos controladores biológicos, y la conservación y uso de la biodiversidad (Chará et al., 2018). Los SSP combinan el cultivo agroecológico de arbustos forrajeros en alta densidad para el ramoneo directo del ganado, busca desarrollar cambios estructurales en la conformación de las praderas y potencializan el proceso natural de la sucesión ecológica (Calle et al., 2012), al incluir estratos vegetales superiores en los monocultivos de pasturas e influenciando la palatabilidad y oferta forrajera para los bovinos (Barahona et al., 2005). Uno de los principales objetivos de la producción ganadera sostenible, es optimizar el manejo del pastoreo con especial énfasis en períodos de calor excesivo y escasez de agua (Almeida et al., 2019). Pues un manejo deficiente, como el observado en sistemas ganaderos extensivo a conducido a la degradación de las zonas de pastoreo, reduciendo la productividad y el valor nutricional de los forrajes, así como el rendimiento animal (Alvarenga et al., 2020). Por lo tanto, comprender el comportamiento del ganado en relación con las diferentes condiciones ambientales a las que son expuestas en las explotaciones ganaderas colombianas son fundamentales para la correcta implementación de planes de alimentación, sanidad y manejo. En este contexto, se requiere de reportes y mecanismos de monitoreo en la producción forrajera, consumo y comportamiento ingestivo de forma clara y precisa en la industria bovina, que mejore los análisis de los estudios llevados a cabo hasta el momento y que se ven restringidos a un nivel individual “pequeñas parcelas”, sin estandarización en el cálculo de los indicadores colectados para oferta y consumo en pastoreo (kg MS ó FV/100 kg PV/día) y deficientes en mecanismos de contraste a nivel regional, que identifiquen las debilidades, fortalezas y deficiencias de la producción de biomasa en cualquier ganadería colombiana y más en propuestas como los SSP que se presentan como

alternativas beneficiosas para aumentar la productividad ganadera y promover el aumento de los ingresos (Oliveira et al., 2014; Morales et al., 2017; Huertas et al., 2018). En regiones tropicales y subtropicales, varios estudios han demostrado que diferentes densidades de árboles en las praderas son capaces de modificar las actividades de ingestión de alimento, consumo de agua y tiempo de descanso, permitiendo a los animales determinar los momentos más favorables para realizar estas actividades (Vizzotto et al., 2015; Lopes et al., 2016; Giro et al., 2019; de Souza et al., 2019) y proporcionando un efecto refrescante en el ambiente que mejora el confort térmico a los animales (Barreto et al., 2020; Karvatte Junior et al., 2020). Sin embargo, también es conocido que la intercepción de luz solar directa por la copa de los árboles adjudica condiciones adversas generales, para la producción de forraje bajo dosel (Oliveira et al., 2014) y observándose un menor rendimiento de materia seca en sistemas con altas densidades de árboles (Gamarra et al., 2017; Almeida et al., 2019). El presente trabajo tuvo como objetivo estimar la oferta forrajera, el consumo y comportamiento ingestivo de las fincas modelos del Proyecto De Ganadería Colombiana Sostenible, buscando determinar la oferta forrajera y correlacionarla con el consumo en los diferentes núcleos regionales. Para ellos se tendrá en cuenta los tipos de sistemas de siembra propuestos en el proyecto: Sistema monocultivo (SC), Árboles dispersos en praderas (AD), Setos forrajeros (SF) y Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) (Uribe F. et al., 2011). Se propone una metodología de fácil aplicación y validez estadística, que estandarice, tabule y explique indicadores de relevancia a una mínima expresión matemática y de fácil comprensión para los productores. Los indicadores estandarizados se esperan sean usados como línea base para datos históricos de los predios que se acogen al proyecto y de mecanismos para el monitoreo a nivel regional.

2.1.9 Bibliografía

Almeida, R.G. de, Barbosa, R.A., Zimmer, A.H., Kichel, A.N., et al., 2019. Forage in integrated cattle production systems. In: Bungenstab, D.J. (Ed.), ICLF: Innovation With Crop, Livestock and Forest Integration. Embrapa, Brasília, DF, p. 835.

Alvarenga, C.A.F., Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Sbrissia, A.F., Barbosa, R.A., de Araújo, A.R., 2020. Animal performance and sward characteristics of Mombaça guinea grass pastures subjected to two grazing frequencies. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 8, 1–10. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)1-10](https://doi.org/10.17138/tgft(8)1-10)

Barahona, R., Sánchez, S., 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica.* 6: 69 – 82.

Barreto, C.D., Alves, F.V., Ramos, C.E.C de O., Leite, M.C. de P., Leite, L.C., Karvatte Junior, N., 2020. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. *Int. J. Biometeorol.* 64, 881–888.

Calle, Z., Murgueitio, E., Chará, J. 2012 Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. In: Unasylva, The Power of Forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Vol 63/239:31-40, Rome.

Chara J, Reyes E, Peri P, Otte J, Arce E, Schneider F (2019). *Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals. Evidence from Latin America.* FAO, CIPAV. Editorial CIPAV. Cali. Columbia.

Gamarra, E.L., Morais, M.G., Almeida, R.G., Paludetto, N.A., Pereira, M., Oliveira, C.C., 2017. Beef cattle production in established integrated systems. *Semin. Cienc. Agrar.* 38 (5), 3241–3252.

Giro, A., Pezzopane, J.R.M., Barioni Jr., W., et al., 2019. Behaviour and body Surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Sci. Total Environ.* 684, 587–596.

Huertas, S. M., Bobadilla, P. E., Bueno, H. J., Cesar, D., Piaggio, J. M., Gil, A. D. 2018. Environmental Conditions in a Temperate Weather Silvopastoral System vs. Natural Grassland and their Impact on Animal Beef Production. *Biomed. J. Sci. Tech. Res.* 3:1–2.

Karvatte Junior, N., Myage, E.S., de Oliveira, C.C., Barreto, C.D., Mastelaro, A.P., Bungenstab, D.J., Alves, F.V., 2020. Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Sci. Total Environ.* 731

Lopes, L.B., Eckstein, C., Pina, D.S., Carnevalli, R.A., 2016. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Trop. Anim. Health Prod.* 48, 755–761.

Morales, A. M. T., Ceballos, M. C., Londoño, G. C., Cardona, C. A. C., Ramírez, J. F. N., da Costa, M. J. R. P. 2017. Welfare of cattle kept in intensive silvopastoral systems: A case report. *Rev. Bras. Zootec.* 46:478–488.

Souza, C.F., Tinoco, I.F.F., Baêta, F.C., et al., 2002. Evaluation of the alternative materials to make a globe thermometer. *Ciênc. agrotec.* 26 (1), 157–164. ISSN: 1413-7054.

Oliveira, C.C., Villela, S.D., de Almeida, R.G., Alves, F.V., Behling-Neto, A., Martins, P.G. M. de A., 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Trop. Anim. Health Prod.* 46 (1), 167–172. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0469-1>.

Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Zapata A., Solarte L., et al. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 78p.

Vizzotto, E.F., Fischer, V., ThalerNeto, A., Abreu, A.S., Stumpf, M.T., Werncke, D., Schmidt, F.A., McManus, C.M., 2015. Access to shade changes behavioural and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal* 9, 1559–1566. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000877>.

2.1.10 Objetivos

2.1.11 Objetivo general

Determinar la producción forrajera, el consumo y el comportamiento ingestivo bovino en cinco núcleos regionales ganaderos colombianos, con diferentes manejos culturales y arreglos silvopastoriles; buscando generar un reporte para Colombia del desempeño productivo de estos sistemas como estrategia alterna de producción ganadera a los sistemas convencionales.

2.1.12 Objetivos específicos

- Analizar la oferta forrajera, oferta proteica, oferta energética, consumo de forraje, consumo proteico y consumo energético en función de las variables zona ganadera y socios silvícolas.
- Explicar el grado de asociación entre la oferta forrajera y el consumo bovino y sus implicaciones zootécnicas en la productividad animal, estimando la razón de verosimilitud entre los valores de consumo encontrados por el aforo y un modelo de predicción de consumo por valoración nutricional.
- Evaluar nutricionalmente las dietas encontradas para rumiantes, en función de las variables zona ganadera y arreglos silvopastoriles con el modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)
- Generar una descripción comportamental de los bovinos evaluados en los diferentes Predios del proyecto “Ganadería Colombiana Sostenible”, que ayude a clarificar los ritmos circadianos de los animales que pastorean un sistema silvopastoril.

2.1.13 Capítulo 1: La Pradera, la condición climática, su composición botánica y el efecto en el consumo y comportamiento bovino: una revisión

2.1.14 La Pradera y la oferta forrajera.

2.1.15 Especificaciones Morfológicas, Bioquímicas y su efecto en la Producción de Biomasa.

En general el crecimiento de los pastos está determinado por factores intrínsecos y extrínsecos a la planta (Andrade et al., 2015). Los primeros factores hacen alusión a las rutas bioquímicas implementadas en la relación existente de la fotosíntesis y la respiración (Lauzán., 1991; Índice de área foliar, metabolismo (C3/C4), reserva de glucósidos, entre otras), y los segundos a factores hacen referencia a los aspectos ambientales (nutrientes del suelo, humedad ambiental, temperatura, entre otras). En las regiones tropicales la variabilidad espacial es tal, que el desempeño agronómico de la una misma especie es diverso (Herrera., 1985) y de difícil estimación, pero se asume un desarrollo morfológico similar entre géneros con variación en la tasa de crecimiento.

Las plantas C3 ocupan con normalidad zonas de vida fría, húmeda y de baja intensidad lumínica, donde el primer producto del ciclo fotosintético es ácido fosfoglicérico (tri-carbonado) y ruta metabólica a la cual las dicotiledóneas se restringen, entre ellas, las de interés para el estudio (*Tithonia diversifolia* y *Leucaena leucocephala*). Los pastos de regiones tropicales calientes, áridas y soleadas, tienen como primer producto de la fotosíntesis ácido malónico (tetra-carbonado (Bassham et al., 1950) y su mesófilo se designa como "estructura kranz o corona", donde los cloroplastos del parénquima tienen una disposición vesicular formada por invaginaciones de la membrana interna, menos desarrollado que en algunas plantas C3. De ahí que su tasa de conversión del CO₂ atmosférico en producción de biomasa sea más eficiente que las plantas C3, de mayor plasticidad en diversos ecosistemas, pero más susceptibles al efecto de la sombra por tener una mayor tasa metabólica (Andrade et al., 2002; Souza de Abreu et al., 2000).

Morfológicamente se ha denominado macollo a la unidad estructural compuesta a su vez por un conglomerado de fitómeros, unidad morfofisiológica menor que agrupa la hoja, el nudo, el entrenudo, el meristema axilar y el meristema intercalar (Briske, 1991). Determinadas variaciones individuales en la longitud, número y arreglo espacial del fitómero determinan la organización arquitectónica de los tallos y define si el crecimiento es compacto o intravaginal (*Megathyrsus maximus*) ó disperso de macollos extravaginales (*Cenchrus clandestinus*) (Briske, 1991). Lemaire and Chapman (1996) describen la morfogénesis a nivel de individuo en función de la vida media foliar, la aparición de hojas y la tasa de elongación. Todas características de expresión génica a los estímulos de variables ambientales. Sin embargo, estos mismos autores reconocen que un análisis a escala superior o de pradera, exige un entendimiento mayor de relaciones interespecífica y del efecto por consumo (Chapman and Lemaire, 1993).

La vegetación arbustiva constituye el estrato secundario de un sistema silvopastoril (SSP), genera una estructura física en el paisaje de las praderas, que

no solo resalta por su estética visual, sino que modifica en beneficio de la ganadería las condiciones microclimáticas del suelo (Isaac et al. 2003), incrementando el tamaño de los agregados, la porosidad y en zonas áridas facilitan la presencia de los pastos en época seca, gracias al levantamiento hidráulico de las raíces pivotantes que percolan a profundidades de aguas subterráneas (Lin et al., 2009; Wang et al., 2010); reducen el potencial erosivo del agua y el viento al elevar a un nivel mayor el índice de área foliar (Giraldo, 2022), que consecuentemente eleva la tasa fotosintética de las praderas y oferta volúmenes de forrajes superiores y de mayor calidad a los encontrados en monocultivos de pasturas (Rosales & Pinzón, 2005). La integración de árboles asociados al pastoreo representan el estrato terciario de un SSP, contribuyen a reducir la deforestación y son reconocidos por su potencial para mitigar las emisiones de CO₂ del suelo. El componente arbóreo juega un papel importante en la absorción de CO₂ atmosférico a través de la fotosíntesis y el almacenamiento de C en tejidos vegetales vivos, desechos orgánicos y suelo (Villanueva et al. 2015; Morales et al. 2021). La inclusión de árboles en los pastizales puede recuperar las reservas de C del suelo, pero la tendencia de recuperación no es lineal porque la tasa de crecimiento llega a un punto culminante en un momento determinado y se estabiliza. Al respecto, Hernández et al. (2021) indica que después de 23 años de forestación, los árboles contribuyeron con 14 Mg C ha⁻¹ a la acumulación de C en el suelo en la profundidad de 0 a 15 cm en una región templada. Sin embargo, tal tendencia podría ser diferente en climas tropicales (Valenzuela Que et al. 2022). Además, pueden estabilizar los flujos de CO₂ a través de la sombra generada por los árboles y pueden aumentar la aireación y la porosidad del suelo por medio de sus raíces porque penetran en horizontes más profundos del suelo (Wang et al. 2014). De igual manera, estos sistemas ganaderos con árboles podrían incrementar la estabilización del microambiente del suelo a través de la acumulación de hojarasca en el suelo (Murgueitio et al.

2011 ; Aryal et al. 2021) y especies arbóreas como *Leucaena leucocephala*, además de fijar nitrógeno, proveen hábitat a la fauna silvestre (Giraldo et al., 2019), aumentan el reciclaje de nutrientes y aportan altos contenidos de proteína cruda y carbohidratos solubles con un bajo contenido de fibra (Cuartas et al., 2015; Gaviria et al., 2015) cuando se manejan como arbusto y reducen la dependencia de la ganadería a insumos derivados de combustibles (Murgueitio & Ibrahim, 2008).

2.1.16 Estacionalidad en la producción Forrajera

En Colombia, la condición climática de las praderas se restringe a la combinación de dos periodos estacionales marcados (verano e invierno; Peñuela et al., 2011; Pérez et al., 2001) y a la presencia de la cordillera de los andes; determinando humedad y temperatura ambiental en función de la ubicación altitudinal del sistema ganadero (Holdridge., 1967); en la zonas bajas del país, generalmente en la época de verano se registran condiciones climáticas desfavorables para la cría del ganado, en donde temperaturas por encima del óptimo, incrementa la demanda respiratoria (Pollock, 1990) y genera un aumento de la tasa de elongación foliar (aumento estructural de lignina del contenido de la pared celular) como mecanismo para reducir los efectos de estrés por altas temperaturas. Así, este aumento en la fibra tiene implicaciones importantes en el pastoreo del ganado, reduciendo el consumo voluntario y la digestibilidad de la dieta cosechada (Mertens, 1985). En zonas altas, la humedad relativa es alta, por lo cual, en estos sistemas las limitaciones hídricas no son el mayor impedimento del crecimiento herbáceo; por el contrario de lo sucedido en zonas bajas, en verano se registran las mayores productividades de las pasturas; puesto que al aumentar la temperatura y la luminosidad temporal del día, se genera un aumento directo de la tasa fotosintética y el crecimiento (McWilliam, 1978), hay un mejor control estomático y de

conductividad hidráulica (Jones, 1985) y se reduce la acumulación de almidón en los cloroplastos por efecto del frío, aumentado su tasa metabólica (Humphreys, 1981).

En invierno, la producción de forraje se mantiene elevada en zonas bajas; los pastos anuales expresan mayor producción forrajera durante esta época, gracias a que la temperatura y radiación solar son parcialmente uniformes durante todo el año y sus limitaciones hídricas son suplidas. En zonas altas, el invierno trae consigo fluctuaciones bruscas de la pluviosidad, restringiendo condiciones ambientales como la intensidad lumínica y la fertilidad de los suelos (Matta, 2005; Roncallo et al., 2012); las fluctuaciones bruscas de la nubosidad temporal significan una restricción al rebrote del macollo que es termo-dependiente (Briske, 1991) y por efecto de la pluviosidad y lavado de arcillas hay menor disponibilidad de elementos en la solución del suelo.

2.1.17 Estados fenológicos, composición química de los forrajes y su influencia en la selectividad.

Los factores que determinan la selectividad no están claramente establecidos, pero es aceptado que el tamizaje forrajero es una respuesta animal a las características químicas y físicas de las hojas y tallos de las distintas especies herbáceas presentes en la pradera (Hodgson & Brookes, 1999). Generalmente una pradera se encuentra estratificada en hojas y tallos de diversas edades; factor determinado por el periodo de descanso que se le garantiza a la misma y el periodo de ocupación a la cual es sometida durante las rotaciones. La proporción de hojas presentes al momento del pastoreo no necesariamente representa la mayor

fracción de la planta, que constituye la totalidad de la materia seca, pero es determinante en los hábitos de selección de los bovinos en pastoreo (Chacon & Stobbs, 1976; Minson, 1990). En cuanto a los tallos, a pesar de contener una buena parte de la materia seca producida, se ha observado que los animales prefieren la hojas en lugar de dicha fracción (Chacon & Stobbs, 1976; Herrero et al., 2000; Hodgson, 1985); generalmente su consumo se produce cuando hay una baja disponibilidad de hojas en la pradera, presentando una mayor resistencia a la rumia y observándose una disminución en la tasa de pasaje del forraje por el tracto gastrointestinal; indirectamente este aumento del tiempo en la rumia tiene como finalidad aumentar el área superficial del bolo alimenticio y permitir a los microorganismos del rumen extraer más eficientemente los componentes de la fibra (van Soest, 2019). Sin embargo, la selectividad no solo responde a los atributos de la especie, sino que también está influenciada por el manejo del pastoreo (Velásquez et al., 2009). Así, las gramíneas tienen una alta preferencia al inicio del pastoreo, pero cuando estas disminuyen, el consumo de arbustos y otras especies herbáceas tiende a aumentar (Chávez et al., 2000). Lo mismo sucede en espacios grandes (potreros con baja carga animal), ya que los animales no tienen mucha competencia, tienen más oportunidad de elegir sitios de acuerdo a sus necesidades y preferencias (Velásquez, 2005). La preferencia de un animal por una determinada comunidad de especies depende de diferentes factores: la diversidad del pasto (Espinoza y Vergel, 1998; Ospina, 2005), la succulencia del forraje y la cantidad de tiempo que los animales pasan en un área determinada del pasto para obtener la cantidad máxima de nutrientes provienen del sitio (Stuth, 1991) y la provisión de condiciones ambientales confortables o una combinación de estas y la presencia de especies apetecibles (Velásquez, 2005). El ganado puede mantener diferentes patrones selectivos cuando la variación de plantas está presente en el pasto (Morris et al., 1999). Entender este comportamiento, la composición vegetal de la pastura y lo que realmente eligen los animales cuando pastan es importante para poder elegir alternativas de manejo para el animal y la

pastura, como una mejor asignación de las cargas, la programación de la rotación de pasturas y la duración del pastoreo (Chávez et al., 2000).

2.1.18 Arquitectura forrajera de la pradera, los sistemas silvopastoriles y su efecto en el consumo y el bienestar animal.

Uno de los principales objetivos de la producción ganadera sostenible es optimizar los sistemas de producción animal y la gestión del pastoreo sin pasar por adversidades climáticas, como calor excesivo y períodos de poca lluvia (Almeida et al., 2019). además, la gestión inadecuada de los extensos sistemas ganaderos conduce a la degradación de las áreas de pastos, reduciendo productividad y valor nutritivo de los forrajes, así como el rendimiento de animales (Alvarenga et al., 2020). Por lo tanto, comprender los comportamientos del ganado en relación con las diferentes condiciones ambientales y el manejo del forraje es de fundamental importancia en la planificación de estrategias de manejo para los sistemas de producción. En las regiones tropicales y subtropicales, varios estudios han demostrado que diferentes densidades de árboles en el pasto son capaces de modificar las actividades de alimentación, el consumo de agua y el tiempo de inactividad, lo que permite a los animales determinar los momentos más favorables para la realización de estas actividades (de Souza et al., 2019; Giro et al., 2019; Lopes et al., 2016; Vizzotto et al., 2015).

La exposición al clima de verano afecta tanto el comportamiento como la fisiología del ganado y puede afectar el bienestar animal. El aumento del estrés calórico,

causado por una combinación de temperatura del aire, humedad relativa, movimiento del aire y radiación solar, aumenta la temperatura corporal y la tasa de respiración y puede reducir el consumo de alimento y la producción de leche y carne (Hahn, 1999; Ominski et al., 2002; West, 2003). Una carga de calor excesiva puede afectar negativamente el desempeño reproductivo en el ganado lechero al reducir la fertilidad (de Rensis & Scaramuzzi, 2003; Roman-Ponce et al., 1977) y, en casos extremos, puede resultar en la muerte (Armstrong, 1994).

Los bovinos usan fácilmente la sombra cuando se les da acceso a ella, y la provisión de sombra puede aliviar los efectos negativos del aumento de la carga de calor (Roman et al., 1977; Valtorta et al., 1997) El ganado lechero está muy motivado para utilizar la sombra en climas cálidos (Schütz et al., 2008) y pasarán más tiempo a la sombra a medida que aumente la temperatura y la radiación solar (Kendall et al., 2006), lo que indica que la sombra se vuelve más importante en condiciones ambientales más cálidas. El ganado sin sombra adopta otras estrategias de comportamiento, como aumentar el tiempo alrededor del abrevadero y más tiempo de pie en respuesta a la carga de calor (Ansell, 1981; Mader et al., 1997; T. M. Widowski, 2013).

Numerosos cambios fisiológicos ocurren en el sistema digestivo, el equilibrio ácido-base del organismo y las hormonas sanguíneas durante el clima cálido cambian como respuesta a la reducción de la ingesta de nutrientes, pero muchos cambios ocurren como resultado de la tensión en la vaca. Las neuronas que son sensibles a la temperatura están ubicadas en todo el cuerpo del animal y envían información al hipotálamo, que invoca numerosos cambios fisiológicos, anatómicos o de comportamiento en un intento por mantener el equilibrio térmico (Verstegen & Hacker, 1983); durante el estrés por calor, las vacas exhiben una disminución de la actividad, buscan sombra y viento, aumentan la frecuencia respiratoria y aumentan tanto el flujo sanguíneo periférico como la sudoración. Estas respuestas

tienen un efecto negativo tanto en la producción como en el estado fisiológico de la vaca.

Uno de los primeros pasos que se deben tomar para moderar los efectos estresantes de un clima cálido es proteger a la vaca de la radiación solar directa e indirecta. Se estimó que la carga total de calor podría reducirse del 30 al 50% con una sombra bien diseñada (Bond & Kelly, 1955) y la sombra es uno de los métodos más fáciles de implementar y económicos para minimizar el calor de la radiación solar. Las vacas en un ambiente sombreado versus sin sombra tuvieron temperaturas rectales más bajas (38.9 y 39.4°C) y frecuencia respiratoria reducida (54 y 82 respiraciones/min), y produjeron un 10% más de leche cuando estaban sombreadas (Roman et al., 1977) el ganado sin sombra tuvo contracciones ruminales reducidas, temperatura rectal más alta y producción de leche reducida en comparación con las vacas bajo sombra (Collier et al., 1981).

En los sistemas silvopastoriles, la interceptación de la radiación solar directa a través de las copas de los árboles modifica los parámetros del microclima en el sotobosque, brindando un efecto refrescante en el medio ambiente y mejorando sensación de confort térmico a los animales (Barreto et al., 2020; Karvatte et al., 2020). A pesar de sus ventajas generales, la producción de forraje en estos sistemas se ven afectados por la sombra de los árboles (de Oliveira et al., 2014) Con una formación de líneas de árboles idónea, la radiación disponible para el pasto se vuelve apta para favorecer la fotosíntesis y la productividad forrajera del predio.

2.1.19 Métodos para la determinación de la oferta forrajera.

La cantidad de forraje de una pradera se refiere a la medida instantánea del peso total de forraje por unidad de superficie (Hodgson, 1979) implicando que la medición requiere de cortar y pesar un volumen conocido de las especies evaluadas, siendo una metodología costosa, en términos de tiempo y mano de obra. No obstante, la importancia de este indicador para tomar decisiones a nivel de predio radica en su capacidad para explicar los cambios productivos de los animales (Bargo et al., 2003). La cosecha total del forraje de un potrero provee un indicador real del rendimiento de biomasa en un sistema ganadero, este método destructivo requiere de una elevada inversión en tiempo y trabajo que no necesariamente resulta en un estimativo de alta precisión para todo el sistema (Frame, 1981), convirtiendo está en una ineficaz práctica en estudios de pastoreo y dando pie al desarrollo de metodologías indirectas para estimar biomasa. Estas se caracterizan por ser técnicas rápidas, no destructivas y de alta precisión; agrupadas según métodos de altura del dosel vegetal, volumen del dosel y la estimación visual de pesos ponderados. El método de altura o regla de pastoreo se basa en la estimación de la biomasa acudiendo a la correlación positiva con la altura del dosel (Heady, 1957), sin embargo, la estimación a partir de la altura presenta dificultades en sus predicciones en forrajes de altura superior a los 20 cm (Hutchinson et al., 1972) exigiendo generar una ecuación de calibración para cada forraje. Adicionalmente la subjetividad asociada para formar una medida de la altura media indicó la necesidad de agregar varios tipos de discos o placas a la regla e incorporar una dimensión de área a la medida (Bransby et al., 1977); es así como surgen las evaluaciones del volumen de dosel o disco de placa, no obstante, aún es dependiente de calibrar la regla usada con las alturas específicas de los forrajes, limitando su uso a forrajes estandarizados. La estimación visual del

método del rendimiento comparativo (Haydock & Shaw, 1975), describe un método comparativo de rendimientos en pasturas siguiendo un conjunto de cuadrantes forrajeros de referencia y usando el principio de doble muestreo propuesto por (Wilm et al., 1944); en este método se establecen un conjunto de parcelas de referencia que representan los diferentes rangos de variación en la biomasa del pasto. A estas parcelas se les cosecha, seca y registra la biomasa, lo que se utiliza para asignar una puntuación a cada parcela de calibración. la puntuación de menor numeración representa la menor biomasa, mientras que la puntuación más alta representa la mayor biomasa, los valores intermedios se asignan en función de su comparación con los dos extremos. Luego serán seleccionadas 3 parcelas de calibración o visuales por cada parcela de referencia, que también serán cosechadas, secadas, pesadas y registradas como biomasa de las visuales; con la ayuda de una ecuación de regresión se relaciona la biomasa de las parcelas de calibración y la biomasa de las parcelas de referencia, convirtiendo el puntaje asignado visualmente y obteniendo un estimativo de la biomasa de las parcelas en estudio. Harmoney et al. (1997) encontró que esta técnica resultó ser más precisa en sus estimativos al contraste con el estimativo de altura de la copa y el disco de placa. Instrumentos electrónicos más complejos como el medidor de capacitancia reportado por Fletcher & Robinson., (1956) y la caña sonora (Hutchings et al., 1990) se han desarrollado para mejorar la tasa de muestreo y la precisión. El sistema de lectura se basa en las diferencias en las constantes dieléctricas entre aire y forraje, midiendo la proporción de aire-hierba en una superficie fijada (Sanderson et al., 2001). Se han construido una serie de medidores de capacitancia bajo este principio e incorporando varias modificaciones. Sin embargo, las lecturas son afectadas por el agua en la vegetación y el suelo (Murphy et al., 1995a); por lo cual no son un método preciso durante épocas de lluvia. Los instrumentos comerciales a menudo no presentan una amplia difusión en el mercado, limitando su acceso a los productores y viene

con ecuaciones estándar que deben ser ajustadas para obtener una precisión adecuada del instrumento.

2.1.20 El Bovino, el pastoreo y sus ritmos circadianos.

2.1.21 Consumo en pastoreo: Tiempo de pastoreo, tamaño del bocado y tasa de consumo.

La capacidad intrínseca del animal para cosechar los forrajes y utilizarlo eficientemente, se ha descrito en términos del tamaño del bocado, el tiempo de pastoreo y la tasa de consumo (Allden & McDWhittaker., 1970; Hodgson., 1981). El tamaño del bocado es el componente más importante del pastoreo y regula el tiempo de pastoreo y la tasa de bocados (Hodgson., 1986).

En un primer momento, cuando se da la apertura de la franja y se ha garantizado el tiempo óptimo de descanso de los forrajes, los animales buscan y consumen el estrato vegetal más tierno de las secciones más frondosas de la pradera. En gramíneas, este estrato corresponde a las hojas más próximas al meristema apical del tallo, de alta calidad y en donde el tamaño del bocado es mayor (Carvalho et al., 2000). En praderas con presencia de *Leucaena leucocephala*, de mayor calidad composicional al de las pasturas, el consumo de las hojas de estos forrajes, es priorizado por encima de cualquier sección del potrero (Mahecha et al., 2000; Molina et al., 2015). Al terminar el primer estrato, los animales pasan entonces a consumir el segundo estrato, de menor calidad (Carvalho et al., 2016), de menor altura y en general más denso. En el momento, donde todo el primer

estrato ya fue consumido y el segundo se vuelve también raro de encontrar; la tasa de consumo y el patrón de pastoreo deja de ser pausado a través del terreno, se genera una disminución del tamaño del bocado y un aumento en la frecuencia de búsqueda, dejándose de observar el estereotipado bocado que se caracteriza por una orientación de los labios hacia el suelo buscando circunda porciones de forraje con la lengua que son cortadas por el frote de los incisivos inferiores y la almohadillas maxilares con un balance de la cabeza (Holmes., 1980) y aumentando de por ves la distancia recorrida entre bocados para compensar la menor oferta de forraje (Hodgson., 1986).

Los bovinos tienen un patrón de pastoreo diurno muy marcado en su comportamiento, que incluye una comida principal al amanecer (Fujihara., 1980) y una patrón de consumo igualmente intenso en las horas antes de la puesta del sol (Hancock, 1954) y se ve afectado por el clima, estado de las piezas dentales, la edad del ganado y el tipo de alimentación; se estima que el tiempo de pastoreo diario total es relativamente estable para cubrir los requerimientos nutricionales diarios. En general, el ganado tiene un patrón de alimentación que varía de 6 a 13 h y un límite de descanso alrededor de las 12 h (Fraser & Broom., 1997). Sin embargo, estos pueden cambiar cuando hay menos oferta de sombra o cuando hay una oferta forrajera reducida, aumentando la búsqueda de zonas térmicamente más confortables o la selectividad de los animales con respecto a la calidad del pasto (Euclides et al., 2014; Nadin et al., 2019; Schütz et al., 2010)

Se reconoce que los bovinos comen mayor cantidad de Materia seca poco nutritiva, cuando se alimenta a base de heno en condición de estabulación que cuando es alimentando en pastoreo, presumiblemente debido a la exclusión de la elección selectiva (Hafez & Bouissou., 1975) y cierta evidencia (Kidwell et al., 1954; Metz., 1975) indica que los animales presentaron un mayor consumo cuando fueron alimentados en grupo que de manera individual, posiblemente

debido a la mayor ansiedad exhibida por las animales del experimento que fueron temporalmente aislados. En una investigación realizada por (Arave et al., 1992), se comparó un grupo de animales criados en grupo vs animales criados aisladamente, encontrándose que los primeros dedicaron más tiempo al consumo durante el día que los últimos, en consecuencia, cuando los bovinos comen en grupo, el consumo de la ración es mayor que cuando son alimentadas separadamente. Es más, se ha observado que las vacas que se mantienen en grupos se muestran menos tímidas, se sienten más cómodas, y suelen ser más saludables y productivas. Por lo tanto, la práctica común de alimentar y ordeñar a las vacas en grupos tiene un fundamento etológico (Albright, 1993).

Al estar en una convivencia con sus semejantes, los animales se rigen por estructura social y siguen a un líder, estructurándose así una escala social o jerarquía de dominancia que usualmente es compleja y difícil de describir como una función lineal simple (Arave & Albright., 1976; Bielharz., 1983), ya que esta puede no describir adecuadamente lo que estimula a las vacas a competir por el alimento (Friend et al., 1977; Friend & Polan., 1974; Syme., 1974). Sin embargo, autores como (Albright, 1993) han sugerido que la dominancia se ha asociado en algunos estudios, directamente con el peso corporal, la edad o la raza de los animales, existiendo una correlación directa entre el peso corporal, la edad y la tasa de ingesta. Una alta competencia por espacio y forraje desencadenan una reducción en el consumo de forraje y con ello el aumento en el riesgo de presentar problemas metabólicos (DeVries et al., 2005). Estas alteraciones deprimen la respuesta inmune, lo que puede originar otras patologías como mastitis, metritis o endometritis, que disminuyen la producción de leche y el rendimiento reproductivo posterior (Urton et al., 2005).

Uno de los mejores indicadores de la salud y el bienestar de los bovinos es el comportamiento ingestivo (Bareille et al., 2003), demostrando que este debe entenderse como una medida a utilizar para la toma de decisiones en el manejo

de pastizales con un enfoque en la intensificación en el uso de la tierra y así reducir los desperdicios forrajeros. Es de vital importancia medir, gestionar y asignar con precisión el alimento disponible a los animales en cada hatillo en particular, para optimizar la eficiencia y la rentabilidad de las explotaciones. Para el ganado, el principal beneficio de los árboles son los cambios de temperatura, la incidencia de la radiación y su relación directa con su confort térmico (Baliscei., 2012) y, por tanto, de su salud (Porfírio da Silva 2009). Wheelock et al. (2010) observaron una reducción del 30 % en el consumo de materia seca y una reducción del 27,6 % en la producción de leche en animales expuestos a estrés por calor. Ferreira et al. (2014) evaluaron las respuestas conductuales de vacas lecheras mestizas en el oeste de Brasil a diferentes condiciones de sombra y observaron que estos animales pasaban hasta el 57 % de su tiempo, pastando en áreas sombreadas.

2.1.22 Rumia

Las actividades de alimentación del ganado se concentran en períodos discretos durante el día, aleatoriamente distribuidos a lo largo del período circadiano (Fischer

et al., 2002; Rodrigues Silva et al., 2008) y uno tan importante como el consumo es el comportamiento digestivo de la rumia que actúa como una actividad "anti-aburrimiento" y en los bovinos adultos conlleva estados de relajación (Albright, 1982). Durante la rumia, ya sea acostada o de pie, las vacas están tranquilas y relajadas con la cabeza gacha y los párpados relajados. Los Bovinos pueden rumiar mientras están de pie, pero por lo general se acuestan con el pecho contra el suelo (Albright, 1987; Albright & Stricklin, 1989). Se ha sugerido (Albright, 1987; Albright & Stricklin, 1989; Grant et al., 1990) que al estar declinados rumiando, los animales prefieren apoyarse en el lado izquierdo (Albright, 1982), buscando optimizar el posicionamiento del rumen dentro del cuerpo para una rumia más eficiente.

Los rumiantes, pasan de 5 a 9 horas rumiando (Albright, 1982) y contrariamente a los períodos de ingestión, más o menos dispersos y de duración muy variable, los períodos de rumia están relativamente bien individualizados y su duración, así como el intervalo de tiempo que separa dos periodos consecutivos, es de alrededor de 20 minutos en una frecuencia de 10 a 17 periodos de rumia por día (Albright, 1982) y en el que la fibra, desempeña un papel físico al estimular la masticación, el peristaltismo del tracto gastrointestinal y la función digestiva adecuada (Mertens., 1997). La rumia es esencial para reducir rápidamente el tamaño de las partículas de los alimentos, aumentar la superficie de fijación de los microorganismos ruminales, estimular la producción de saliva y controlar el pH ruminal (Fustini et al., 2017). El peristaltismo permite la mezcla ruminal, que es uno de los elementos clave de la digestión eficiente de los alimentos. Esto crea un ambiente más homogéneo y controla la retención o escape de partículas del rumen. (Van Soest, 1994). La actividad ruminal está estrechamente relacionada con la rumia debido a la activación de los receptores de presión y estiramiento en la pared del reticulorumen (Van Soest, 1994) y al tamaño de las partículas de los diferentes alimentos (Fustini et al., 2011). Investigaciones han demostrado que una disminución en el tiempo de rumia puede usarse como un predictor confiable de

eventos de salud, fertilidad y estrés en los bovinos (Herskin et al., 2004), por lo cual debería priorizarse a futuro como una medida de monitoreo automática para la detección y prevención de enfermedades emergentes.

2.1.23 Descanso y otros comportamientos

Durante los experimentos de digestión con ganado, se observó que los animales nunca parecían dormir y siempre usaban la misma posición acostada. En los últimos años, el comportamiento del ganado vacuno y ovino ha sido cuidadosamente estudiado por numerosos investigadores, particularmente en condiciones de pastoreo; el tema ha sido revisado por Hancock., (1953) y Tribe., (1950). A pesar de esta atención, la ausencia casi total de referencias al sueño es una característica llamativa de los informes. Brownlee., (1950) no pudo encontrar evidencia de que el ganado sano haya perdido el conocimiento de día o de noche. De manera similar, Hancock., (1954) encontró que era discutible si las vacas alguna vez dormían; incluso en los momentos de descanso total mantenían los ojos abiertos excepto por períodos muy breves, de unos minutos como máximo, en que generalmente descansaban la cabeza sobre los costados. Actualmente se sabe, que: a diferencia de los monogástricos, que duermen de lado, los bovinos, por el contrario, deben mantenerse en posición decúbito esternal (Albright.,1987). Este comportamiento se relaciona con los aspectos autoestimulantes de la rumia, que igualmente permite un descanso fisiológico y rejuvenecimiento similar al sueño profundo. A diferencia de los no rumiantes, las vacas duermen mucho menos, aproximadamente de 7 a 8 horas al día (Ruckelbusch et al.,1972). Los estudios sugieren que, si las vacas duermen, lo hacen en breves periodos de sueño REM, que duran de 2 a 8 minutos (Balch., 1955). El sueño cumple dos funciones: la recuperación fisiológica y psicológica, así como el aumento de los umbrales de respuesta para evitar perturbaciones en el descanso por estímulos ambientales

insignificantes (Merrick., 1971). El ganado privado de sueño compensa la pérdida de sueño REM mientras está de pie (Arave., 1981), llegando a la conclusión de que el ganado descansa sin perder la conciencia.

El acicalamiento social es probablemente uno de los comportamientos afiliativos más importantes en el ganado, se piensa que reduce las tensiones sociales al interior del grupo. Sobre esta base se espera un aumento en el acicalamiento mutuo luego de la reagrupación de animales. Este comportamiento es iniciado con mayor frecuencia por los individuos subordinados socialmente. En el ganado, el acicalamiento no se relaciona exclusivamente con relaciones de dominancia (Sato et al., 1993) y comúnmente también facilita la mantención de lazos sociales (von Keyserlingk et al., 2008).

2.1.24 Métodos y ecuaciones para la estimación del consumo en pastoreo

La variación en el consumo voluntario de forraje es indudablemente el principal determinante del estatus nutricional y productivo de los rumiantes (Correa et al., 2009; Mayes & Dove, 2000). Esta variación es mayor y muy difícil de predecir bajo pastoreo, ya que los requerimientos del ganado bajo estas condiciones no se conocen con precisión, debido a que pueden ser modificados por la actividad del pastoreo, las condiciones ambientales y el efecto de la selección sobre el valor nutricional y la digestión la dieta. La estimación de este parámetro en pastoreo, ha sido realizada mediante estimación agronómica (Walters & Evans, 1979) o mediante el uso de marcadores internos y externos de la dieta para la evaluación digestiva del animal (Mayes et al., 1986; Raymond & Minson, 1955); estos últimos, generalmente son preferidos en gran parte de investigaciones por su mayor precisión en las estimaciones de ingesta que aquellos basados en muestreo directo (Raymond, 1969); una ventaja adicional de estas técnicas es que permiten

obtener información individual sobre la ingesta de los animales, mientras que los métodos de muestreo por diferencia agronómica del forraje, generalmente proporcionan datos de consumo sobre un lote de animales. No obstante, esa mayor precisión de métodos basados en marcadores, tienen en su heurística, evaluaciones en la producción de heces y de la digestibilidad de la dieta. Que no son de fácil comprensión para personal no capacitado y exigen materiales, métodos y mano de obra calificada; que no hacen posible una propuesta económica a nivel de campo. Sin desconocer que experimentalmente son metodologías reconocidas por su sencillez experimental y su alto grado de precisión (Gaviria et al., 2013; Peyraud et al., 1996). Esta imposibilidad de aplicación rutinaria a nivel de predio, deja a la técnica agronómica de doble muestreo como la metodología de mayor viabilidad heurística y económica para ser implementada en la estimación del consumo; donde un muestreo previo y posterior al pastoreo de un área definida, concede estimaciones válidas de una ingesta ponderada, de muy alta precisión si se garantiza períodos de ocupación relativamente cortos y cargas animales altas (Hutchinson et al., 1972; Murphy W.M. et al., 1995b)

Un enfoque alternativo utilizado para determinar el consumo de alimento fue el sistema de registro de animales IGER (Mezzalira et al., 2014). Este consistía en un sensor de banda nasal que medía el movimiento de la mandíbula por resistencia eléctrica (Rutter et al., 1997). Podría identificar y medir el pastoreo y la rumia. Sin embargo, el período máximo de registro de este sistema fue de 24 h, y el análisis de los datos a través del “software Graze” fue muy laborioso (Rutter, 2000). Además, la distribución y soporte comercial de esta tecnología ha cesado en los últimos años. Pero una nueva tecnología, el RumiWatchSystem, puede tener el potencial de mejorar la captura de datos y reemplazar el sistema de registro de animales IGER.

El RumiWatchSystem fue desarrollado inicialmente por Nydegger y Bollhalder (2010) en el Instituto Federal Suizo de Investigación (Agroscope, Tänikon, Suiza) para mediciones de comportamiento en vacas alimentadas en el interior y es distribuido comercialmente por la compañía Itin + Hoch GmbH, Liestal, Suiza desde 2010. Está bien establecida como tecnología de sensores en sistemas de confinamiento (Ruuska et al., 2016) y ha sufrido una serie de modificaciones en el desarrollo como herramienta de investigación y asesoramiento (Zehner et al., 2012). La mayoría de las modificaciones se realizaron para optimizar el software de análisis, el RumiWatch Converter, basado en el desarrollo de diferentes algoritmos para analizar los datos sin procesar. En un estudio de Zehner et al., (2017) se validaron diferentes versiones de RumiWatch en sistemas de confinamiento frente a la observación visual ó “scan-sampling”. Se realizaron modificaciones adicionales de los algoritmos aplicados en RumiWatch, para obtener medición del comportamiento de pastoreo en un sistema de producción de leche con pastoreo rotacional.

Sin embargo, una dificultad importante en la concepción del consumo en pastoreo como dato imperante en la producción pecuaria, es ser limitada conceptualmente por los ganaderos como la cuantificación de la cantidad de pasto consumido en un momento dado; sin ninguna aplicación productiva si se analizan datos aislados. Para propósito de intensificación en el uso de la tierra, las técnicas de estimación de consumo deben ser aplicada como un historial de datos referente para la toma de dictámenes productivos futuros de los predios siempre que se pueda asegurar un nivel razonable de exactitud, precisión y frecuencia.

2.1.25 Bibliografía

Albright, J. L., 1982. Dairy industry developments that improved the welfare of dairy cows and veal production. *Feedstuffs* 54(15):23.

Albright, J. L., 1987. Dairy Animal Welfare: Current and Needed Research. *Journal of Dairy Science*, 70(12). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80345-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80345-4)

Albright, J. L., 1993. Nutrition, feeding and calves. Feeding behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.76, n.2, p.485-498.

Albright, J. L., Stricklin, W. R., 1989. Recent developments in the provision for cattle welfare. *New Techniques in Cattle Production*. C.J.C. Phillips, Ed. Butterworths, London, Engl., 149.

Allden, W. G., McDWhittaker, I. A., 1970. The determinants of herbage intake by grazing sheep: The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Australian Journal of Agricultural Research*, 21(5). <https://doi.org/10.1071/AR9700755>

Almeida, R. G., Barbosa, R. A., Zimmer, A. H., Kichel, A. N., et al., 2019. Forage in integrated cattle production systems. In: Bungenstab, D.J. (Ed.), *ICLF: Innovation With Crop, Livestock and Forest Integration*. Embrapa, Brasília, DF, p. 835.

Alvarenga, C. A. F., Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Sbrissia, A. F., Barbosa, R. A., Araújo, A. R. 2020. Animal performance and sward characteristics of Mombaça guinea grass pastures subjected to two grazing frequencies. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 8, 1–10. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)1-10](https://doi.org/10.17138/tgft(8)1-10).

Andrade, C., Carneiro, J., Valentim, J., 2002. Efeito do sombreamento sobre as taxas de acumulação de matéria seca de quartas gramíneas forrageiras. *Anais Da Reuniao Annual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 39.

Andrade, A.S., Santos, P.M., Pezzopane, J.R.M., De Araujo, L.C., Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., Marin, F.R., Lara, A.S., 2015. Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development application. *Grass and Forage Science*. 71(1): 54-65.

- Ansell, R. H., 1981. Extreme heat stress in dairy cattle and its alleviation: A case report. *Environmental Aspects of Housing for Animal Protection*. J. A. Clark, Ed. Butterworths, London, UK., 285–306.
- Arave, C. W., Albright, J. L., 1976. Social Rank and Physiological Traits of Dairy Cows as Influenced by Changing Group Membership. *Journal of Dairy Science*, 59(5). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84306-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84306-8)
- Arave, C. W., J. L. Albright., 1981. Cattle behavior. *J. Dairy Sci.* 64:1318.
- Arave, C. W., Albright, J. L., Armstrong, D. v., Foster, W. W., Larson, L. L., 1992. Effects of Isolation of Calves on Growth, Behavior, and First Lactation Milk Yield of Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 75(12). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78117-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78117-X)
- Armstrong, D. V., 1994. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *Journal of Dairy Science*, 77(7). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
- Aryal, D. R., Gómez, R. R., Hernández, R., Morales D.E., 2019. Reservas de carbono y diversidad de árboles en sistemas silvopastoriles de árboles dispersos en Chiapas, México. *Sistema Agrofor* 93:213–227
- Baliscei, M. A., et al., 2012. Comportamiento del ganado vacuno y el microclima con y sin sombra. *Acta Sci.* 34 (4), 409-415.
- Balch, C. C., 1955. Sleep in ruminants. *Nature (Lond.)* 175:940.
- Bareille, N., Beaudeau, F., Billon, S., Robert, A., Faverdin, P., 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*, 83(1). [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00040-X)
- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., Delahoy, J. E., 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 86, Issue 1). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)
- Barreto, C. D., Alves, F. V., de Oliveira Ramos, C. E. C., De Paula Leite, M. C., Leite, L. C., Junior, N. K., 2020. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. *International Journal of Biometeorology*, 64(5). <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01878-0>

Bassham, J. A., Benson, A. A., Calvin, M., 1950. The path of carbon in photosynthesis viii. the rôle of malic acid. *The Path of Carbon in Photosynthesis VIII. The Role of Malic Acid*, 185(2).

Bielharz, R. G., 1983. Social dominance: reply to G. 1. and L. A. Syme. Letter to the Editor. *Appl. Anim. Ethol.* 11:67.

Bond, T. E., Kelly, C. F., 1955. The globe thermometer in agricultural research. *Agricultural Engineering*, 36(4).

Bransby, D. I., Matches, A. G., Krause, G. F., 1977. Disk Meter for Rapid Estimation of Herbage Yield in Grazing Trials 1. *Agronomy Journal*, 69(3). <https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900030016x>

Briske, D. D., 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. *Grazing Management: An Ecological Perspective*.

Brownlee, A., 1950. Studies on the behaviour of domestic cattle in Britain *Bull. Anim. Behav.*, 1 (8), Pp. 11-20.

Carvalho, P. C. F., Bremm, C., Bonnet, O. J. F., Savian, J. v., Schons, R. M. T., Szymczak, L. S., Baggio, T., Moojen, F. G., Silva, D. F. F., Marin, A., Gandara, L., Bolzan, A. M. S., Neto, G. F. S., Moraes, A., Monteiro, A. L. G., Santos, D. T., Laca, E. A., 2016. ¿Como a estrutura do pasto influencia o animal em pastejo? Exemplificando as interações planta-animal sob as bases e fundamentos do Pastoreio "Rotatínuo." VIII Simpósio Sobre Manejo Estratégico Da Pastagem, October.

Carvalho, P. C. F., Poli, C. H. E. C., Nabinger, C., Moraes, A., 2000. Comportamento ingestivo de bovinos em pastejo e sua relação com a estrutura da pastagem. . Ferraz, J.B.S. (Ed). *Pecuária 2000: A Pecuária De Corte No Iii Milênio*. Pirassununga, Anais... 2000.

Chacon, E., Stobbs, T., 1976. Influence of progressive defoliation of a grass sward on the eating behaviour of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 27(5). <https://doi.org/10.1071/ar9760709>

Chapman, D. F., Lemaire, G., 1993. Morphogenetic and structural determinats of plant regrowth after defoliation. *Grassland for Our Wold*. Baker MJ (Ed). Sir Publishing, Wellington.

- Chávez, A., Pérez, A., Sánchez, E., 2000. Intensidad de pastoreo y esquema de utilización en la selección de la dieta del ganado bovino durante la sequía. *Revista Técnica Pecuaria (México)*. 38(1): 19-34.
- Collier, R. J., Eley, R. M., Sharma, A. K., Pereira, R. M., Buffington, D. E., 1981. Shade Management in Subtropical Environment for Milk Yield and Composition in Holstein and Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*, 64(5). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82656-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82656-2)
- Correa C., H. J., Pabón R., M. L., Carulla F., J. E., 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*, 21(4).
- Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Tarazona, A. M.; Barahona-Rosales, R.; Rivera, J. E.; Arenas, F. et al., 2015. Valor nutritivo y cinética de fermentación in vitro de mezclas forrajeras utilizadas en sistemas silvopastoriles intensivos. *Zootecnia Trop.* 33 (4):295-306,
- De Oliveira, C. C., Villela, S. D. J., De Almeida, R. G., Alves, F. V., Behling-Neto, A., Martins, P. G. M., 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Tropical Animal Health and Production*, 46(1). <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0469-1>
- De Rensis, F., Scaramuzzi, R. J., 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - A review. *Theriogenology*, 60(6). [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)
- De Souza, E. C., Salman, A. K. D., Da Cruz, P. G., Veit, H. M., De Carvalho, G. A., Da Silva, F. R. F., Schmitt, E., 2019. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 41(1). <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.46483>
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., Beauchemin, K. A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(10). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X)

Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Barbosa, R. A., Nantes, N. N., 2014. Pasture and grazing management of *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf and *Panicum maximum* Jacq (Portuguese). *Revista Ceres*, 61.

Espinoza, F., Vergel, J., 1998. Efecto de la época sobre la selectividad de gramíneas y leguminosas por bovinos en pastoreo. *Pasturas Tropicales* 20 (2): 24-28.

Ferreira, L. C. B., Machado Filho, L. C. P., Hotzel, M. J., Alves, A. A., Barcellos, A. O., 2014. Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra. *Cadernos de Agroecologia*, v. 9, n. 2.

Fischer, V., Deswysen, A. G., Dutilleul, P., De Boever, J., 2002. Padrões da distribuição nictemeral do comportamento ingestivo de vacas leiteiras, ao início e ao final da lactação, alimentadas com dieta à base de silagem de milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(5). <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000800029>

Fletcher, J. E., Robinson, M. E., 1956. A Capacitance Meter for Estimating Forage Weight. *Journal of Range Management*, 9(2). <https://doi.org/10.2307/3894559>

Frame J., 1981. Sward measurement handbook. Herbage mass. . Ed. Hodgson J., R.D. Barker, A. Davies, A.S. Laidlaw, J.D. Leaver. Hurley, Great Britain.

Fraser, A. F., Broom, D. M., 1997. *Farm Animal Behaviour and Welfare*. Baillière Tindall, London, 448.

Friend, T. H., Polan, C. E., 1974. Social Rank, Feeding Behavior, and Free Stall Utilization by Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 57(10). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85040-X)

Friend, T. H., Polan, C. E., McGilliard, M. L., 1977. Free Stall and Feed Bunk Requirements Relative to Behavior, Production and Individual Feed Intake in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 60(1). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83835-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83835-6)

Fujihara, T., 1980. The eating and rumination behaviour in sheep fed only grass diets in either the fresh or dried form. 1. *Agric. Sci. (Camb.)* 95:729.

Fustini, M., Palmonari, A., Bucchi, E., Heinrichs, A. J., Formigoni, A., 2011. Chewing and ruminating with various forage qualities in non-lactating dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 27: 352-356

Fustini, M., Palmonari, A., Canestrari, G., Bonfante, E., Mammi, L., Pacchioli, M.T., et al., 2017. Effect of undigested neutral detergent fiber content of alfalfa hay on lactating dairy cows: feeding behavior, fiber digestibility, and lactation performance. *J. Dairy Sci.*, 100 (6) (2017), pp. 4475-4483, 10.3168/jds.2016-12266

Gaviria, X., Bolivar, D., Barahona, R., 2013. Uso de la técnica de n- alcanos para estimar el consumo y selectividad de novillos pastoreando en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi). *Colombia Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias.*, 459.

Gaviria, X., Naranjo, J. F., Barahona, R., 2015. Cinética de fermentación in vitro de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética. *Pastos y Forrajes.* 38 (1):55-63.

Giraldo, C., Chará, J., Uribe, F., Gómez, J., Gómez, M., Calle, Z., Valencia, L. M., Modesto, M., Murgueitio, E. 2019. Ganadería Colombiana Sostenible: Entre la producción y la conservación de la biodiversidad. In *Ganadería Sustentable en el Golfo de México.*

Giraldo, N. V., Chará, J., 2022. Efecto de los sistemas silvopastoriles intensivos en la reducción de la degradación física y biológica del suelo. *Livestock Research for Rural Development.* Volume 34, Article #17. Retrieved February 18, 2023, from

Giro, A., Pezzopane, J. R. M., Barioni Junior, W., Pedroso, A. de F., Lemes, A. P., Botta, D., Romanello, N., Barreto, A. do N., Garcia, A. R. 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of the Total Environment*, 684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>

Grant, R. J., Colenbrander, V. F., Albright, J. L., 1990. Effect of Particle Size of Forage and Rumen Cannulation upon Chewing Activity and Laterality in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 73(11). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)79005-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)79005-4)

Hafez, E. S. E., Bouissou, M. F., 1975. The behaviour of cattle. *Behaviour of Domestic*, 209.

Hahn, G. L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. In *Journal of animal science: Vol. 77 Suppl 2.* https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x

-
- Hancock, J., 1953. Grazing Behavior of Cattle. *Animal Breed. Abstr.*, 21: 1. .
- Hancock, J., 1954. Grazing behavior in studies in monozygotic cattle twins. N.Z. Dep. Agric. Anim. Res. Div. Publ. No. 63, Hamilton, N.Z.
- Harmoney, K. R., Moore, K. J., George, J. R., Brummer, E. C., & Russell, J. R. 1997. Determination of pasture biomass using four indirect methods. *Agronomy Journal*, 89(4). <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040020x>
- Haydock, K. P., Shaw, N. H., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15, 663–670.
- Heady, H. F., 1957. The Measurement and Value of Plant Height in the Study of Herbaceous Vegetation. *Ecology*, 38(2). <https://doi.org/10.2307/1931691>
- Hernandez, G., Sauer T. J., Chendev Y. G., Gennadiev A. N., 2021. Tasas de renovación no lineal del carbono del suelo después del cultivo de pastizales nativos y la posterior forestación de tierras de cultivo. *Suelo* 7(2):415–431.
- Herrera, R. S., 1985. Relación entre el clima y el rendimiento y calidad de los pastos. En: Régimen de riego en diferentes especies de pastos y forrajes en suelo ferralítico rojo. Informe Técnico, ICA. 47 p
- Herrero, M., Fawcett, R. H., Silveira, V., Busqué, J., Bernués, A., Dent, J. B., 2000. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterisation. *Agricultural Systems*, 65(2). [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00028-7)
- Hodgson, J., 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*, 34(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1979.tb01442.x>
- Hodgson, J., 1981. Variations in the surface characteristics of the sward and the short-term rate of herbage intake by calves and lambs. *Grass and Forage Science*, 36(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01538.x>
- Hodgson, J., 1985. The control of herbage intake in the grazing ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*, 44(2). <https://doi.org/10.1079/pns19850054>
- Hodgson, J., 1986. Grazing behaviour and herbage intake. *British Grassland Society. Occasional Symposium No.19*, 51–64.

- Hodgson, J., Brookes, I., 1999. Nutrition of grazing animals. . In: J. White y J. Hodgson (Eds) *New Zealand Pasture and Crop Science*. Oxford University, 117–132.
- Holdridge, L.R., 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Centre, San Jose, California, USA.
- Holmes, W., 1980. *Grazing Management*. . In: W. Holmes (Ed) *Grass Its Production and Utilization*. The British Grassland Society. Blackwell Scientific Publications. Londres, Inglaterra, 125–173.
- Humphreys, L. R., 1981. *Environmental adaptation of tropical pasture*. MacMillan. Londres. , 261.
- Hutchings N. J., Phillips, A. H, Dobson, R. C., 1990. An ultrasonic range finder for measuring the undisturbed surface height of continuously grazed grass swards. *Grass Forage Sci*.
- Hutchinson, K. J., McLean, R. W., Hamilton, B. A., 1972. The Visual Estimation Of Pasture Availability Using Standard Pasture Cores. *Grass and Forage Science*, 27(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1972.tb00682.x>
- Isaac, L., Wood, C. W., Shannon D. A., 2003. Pruning management effects on soil carbon and nitrogen in contour hedgerow cropping with *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit on sloping land in Haiti. *Nutr Cycl Agroecosyst* 65:253–263
- Jones, C. A., 1985. *C4 grasses and cereals: Growth, development and stress response*. Wiley and Sons, Nueva York., 419.
- Karvatte, N., Miyagi, E. S., de Oliveira, C. C., Barreto, C. D., Mastelaro, A. P., Bungenstab, D. J., Alves, F. V., 2020. Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139252>
- Kendall, P. E., Nielsen, P. P., Webster, J. R., Verkerk, G. A., Littlejohn, R. P., Matthews, L. R., 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science*, 103(1–2). <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.004>

Kidwell, J. F., Bohman, V. R., Hunter, J. E., 1954. Individual and Group Feeding of Experimental Beef Cattle as Influenced by Hay Maturity. *Journal of Animal Science*, 13(3). <https://doi.org/10.2527/jas1954.133543x>

Lauzán, J. R., Vento, H., Herrera, R. S., Martínez, R. O., Cruz, R., 1991. A study of the green pigments and carotenoids in king grass (*Pennisetum purpureum*) somaclones. III. Rainy period. *Cuban J. Agric. Sci.* 25(2): 195-200.

Lemaire, G. E., Chapman, D., 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: *The ecology and management of grazing system.* . Hodgson J, Illius A W (Eds). CAB International.

Lin, C., Tu, S., Huang, J., Chen, Y., 2009. The effect of plant hedgerows on the spatial distribution of soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple-soil area of China. *Soil Tillage Res* 105:307–312

Lopes, L. B., Eckstein, C., Pina, D. S., Carnevalli, R. A., 2016. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Tropical Animal Health and Production*, 48(4). <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x>

Mader, T. L., Fell, L. R., McPhee, M. J., 1997. Behavior response of non-Brahman cattle to shade in commercial feedlots. . *Livest. Environ.* 5, 795–802.

Mahecha, L., Durán C.V., Rosales M., Molina C.H., Molina, E., 2000. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. *Nota de investigación. Pasturas Trop*, 22: 26-30.

Matta, S.L., 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Corpoica. Cienc. Tecnol. Agropecu.* 6(2):69-80.

Mayes, R. W., Dove, H., 2000. Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores. *Nutrition Research Reviews*, 13(1). <https://doi.org/10.1079/095442200108729025>

Mayes, R. W., Lamb, C. S., Colgrove, P. M., 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *The Journal of Agricultural Science*, 107(1). <https://doi.org/10.1017/S0021859600066910>

- McWilliam, J. R., 1978. Response of pasture plants to temperature. En: Wilson. J.R. (Ed). *Plant Relations in Pasture*. CSIRO, Melbourne, 17–36.
- Merrick, A. W., Scharp, D. W., 1971. Electroen-cephalography of resting behavior in cattle. With observations on the question of sleep. *Am. J. Vet. Res.* 32:1893.
- Mertens, D. R., 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. *Georgia Nutr. Conf.*
- Mertens, D. R., 1997. Creación de un sistema para satisfacer los requerimientos de fibra de las vacas lecheras. *J. Ciencia láctea*. 80:1463–1481. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2 .
- Metz, J. H. M., 1975. Time patterns of feeding and rumination in domestic cattle. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen*, 75METZ1975.
- Mezzalira, J. C., De Faccio Carvalho, P. C., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H. L., Laca, E. A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>
- Minson, D. J., 1990. Intake of Forage by Housed Ruminants. In *Forage in Ruminant Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-498310-6.50008-0>
- Molina, I. C., Donney's, G., Montoya, S., Rivera, J. E., Villegas, G., Chará, J., et al. La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras *Lucerna* alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrus maximus*. *LRRD*. 27 (5). <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html>, 2015.
- Morales, D. E., Aryal, D. R., Pinto, R., Guevara, F., Casanova, F., Villanueva, G., 2021. Contenido de carbono y producción de raíces finas en sistemas silvopastoriles tropicales. *Degradación de la tierra Dev* 32(2):738–756
- Morris, C. D., Derry, J. F., Hardy, M. B., 1999. Effect of cattle and sheep grazing on the structure of Highland Sourveld swards in South Africa. *Tropical Grasslands* 33: 111-121.
- Murgueitio, E., Ibrahim, M., 2008. Ganadería y medio ambiente en América Latina. . En E. Murgueitio, C. Cuartas y J.F. Naranjo, Eds., *Ganadería Del Futuro:*

Investigación Para El Desarrollo, Pp. 19-40. Cali, Colombia, CIPAV (Disponible También En: [Www.Cipav.Org.Co/Pdf/Noticias/PaginasSSPCIPAV.Pdf](http://www.Cipav.Org.Co/Pdf/Noticias/PaginasSSPCIPAV.Pdf)).

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., Solorio, B., 2011. Árboles y arbustos nativos para la rehabilitación productiva de tierras ganaderas tropicales. *Para Ecol Manag* 261(10):1654–1663

Murphy W.M., Silman J.P., Mena A.D., 1995. A Comparison Of Quadrante, Capacitance Meter, Sward Stick, And Rising Plate For Estimating Herbage Mass In A Smooth-Stalked, Meadow Grass-Dominant White Clover Sward. *Grass Forage Sci* 50, 452-455.

Nadin, L., Chopra, F. S., Agnelli, M. L., Trindade, J. K., Gonda, H., 2019. Effect of sward height on short-term intake by steers grazing winter oat pastures. *Livestock Science*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.04.018>

Ominski, K. H., Kennedy, A. D., Wittenberg, K. M., Moshtaghi Nia, S. A., 2002. Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 85(4). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74130-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74130-1)

Ospina, S., 2005. Rasgos funcionales de las plantas herbáceas y arbustivas y su relación con el régimen de pastoreo y la fertilidad edáfica en Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 97 p.

Peñuela, L., Fernández, A. P., Castro, F., Ocampo, A., 2011. Uso y Manejo de Forrajes Nativos en la Sabana Inundable de la Orinoquia; Convenio de Cooperación Interinstitucional; The Nature Conservancy, Fundación Horizonte Verde, Fundación Biodiversidad de España, Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia; Universidad de los Llanos: Villavicencio, Colombia.

Pérez, B. R. A., Vargas, C. O. M., 2001. Características de la Sabana Nativa y su Potencial de Producción Bovina en la Llanura Inundable de Arauca, Boleín Técnico N° 25 ; Programa Regional de Investigación Pecuaria, Corpoica: Arauca, Colombia.

Peyraud, J. L., Comeron, E. A., Wade, M., Lemaire, H. 1996. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. *Annales de Zootechnie*.

Pollock, C. J., 1990. The response of plants to temperature change. In *The Journal of Agricultural Science* (Vol. 115, Issue 1). <https://doi.org/10.1017/S0021859600073834>

Porfirio Da Silva, V., Medrado, M. J. S., Nicodemo, F. M. L., Dereti, R. M., 2009. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 49 p.

Raymond, W. F., Minson, D. J. 1955. The Use Of Chromic Oxide For Estimating The Faecal Production Of Grazing Animals. *Grass and Forage Science*, 10(4). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1955.tb00033.x>

Rodrigues, R., Nunes, I., Giordano, G., Almeida, H., Ferreira, F., Silva, D., Santos, D., 2008. Efeito Da Utilização De Três Intervalos De Observações Sobre A Precisão Dos Resultados Obtidos No Estudo Do Comportamento Ingestivo De Vacas Leiteiras Em Pastejo. *Ciência Animal Brasileira*, 9(2).

Roman Ponce, H., Thatcher, W. W., Buffington, D. E., Wilcox, C. J., Van Horn, H. H., 1977. Physiological and Production Responses of Dairy Cattle to a Shade Structure in a Subtropical Environment. *Journal of Dairy Science*, 60(3). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83882-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83882-4)

Roncallo, F., Sierra, M., Castro, E., 2012. Rendimiento de forraje de gramíneas de corte y efecto sobre calidad composicional y producción de leche en el Caribe seco. *Corpoica. Cienc. Tecnol. Agropecu.* 13:71-78. [doi:10.21930/rcta.vol13_num1_art:242](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:242).

Rosales, R. B., Pinzón, S. S., 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 6(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:39

Rutter, S. M., 2000. Graze: A program to analyze recordings of the jaw movements of ruminants. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 32(1). <https://doi.org/10.3758/BF03200791>

Rutter, S. M., Champion, R. A., Penning, P. D., 1997. An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. *Applied Animal Behaviour Science*, 54(2-3). [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(96\)01191-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(96)01191-4)

Ruuska, S., Kajava, S., Mughal, M., Zehner, N., Mononen, J., 2016. Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.005>

Ruckelbusch, Y., 1972. The relevance of drowsiness of the circadian cycle of farm animals. *Anim. Behav.*20:637

Sanderson, M. A., Rotz, C. A., Fultz, S. W., Rayburn, E., 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter and pasture ruler.

Sato, S., Tatumizu, K., Hatae, K., 1993. The influence of social factors on allogrooming in cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 38(3–4). [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(93\)90022-H](https://doi.org/10.1016/0168-1591(93)90022-H)

Schütz, K. E., Cox, N. R., Matthews, L. R., 2008. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Applied Animal Behaviour Science*, 114(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.04.001>

Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., Tucker, C. B., 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(1). <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>

Souza de Abreu, M., Ibrahim, M., Harvey, C., Jimenez, F., 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. . . *Agroforestería de Las Américas* 7(26): 53-56.

Stuth, J. W., 1991. Foraging Behavior. In *Grazing management an ecological perspective*. Eds. R. K. Heitschmidt y J. W. Stuth. Timber Press, Oregon. pp. 65-83

Syme, G. J., 1974. Competitive orders as measures of social dominance. *Animal Behaviour*, 22(PART 4). [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(74\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0003-3472(74)90016-5)

Widowski, T. M., 2013. Shade-Seeking Behavior of Rotationally-Grazed Cows and Calves in a Moderate Climate. <https://doi.org/10.13031/2013.7126>

Tribe, D. E., 1950. The Behaviour Of The Grazing Animal: A Critical Review Of Present Knowledge. *Grass and Forage Science*, 5(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1950.tb01285.x>

Valenzuela, F. G., Villanueva, G., Alcudia, A., Medrano, O. R., Cámara, L., Martínez, P., Casanova, F., Aryal, D. R., 2022. Los sistemas silvopastoriles mejoran las reservas de carbono en las estancias ganaderas de Tabasco, México. *Gestión del uso del suelo* 38:1237–1249

Valtorta, S. E., Leva, P. E., Gallardo, M. R., 1997. Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina. *International Journal of Biometeorology*, 41(2). <https://doi.org/10.1007/s004840050055>

Van Soest, P. J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell Univ. Press, Ithaca, NY.

Van Soest, P. J., 2019. 10. Fiber and Physicochemical Properties of Feeds. In *Nutritional Ecology of the Ruminant*. <https://doi.org/10.7591/9781501732355-011>

Velásquez, R., 2005. Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de dos épocas, manejo y condición de paisajes en Muy Muy, Nicaragua. Tesis de M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Velásquez, R., Pezo, D., Skarpe, C., Ibrahim, M., Mora, J., Benjamin, T., 2009. Selectividad animal de especies herbáceas y leñosas en pasturas seminaturales de Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. No. 49. pp 51- 60.

Verstegen, M. W. A., Hacker, R. R., 1983. Environmental management in animal agriculture. *Livestock Production Science*, 10(1). [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(83\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0301-6226(83)90013-1)

Villanueva, G., Martínez, P., Casanova, F., Ramírez, L., Montañez, P. I., 2015 Almacenamiento de carbono en sistemas ganaderos con y sin cercas vivas de *Gliricidia sepium* en el trópico húmedo de México . *Sistema Agrofor* 89(6):1083–1096

Vizzotto, E. F., Fischer, V., Thaler Neto, A., Abreu, A. S., Stumpf, M. T., Werncke, D., Schmidt, F. A., McManus, C. M., 2015. Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, 9(9). <https://doi.org/10.1017/S1751731115000877>

Von Keyserlingk, M. A. G., Olenick, D., Weary, D. M., 2008. Acute behavioral effects of regrouping dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(3). <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0532>

Walters R.J., Evans E.M., 1979. Evaluation of the sward sampling technique for estimating herbage intake by grazing sheep. *Grass Forage Sci.*

Wang, L., Tang, L., Wang, X., Chen, F., 2010. Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in the citrus orchards of the Three Gorges Region. *Soil Tillage Res* 110:243–250.

Wang, X., Cammeraat, E. L., Cerli, C., Kalbitz, K., 2014. Agregación del suelo y estabilización del carbono orgánico afectado por la erosión y la deposición. *Bioquímica del suelo Bioquímica* 72:55–65

West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

Wheelock, J. B., Roads, R. P., VanBaale, M. J., Lijadoras, S. R., Baumgard, L. H., 2010. Efectos del estrés por calor en el metabolismo energético en vacas Holstein lactantes, *Journal of Dairy Science*, 93, 644-655.

Wilm, H. G., Costello, D. F., Klipple, G. E., 1944. Estimating forage yield by the double-sampling method. *Journal of the American Society of Agronomy* 36: 194.

Zehner, N., Niederhauser, J. J., Nydegger, F., Grothmann, a, Keller, M., Hoch, M., Haeussermann, A., Schick, M., 2012. Validation of a new health monitoring system (RumiWatch) for combined automatic measurement of rumination, feed intake, water intake and locomotion in dairy cows. *Information Technology, Automation and Precision Farming. International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012.*

Zehner, N., Umstätter, C., Niederhauser, J. J., Schick, M., 2017. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.021>

2.1.26 Capítulo 2: Producción forrajera y consumo en ganaderías colombianas con diversos sistemas de pastoreo incluyendo sistemas silvopastoriles

S. Montoya Uribe^{abc} J.D. Chará Orozco^{1c}, E. Murgueitio Restrepo^c, G.A. Correa^b, R. Barahona-Rosales^b

^aFacultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, smontoyau@gmail.com

^bFacultad de Ciencias Agrarias, Departamento de producción animal, Universidad Nacional de Colombia, Street 59 A # 63-20 (+57 4) 4309000 Medellín-Colombia

°Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Carrera 25 No 6-62 Cali-Colombia,

Sebastián Montoya Uribe^{1,2,3}; Julian David Chará Orozco²; Enrique Murgueitio Restrepo²; Guillermo Antonio Correa-Londoño IF³; Rolando Barahona-Rosales³

*¹Corresponding author: E-mail: smontoyau@gmail.com

Resumen

La ganadería tropical, especialmente la basada en el aprovechamiento de monocultivos de gramíneas de bajo valor nutricional, se caracteriza por bajas cargas animales y baja productividad. Dado que el manejo tradicional de praderas no permite alcanzar las metas de productividad y sustentabilidad ambiental que se esperan de la actividad ganadera tropical, se han venido proponiendo los modelos silvopastoriles como la opción para realizar la reconversión ambiental y social que requiere la ganadería. Puesto que una buena parte de la satisfacción de estos retos está asociada con la productividad forrajera, es necesario validar el desempeño productivo de estas nuevas alternativas ante los modelos convencionales de producción. Con el propósito de valorar el desempeño productivo de diversos arreglos silvopastoriles, se realizó un estudio de la producción y composición forrajera en potreros de 17 fincas ganaderas, caracterizados por poseer diferentes arreglos pastoriles y por estar ubicados en cinco núcleos regionales. Con el fin de explicar el nivel de asociación entre la oferta y calidad composicional del forraje y

*Autor responsable: Facultad De Ciencias Agropecuarias (FCA). Universidad Católica De Oriente (UCO). Sector 3, cra 46 No. 40B 50, Rionegro, Antioquia. Correo electrónico: smontoyau@gmail.com

el consumo en ganado bovino, se evaluó la oferta de nutrientes de las dietas suministradas en las diferentes fincas por medio del software CNCPS, a fin de estimar los parámetros productivos y analizar la posible maximización de los recursos. Se estimó la razón de verosimilitud entre los valores de consumo obtenidos por el aforo y los valores estimados por el software y se generó un reporte para Colombia del desempeño productivo de estos sistemas como estrategia alterna de producción ganadera a los sistemas convencionales. La oferta forrajera fue de 4.55 en setos forrajeros (SF) sin diferencias con 4.12 del sistema silvopastoril intensivo (SSPi) pero mayor al 2.78 y 3.24 (kg / 100 kg Pv/ día) de árboles dispersos (AD) y sistema monocultivo (SC) respectivamente ($P < 0.05$). Los dos primeros sistemas de siembra ofertaron más de un 50 % y un 45 % de proteína cruda y cenizas respectivamente a la oferta observada en AD y SC ($P < 0.05$). Igual tendencia tuvo el consumo de proteína cruda, que fue de 352.30 en SF y 293.77 SSPi superiores a 141.36 y 151.99 (gr de PC /100 kg PV / día) de AD y SC respectivamente ($P < 0.05$). El consumo de cenizas fue de 301.97 en SSPi y superior a 212.37, 206.24 y 258.11 (gr de Cenizas /100 kg PV / día) en AD, SC y SF respectivamente ($P < 0.05$). El consumo de grasa (gr de grasa /100 kg PV / día), tuvo una relación inversa con el consumo de proteína, siendo mayor en los AD y SC ($P < 0.05$). El ($r^2 = 0.0403$) obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de CMS por el aforo y el encontrado con CNCPS fue bajo y el ($CMEP = 0.6849$ (kg/100 kg PV /d)²) fue alto, surgiendo un enfoque diferente en la heurística de las metodologías, mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos en el consumo bovino de animales en pastoreo.

Palabras clave: bovinos en pastoreo, composición botánica de las praderas, consumo voluntario, oferta de forraje, productividad

Abstract

Tropical livestock farming, especially that based on the use of grass monocultures of low nutritional value, is characterized by low stocking rates and low productivity. Since traditional pasture management does not achieve the productivity and environmental sustainability goals expected from tropical livestock farming, silvopastoral models have been proposed as the choice models for the environmental and social reconversion required by livestock farming. Given that a large part of the satisfaction of these challenges is associated with forage productivity, it is necessary to validate the productive performance of these new alternatives compared to conventional production models. A study was carried out to evaluate the productive performance, including forage production and composition of different silvopastoral arrangements, in 17 cattle farms, characterized by possessing different pastoral arrangements (monoculture system = CS, scattered trees = ST, forage hedges = FH and intensive silvopastoral systems = iSPS) and located in five regional nuclei. In order to explain the level of association between forage supply and compositional quality and intake by cattle, the nutrient supply of the diets offered in the different farms was evaluated by means of the CNCPS software, in order to estimate the productive parameters and analyze the possible maximization of resources. The likelihood ratio between intake values obtained by the agronomic method and those estimated with CNCPS was estimated and a report was generated for Colombia on the productive performance of these systems as an alternative livestock production strategy to conventional systems. Forage offer (kg/ 100 kg LW/ day) was 4.55 in FH without differences with 4.12 in iSPS, but higher than 2.78 and 3.24 in ST and CS, respectively ($P < 0.05$). These two systems also offered more than 50% and 45% of crude protein and ash, respectively than what was offered in ST and CS ($P < 0.05$). Crude protein intake (g/100 kg LW/day) was 352 in FH and 294 in iSPS, compared to 141 and 152 in ST and CS, respectively ($P < 0.05$). Ash intake (g/100 kg LW/day) was 302 in iSPS and higher than 212, 206 and 258 in ST, CS and FH respectively ($P < 0.05$). Fat intake (g/100 kg LW/day) had an inverse relationship with protein intake, being higher in

ST and CS ($P < 0.05$). The r^2 (0.04) obtained from the regression between the estimate of DMI (kg/100 kg LW/d) by the agronomic method and that found with CNCPS was low and the CMEP (0.68) was high, showing differences in the heuristics of these two methodologies for the maximum and minimum estimates of forage intake by the animals.

Key words: *grazing cattle, pasture botanical composition, voluntary intake, forage supply, productivity*

2.1.27 Introducción

La ganadería colombiana ocupa el 33.54% del área nacional, con un hato de 23.5 millones de cabezas de ganado, la gran mayoría manejadas en condiciones extensivas (FEDEGAN 2016; ICA 2017) y cuyo común denominador es estar constituida principalmente por monocultivos de gramíneas de bajo valor nutricional (Rosales y Pinzón 2005) bajas cargas animales y bajos rendimientos productivos (Wassenaar et al 2007). La ausencia de prácticas adecuadas de manejo de praderas no garantiza un adecuado tiempo de recuperación, exponiendo a los suelos a procesos degradativos y resultando en eficiencias de uso de los forrajes a menudo menores al 50% (Aristizábal J y Londoño W 2002).

En varios estudios se ha reportado que la variación de la oferta forrajera (OF) está directamente relacionada con el volumen y la calidad de la leche (Auld et al 2000) y que la OF es uno de los factores más limitantes para alcanzar altos consumos de forrajes por animales en pastoreo (Bargo et al 2003; Carulla et al 2003). Adicionalmente, se ha establecido que el avance hacia la intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical depende de adoptar prácticas que permitan una mejor utilización de los forrajes (Murgueitio et al 2015).

En respuesta a las falencias de los sistemas tradicionales de pastoreo, se ha propuesto la adopción de sistemas silvopastoriles (SSP), como sistemas de producción de forraje destinados a la producción de carne y leche, así como de madera, frutas y otros bienes asociados (Cardona et al 2014; Chará et al 2017). En el SSP interactúan en el mismo espacio y tiempo una o más especies de diferentes estratos. En el estrato herbáceo se encuentran gramíneas forrajeras nativas de América (géneros *Axonopus*, *Paspalum* y otros) o introducidas (géneros *Cynodon*, *Megathyrsus*, *Brachiaria*, *Pennisetum*, *Dichanthium*, *Cenchrus*, *Bothriochloa* y otros), así como plantas leguminosas herbáceas (géneros *Desmodium*, *Centrosema*, *Calopogonium*, *Pueraria*, *Stylosanthes*, *Clitoria*, *Arachis*, *Teramnus*, *Macroptilium*, *Zornia*, *Trifolium*, *Lotus* y otros). Sigue un estrato de arbustos en alta densidad (desde 10 hasta más de 40 mil plantas por hectárea) destinado al ramoneo del ganado con especies como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., de la subfamilia *Mimosoideae*; *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, de la familia *Asteraceae*; o *Guazuma ulmifolia* Lam., de la familia *Malvaceae*". La adopción de SSP permite aumentar la conversión de energía solar en biomasa a través de una vegetación estratificada, la rehabilitación de suelos degradados, el reciclaje de nutrientes, la oferta de hábitat para organismos silvestres y la oferta de arbustos forrajeros de alta calidad nutricional en alta densidad para el ramoneo directo del ganado (Mauricio 2017; Murgueitio et al 2015; Murgueitio Restrepo et al 2016) obstante, existen limitantes en la aceptación de estos sistemas, como los que se enumeran a continuación:

- Los prolongados períodos de espera para el establecimiento de los arbustos y árboles en los potreros, lo cual afecta el retorno en el flujo de efectivo por beneficios de la cría bovina.
- La percepción cultural de que el dosel arbóreo impone condiciones adversas a especies forrajeras megatérmicas (Andrade et al 2002; Souza De Abreu et al 2000).
- La falta de educación forestal de los ganaderos, que no permite ver la forestación de sus parcelas como un ahorro programado y de convenio energético con el ambiente.

Estas limitantes han sido descritas de manera somera, sin que la contraparte productiva favorable sea clara para el ganadero. Por tal razón, es deseable calcular y monitorear ofertas forrajeras, consumos y cargas en fincas ganaderas de forma rápida y precisa. Harmony et al (1997) y López et al (2011) encontraron que los métodos indirectos de estimación visual poseen una buena capacidad para estimar la cantidad de forraje en un predio; siguiendo los lineamientos descritos por (Haydock y Shaw 1975), se obtienen datos que se asocian a la variación de manejo entre las regiones y que permiten comparar diferentes sistemas de producción de forraje en la eficiencia del uso del suelo, productividad, calidad forrajera y consumo. La variación en el consumo voluntario de forraje es indudablemente el principal determinante del estatus nutricional y productivo de los rumiantes (Correa 2009; Mayes y Dove 2000). Esta variación es mayor y más difícil de predecir con animales en pastoreo, ya que los requerimientos del ganado bajo estas condiciones pueden ser modificados por la actividad del pastoreo, las condiciones ambientales y el efecto de la selección sobre el valor nutricional y la digestión de la dieta. La estimación de este parámetro en pastoreo ha sido realizada mediante estimación agronómica (Walters y Evans, 1979) o mediante el uso de marcadores internos y externos en la dieta (Raymond 1955; Mayes 1986). Estos últimos generalmente

son preferidos en investigación por su mayor precisión en las estimaciones de ingesta que aquellos basados en muestreo directo (Raymond 1969).

El uso de marcadores permite medir además la producción de heces y la digestibilidad de la dieta, aspectos que no son de fácil comprensión para personal no capacitado y exigen materiales, métodos y mano de obra calificada que aumenta los costos a nivel de campo. Esta dificultad deja a la técnica agronómica de doble muestreo como la metodología de mayor viabilidad para ser implementada en la estimación del consumo. Utilizando un muestreo antes y después del pastoreo de un área definida, este método permite estimar la ingesta ponderada con alta precisión si se garantizan períodos de ocupación relativamente cortos y cargas animales altas (Hutchinson et al 1972; Murphy W.M. et al 1995) Consecuentemente, esta fue la técnica de estimación que se utilizó en esta investigación. Mediante el presente estudio se buscó comparar la oferta nutricional de sistemas silvopastoriles versus sistemas de monocultivo de producción ganadera bajo condiciones edafoclimáticas similares en Colombia, en 17 predios con praderas de más de 2 años de establecimiento.

2.1.28 Materiales y métodos

2.1.29 Procedimiento general

En esta investigación se cuantificó la oferta forrajera, el consumo y la carga animal de fincas ganaderas con diferentes sistemas de producción de forraje en la época seca transcurrida entre los meses de noviembre del 2016 y julio del 2017 (Figura 1), en potreros de períodos de ocupación del ganado relativamente cortos y cargas animales que aunque son ajustadas empíricamente obedecen a un esquema rotacional y se preocupa por la recuperación de los forrajes, elevando a cada uno

de estos predios a un nivel de conciencia administrativa superior al de sistemas convencional o pastoreo continuo.

2.1.30 2.2.2 Zonas de estudio

Se realizó una caracterización de 17 fincas demostrativas del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Para ello, se realizó un reconocimiento de los potreros, tomando las coordenadas UTM con un GPS marca Garmin Oregon® 65 y utilizando sistemas de información geográfica (SIG) para su posterior procesamiento con el software ArcGIS 10.1, generando un mapa y calculando las áreas y perímetros de los potreros. En la Tabla 1 se presentan las características de los SSP evaluados, acorde con el núcleo regional del cual forman parte (Figura 1).

- Eco-región Cafetera y el valle alto del río Cauca

Esta región se ubica en las estribaciones de las Cordilleras Central y Occidental, en alturas comprendidas entre 800 y 2.200 msnm; con temperaturas promedios que oscilan entre 18 y 24 grados centígrados, y precipitación pluvial anual superior a los 1.800 milímetros; topografía bastante abrupta, irregular y erosionable, con suelos ácidos, deficientes en calcio y fósforo y otros elementos minerales relativamente altos como el potasio. Los predios evaluados se caracterizaron por combinar en sus potreros un promedio de 7000 arbustos por hectárea de *Tithonia diversifolia* (hemsl Gray) o *Leucaena leucocephala*; la pastura mejorada que más se destacó fue *Cynodon plectostachyus*, en asociación con árboles dispersos en densidades de 30 a 50 individuos por hectárea, con un sistema ganadero basado

en pastoreo rotacional, con una carga instantánea promedio de 2.8 (animales/hectárea), períodos de descanso promedios de 36 días y oferta permanente de agua en cada franja ocupada. La principal producción que destacó en esta Eco-región Cafetera es la cría de ganado de leche, por lo cual el pastoreo se hace con cinta eléctrica.

- Región de ganadería tradicional del Valle del río Cesar

Esta zona contiene los últimos fragmentos de Bosque Seco Tropical, considerado uno de los ecosistemas neotropicales más amenazados y con una degradación en 98.5% de su superficie en Colombia. En esta región se encuentra alta variabilidad en los tipos de cobertura vegetal evaluada, debido a las condiciones climáticas y del suelo, particulares en distintas áreas. Una de las causas de este fenómeno es la marcada influencia de los vientos alisios que, a pesar de portar cierta cantidad de humedad, su intensidad y constancia les confieren un alto poder de desecación, elevando la transpiración vegetal y retardando el ciclo productivo de los forrajes.

Los predios evaluados se caracterizaron por combinar en sus potreros un promedio de 7000 arbustos por hectárea/ha de *L. leucocephala* principalmente y bancos forrajeros de *Gliricidia sepium*, la pastura mejorada que más destacó fue *Panicum maximum* cv. Mombaza, en asociación con líneas de árboles de *Eucalyptus melliodora* y árboles de *Samanea saman* y *Gliricidia sepium* dispersos en densidades de 20 a 40 individuos por hectárea con un sistema ganadero con pobres bases en pastoreo rotacional, que no define plenamente las rotaciones y con alta variabilidad en el periodo de descanso de las pasturas y los arbustos. La carga instantánea promedio es de 1.8 animales / hectárea, períodos de descanso promedios de 40 días y con ausencia de agua en algunas franjas ocupadas.

- Bajo Magdalena

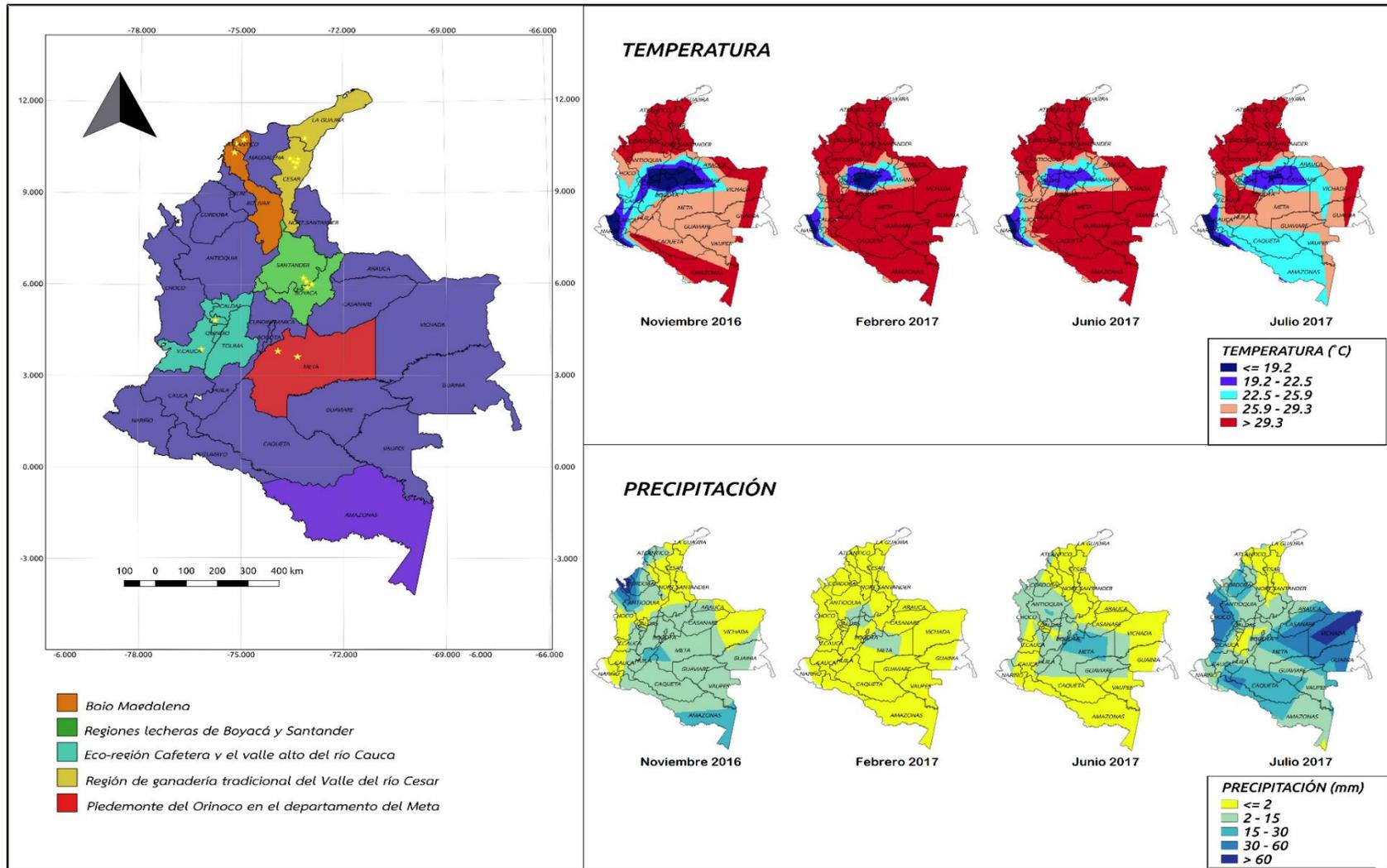
Se localiza al norte del país sobre la margen oriental del Río Magdalena, por razones de relieve, esta región se encuentra principalmente en terrenos bajos (20 a 250 msnm), inundables en buena parte del año; la temperatura oscila en un rango de 26 a 28°C y se registra una humedad relativa del 75 al 85%. Según la clasificación de zonas de vida (Holdrige, 1967), se pueden encontrar ecosistemas de bosque seco tropical, bosque muy seco tropical y bosque húmedo tropical. En la región destaca la cría de ganado de carne en pastoreo continuo, sin periodo de descanso definidos para los forrajes. Las praderas evaluadas fueron constituidas principalmente por *Bothriochloa pertusa* en asocio a la pastura *P. maximum* cv Mombaza, al arbusto forrajero *L. leucocephala* y árboles dispersos de *S. saman* y *G. sepium* en densidades de 15 a 30 individuos por hectárea.

- Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta

Esta región ganadera se caracteriza por ser el límite entre las cordilleras y los Llanos Orientales. Se ubica en las estribaciones de la cordillera Oriental entre los 700 y 300 msnm, con temperaturas medias de 23 a 30 °C y un régimen de lluvias de 3.000 a 4.000 mm de precipitación anual. Los procesos geológicos de la formación del suelo de los suelos en esta región han estado mediados a periodos de lavados de arcillas y destrucción del complejo arcillo-húmico, muy característico de Oxisoles, en el cual prima las partículas del suelo tamaño arena y con ellos una baja retención de agua en periodos de sequía. Las altas saturaciones de aluminio intercambiable limitan el uso de pastos mejorados, destacando la presencia de *Brachiaria decumbens* y *T. diversifolia* por su capacidad de resistencia a la toxicidad por aluminio. En los predios evaluados, se destacó la cría de ganado en sistema rotacional, con periodos de descanso oscilante a 50 días, en asociación con árboles de la zona, dispersos en densidades de 35 a 50 individuos por hectárea y una asignación de franja con cinta eléctrica.

- Regiones lecheras de Boyacá y Santander

Es la segunda región ganadera con mayor variabilidad espacial en los predios, encontrándose ecosistemas pastoriles que van del bosque húmedo premontano (Boyacá) a ganaderías en zona de ladera de condiciones climáticas propias del bosque seco montano bajo (Santander). Posee una distribución altitudinal de 1290 a 2800 msnm, con temperaturas promedio de 13 a 21 °C y un rango de precipitación anual de 726 a 3281 mm. En las zonas más altas de esta región destaca la presencia de *Pennisetum clandestinum* con asocio a una muy baja densidad de *Trifolium repens* y *Sambucus peruviana*. En las secciones más bajas de la vertiente, el componente forrajero es totalmente diferente y los forrajes de mayor presencia son *B. decumbens* y *T. diversifolia*. Destaca la cría de ganado de leche con asignación de franja diaria con cinta eléctrica, en asociación con árboles dispersos en densidades de 40 a 60 individuos por hectárea.



2.1.31 Figura 2.1. Ecorregiones ganaderas de Colombia y valores de temperatura y precipitación durante el periodo de estudio.

2.1.32 Tabla 2.1. Características de los sistemas productivos en las fincas evaluadas.

	Ecorregión Cafetera y el valle alto del río Cauca	Región de ganadería tradicional del Valle del río Cesar	Bajo Magdalena	Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta	Regiones lecheras de Boyacá y Santander
Herbáceas	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Megathyrus maximus c.v..Mombaza</i> <i>Bothriochloa pertusa</i>	<i>Megathyrus maximus c.v..Mombaza</i> <i>Bothriochloa pertusa</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Cenchrus clandestinus</i> <i>Trifolium repens</i>
Arbustos	<i>Leucaena leucocephala</i> <i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Gliricidia sepium</i> <i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Gliricidia sepium</i> <i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
Municipios	Pereira y Buga	San Juan del Cesar, San Diego, Codazzi y Valledupar	Luruaco, San Estanislao y Baranoa	San Martín y Cubarral	Duitama, Belén, Encino y Charalá
Zona de Vida	bs-T, bh-T, bh-PM	bs-T, bms-T	bs-T	bh-T	bmh-MB, bh-MB, bh-PM
Altura sobre el nivel del mar (m)	600 - 2200	150 - 294	30 - 177	389 - 523	1561 - 2511
Temperatura (°C)	18 - 28	30 - 34	26- 31	23 - 30	18 - 23
Humedad Relativa (%)	64 - 78	46 - 53	59 – 91	70 - 76	65 - 82
Sistema Ganadero (Tipo-raza, peso vivo, condición corporal, sistema productivo)	Vacas y novillas- Jerhol, Holstein-Cebú, 323 kg, 3.25, cría y levante	131-Vacas y novillos Cebú; 395 kg; 3.0; cría, levante y ceba	38-Vacas y novillos Cebú; 356 kg; 2.85; cría y levante	70-Vacas y novillos Cebú, Holstein-Cebú; 319 kg; 3.0; cría y levante	65-Vacas Holstein, Holstein-Cebú; 404 kg; 3.25; cría y levante

- **Abreviaturas:** bmh-MB: Bosque muy húmedo montano bajo; bh-MB: Bosque Húmedo Montano; bh-PM: Bosque húmedo premontano; bh-T: Bosque húmedo tropical; bs-T: Bosque seco tropical; bms-T: Bosque muy seco tropical

2.1.33 Muestreo y medidas

La oferta forrajera diaria se estimó calculando la cantidad de biomasa disponible por el método de estimación visual descrita por Haydock y Shaw (1975), tomando como referencia una escala visual de tres niveles de producción de forraje verde (alto, medio y bajo), cosechando y pesando el forraje obtenido de 9 marcos de 0.25 m² (de un total de 25 colocados aleatoriamente en cada franja); el pasto se cosechó a una altura de 8 cm desde el suelo. Para la cuantificación de la biomasa proveniente de arbustos, se cortaron 3 plantas en una escala visual similar a la del pasto, se cosecharon a una altura de 10 cm desde el suelo y se sacaron 9 visuales de un 1 m en las líneas de siembra que constituían cada uno de los sistemas. La diferencia entre la biomasa total y la cantidad de material muerto determinó la cantidad de biomasa disponible por unidad de área. Con base en mediciones en franjas previamente pastoreadas, se estimó el consumo de forraje como la diferencia entre la oferta de forraje y el forraje remanente de las franjas pastoreadas.

De cada franja asignada en el día se tomaron muestras representativas del forraje en oferta. En estas muestras se determinó el contenido de materia seca (MS) por el método gravimétrico, usando una estufa de aire forzado. El contenido de proteína cruda (PC, %) se determinó por el método de Kjeldahl, según NTC 4657 (1999); la fibra en detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), según la técnica secuencial de Van Soest et al (1991); el extracto etéreo, por extracción Soxhlet por inmersión (NTC 668, 1973), y las cenizas (Cen), por incineración directa en una mufla a 500 °C, según Thiex et al., (2012).

El consumo voluntario de materia seca se estimó mediante el modelo *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* - CNCPS (Fox et al 2004), el cual también predice la productividad del ganado vacuno a partir del contenido nutricional de la dieta. El uso del modelo CNCPS es un buen complemento a la técnica de aforos, que está más encaminada a la evaluación a nivel de predio en el manejo de las

praderas, pues el CNCPS ofrece información detallada sobre factores limitantes del metabolismo ruminal y del aporte de nutrientes, que son sumamente útiles para complementar la información obtenida mediante la metodología de aforos.

2.1.34 Tratamientos

Para los propósitos de este trabajo, los tratamientos o grupos de interés para fines de comparación estuvieron constituidos por los diferentes sistemas de producción de forraje representados en los predios evaluados: sistema monocultivo, árboles dispersos, setos forrajeros y silvopastoriles intensivos (Figura 2.2).

Sistema monocultivo (SM)

Fue un modelo de siembra basado en el monocultivo de gramíneas forrajeras de común empleo por los productores. No es un modelo de siembra propiamente de los SSP, sino un referente de línea base para comparación con los otros sistemas productivos.

Árboles dispersos (AD)

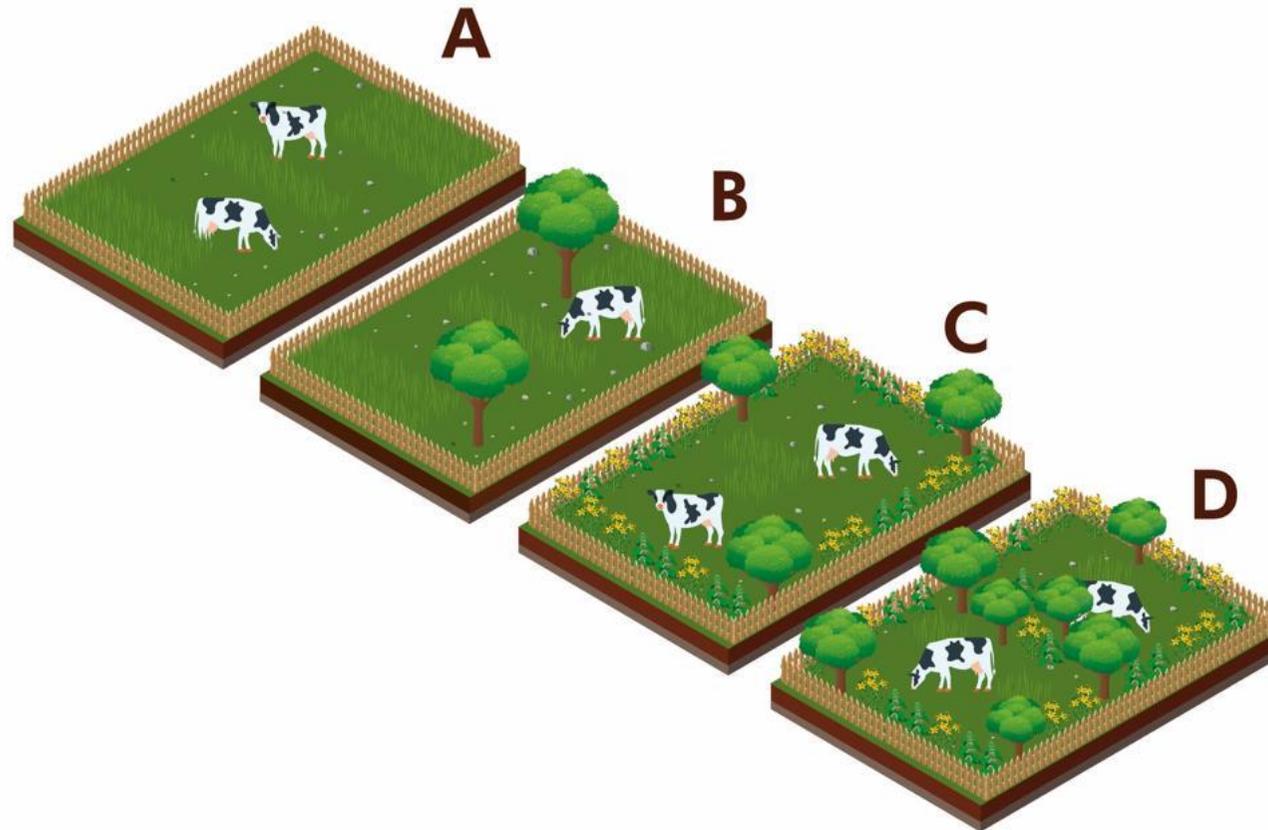
Consistió en establecer o conservar árboles en el proceso de desmonte (20 a 40 árboles por hectárea), para generar beneficios ambientales y productivos como sombrero, fijación de nitrógeno, forraje. Asimismo, pueden actuar como “piedras de salto” para favorecer la biodiversidad.

Setos forrajeros (SF)

Consiste en sembrar o manejar árboles y arbustos en reemplazo de postes inertes de madera, cemento u otro material. Se establecen en altas densidades con gran diversidad de especies forrajeras. Son sistemas de fácil propagación, que por lo general se establecen a partir de estacas vivas. Se usan cortes regulares para aprovechar el forraje.

Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi)

Modelo productivo que combina gramíneas y arbustos forrajeros en altas densidades (aproximadamente 7000 arbustos por hectárea en trópico bajo y más de 1500 en trópico alto). Es demandante de un pastoreo rotacional de altas cargas instantáneas y largos periodos de descanso para garantizar su prevalencia en el tiempo. Adicionalmente, cuentan con un tercer estrato compuesto por árboles maderables o frutales que brindan sombra al ganado y generan otros ingresos a los productores.



1

2

3

4

2.1.35 **Figura 2.2.** Sistemas de producción evaluados. A) Sistema convencional; B) Arboles dispersos; C) Setos forrajeros; D) Sistemas silvopastoriles intensivos.

2.1.36 Análisis estadístico

Se utilizó un modelo de bloques al azar, con las fincas como factor de bloqueo y los diferentes sistemas productivos (SSPi, arboles dispersos, setos forrajeros y sistema monocultivo) como efecto fijo. Los análisis de varianza para las diferentes variables dependientes relacionadas con la productividad, así como las correspondientes pruebas de comparación de medias se realizaron mediante el software R (R Core Team 2022).

Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para eliminar las variables de nivel inferior sin una pérdida significativa de la información contenida en el conjunto de datos original. El conjunto de datos incluido en el análisis PCA constaba de 12 variables: Oferta MS, Oferta PC, Oferta FDN, Oferta FDA, Oferta Grasa, Oferta Cenizas, Consumo MS, Consumo PC, Consumo FDN, Consumo FDA, Consumo Grasa, Consumo Cenizas.

Se evaluaron diferentes modelos de regresión para modelar el consumo medio (kg MS/100 kg de PV/ día) en función de la oferta de forraje (kg MS/100 kg de PV/ día). Los modelos fueron comparados mediante el AIC y el BIC (criterio de información de Akaike y criterio de información Bayesiano, respectivamente).

Finalmente, el consumo de materia seca (MS) estimado (X) por CNCPS Fox et al (2004); variables fue comparado con el consumo de MS estimado por aforo (Y) mediante un ANAVA y el análisis del Cuadrado Medio del Error de Predicción (CMEP), como prueba de razón de verosimilitud.

2.1.37 Resultados Y Discusión

2.1.38 Oferta de forraje y nutrientes.

La oferta forrajera fue significativamente mayor en los SF y SSPi sin diferencias significativas entre estos sistemas, seguidas de las ofertas de los AD y SM, los cuales , igualmente no tuvieron diferencias entre ellos pero si frente a los SG y SSPi. Es importante destacar la diferencia en el tipo de pastoreo que realizan los animales en los diferentes modelos productivos. En los SF, por su conformación estructural, en el pastoreo se limita el acceso al forraje por parte de los animales dentro del espacio delimitado por una cerca eléctrica. En cambio, en los SSPi, AD y SM se presenta un patrón de consumo más intenso, en el cual las plantas, además de ser sometidas al efecto del ramoneo en toda su área foliar, también están expuestas al efecto de pisoteo y a la compactación del suelo. Estos factores deben recibir más atención, puesto que pueden limitar la recuperación de las praderas y con ello disminuir la producción de FV en los ciclos de pastoreo posteriores.

Indiscutiblemente, la incorporación de arbustos no solo aumenta la productividad y calidad del forraje, sino que, al existir mayor diversidad de especies vegetales, se disminuye la presión de pastoreo del ganado hacia una especie forrajera en particular, mientras que los periodos cortos de ocupación disminuyen el riesgo de ausencia forrajera en periodos climáticos críticos.

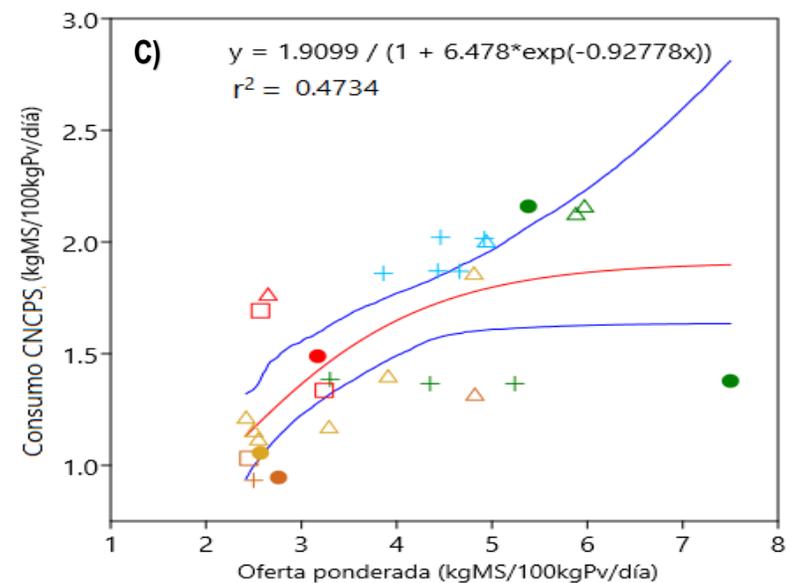
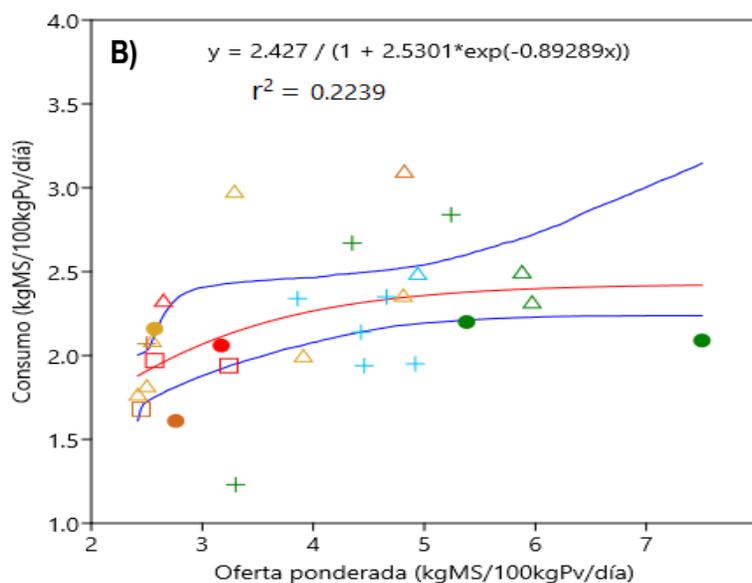
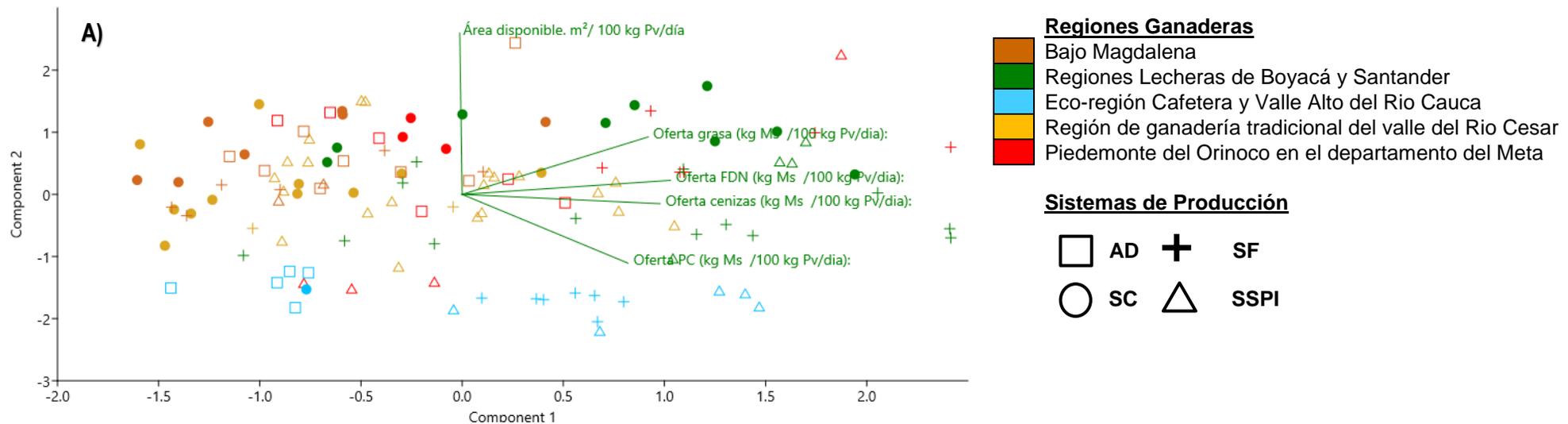
De otro lado, se encontraron diferencias en la oferta de proteína entre los diferentes arreglos, siendo el SF superior a los demás arreglos, seguido del SSPi y en último lugar los AD y el SM. Se debe precisar que los SF, a pesar su mayor oferta de MS comparado con el SSPi tiene desventajas, como descartar la posibilidad de implementar arbustos en toda el área y de exigir un costo adicional por el corte y suministro del forraje, pues en los otros sistemas, son los animales los que cosechan el material forrajero. El SM es el arreglo que presentó el menor rendimiento productivo y se caracteriza por praderas conformadas estrictamente

en monocultivos de diversos gramíneas forrajeras, que dependiendo de la orientación ganadera (carne o leche) reciben o no enmiendas; es altamente rentable, pues se usufructúa al máximo la capacidad del rumiante para producir carne a partir del pasto, pero puede ser dependiente del uso de insumos derivados del petróleo, poco amigable con el ambiente por a su baja capacidad de reciclaje de nutrientes; además, es altamente susceptible a periodos climáticos críticos.

2.1.39 Tabla 2.2. Oferta de forraje y consumo de materia seca y nutrientes en los cinco modelos productivos

OFERTA					
	Sistemas de Siembra				
Información general	AD	SC	SF	SSPI	P_value
Potreros evaluados, n	19	31	34	36	
Días de descanso, d	57,63 ± 4,20 ^a	49,06 ± 9,87 ^b	54,02 ± 7,68 ^a	54,72 ± 10,33 ^a	2.35e-05
Área, m ² / 100 kg Pv/día	11,30 ± 4,06 ^b	13,08 ± 2,54 ^a	10,76 ± 2,53 ^b	11,44 ± 3,31 ^b	4.37e-06
Oferta forrajera, unidad/100 kg PV/día					
Forraje verde, kg	13,88 ± 3,95 ^b	15,38 ± 8,59 ^b	22,93 ± 7,22 ^a	21,94 ± 5,80 ^a	0.0006
Materia seca, kg	2,78 ± 0,78 ^b	3,24 ± 1,64 ^b	4,55 ± 1,38 ^a	4,12 ± 1,27 ^a	0.0009
Proteína cruda, g	244,34 ± 60,21 ^c	257,29 ± 179,06 ^c	689,01 ± 407,77 ^a	526,25 ± 326,44 ^b	7.37e-11
FDN, g	1983,1 ± 568,0	2345,7 ± 1071,2	2755,9 ± 1062,6	2486,3 ± 823,6	0.371
FDA, g	1133,8 ± 336,5	1342,4 ± 575,0	1594,1 ± 534,8	1605,0 ± 451,0	0.0747
Grasa, g	76,92 ± 28,39	82,72 ± 42,96	94,51 ± 56,40	73,39 ± 44,16	0.685
Cenizas, g	303,71 ± 94,14 ^b	315,09 ± 182,43 ^b	502,95 ± 175,18 ^a	544,97 ± 157,64 ^a	1.84e-06
CONSUMO					
	Sistemas de Siembra				
Información general	AD	SC	SF	SSPI	P_value
Potreros evaluados, n	3	5	9	11	
Peso de los animales, kg	287 ± 39,03	426,60 ± 41,26	360 ± 71,54	386,36 ± 72,10	0.2337
Descanso de la pradera, d	56,67 ± 5,77	50,4 ± 9,52	48,77 ± 8,98	50,9 ± 8,61	0.281
Ocupación de la pradera, d	4,96 ± 2,69	14,99 ± 18,60	17,61 ± 12,81	13,54 ± 12,90	0.868
Área, m ² /100 kg PV/día	13,39 ± 3,63 ^a	13,94 ± 2,67 ^a	8,68 ± 2,29 ^c	10,63 ± 2,89 ^b	0.0088
Consumo, unidad /100 kg PV/día					
Forraje verde, kg	9,39 ± 1,64 ^c	10,032 ± 1,60 ^{bc}	11,53 ± 2,54 ^{ab}	11,86 ± 0,897 ^a	0.018
Materia seca, kg	1,86 ± 0,160	2,02 ± 0,24	2,17 ± 0,47	2,34 ± 0,424	0.157
Proteína cruda, g	141,36 ± 4,52 ^b	151,99 ± 34,92 ^b	352,30 ± 147,89 ^a	293,77 ± 85,66 ^a	0.0018
FDN, g	1288,60 ± 12,11 ^a	1453,95 ± 218,32 ^a	1383,42 ± 351,83 ^a	1374,73 ± 287,09 ^a	0.0103
FDA, g	713,80 ± 51,14	823,64 ± 143,19	829,47 ± 174,18	889,84 ± 168,4	0.107
Grasa, g	56,60 ± 10,36 ^a	55,78 ± 10,94 ^a	42,77 ± 16,45 ^b	43,02 ± 14,76 ^b	0.000616
Cenizas g	212,37 ± 42,07 ^{bc}	206,24 ± 59,51 ^c	258,11 ± 55,82 ^b	301,97 ± 63,71 ^a	0.012
Consumo, %					
Consumo, Kg Ms /Kg PM	7,66 ± 0,72	9,2 ± 1,17	9,39 ± 2,08	10,31 ± 1,84	0.172
Eficiencia de pastoreo, %	68,34 ± 8,5	55,24 ± 21,69	53,11 ± 14,01	63,84 ± 18,53	0.175

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



2.1.40 Figura 2.3. Análisis de componentes principales (PCA) y regresión de la oferta forrajera con el consumo estimado con metodología de aforo y CNCPS

En la Tabla 2.2, se observa que el área ($\text{m}^2/100 \text{ kg PV/día}$) es un indicador de carga animal real de la fracción existente entre el área y el peso vivo de los animales a una relación de 100 kg de PV, siendo los potreros de mejor carga animal aquellos con menor valor en este indicador: AD y SM son los tratamientos de menor carga animal de la evaluación. En ambos sistemas, la dieta base se restringe al consumo de una gramínea, especies para las cuales hay que destacar su capacidad de generar biomasa y de ser la fuente principal de la dieta, pues garantizan consumos entre el 10 y el 12 % del peso vivo. Los SF están entre los sistemas con mayor número de animales por unidad de área, en donde en las primeras estancias del cultivo existe la protección de la cerca eléctrica; pero es palpable la dificultad de los productores para realizar un mejor uso de los forrajes que allí se producen, pues la demanda de recurso humano para el corte no siempre está disponible y debe ser mejor estudiada a nivel de costo beneficio para la empresa, pues de los cuatro sistemas, este es el que presentó un eficiencia de pastoreo del 53.2 %, con la tendencia más baja del estudio. El crecimiento arbustivo de las especies que se usan en los SF se ajusta a las necesidades de los productores de disponer de un área adecuada para el pastoreo de los animales mientras se avanza hacia la implementación de sistemas como los SSPi; de ahí su gran valor biológico para la reconversión de praderas. La oferta de minerales del SSPi fue significativamente mayor a la del SF y esta a su vez, significativamente mayor a la del AD y SM. Una posible razón de esto es el aumento del número de arbustos por unidad de área, los cuales tienen mayor contenido de minerales que las gramíneas.

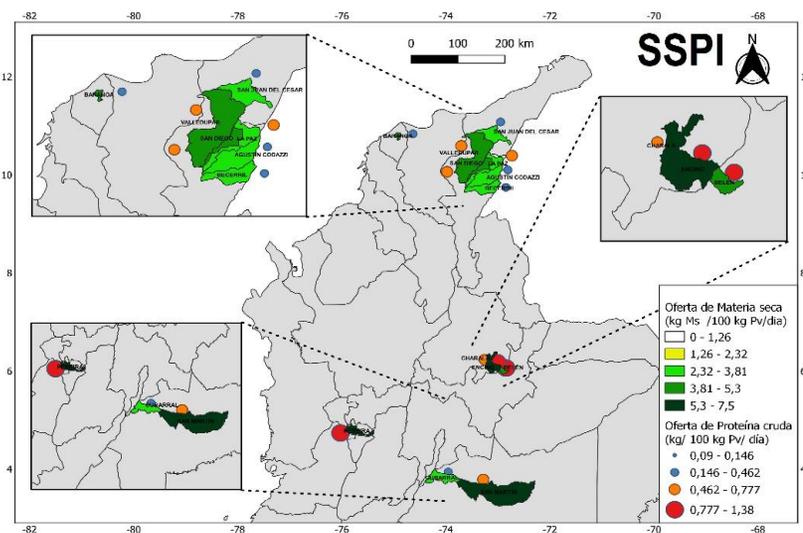
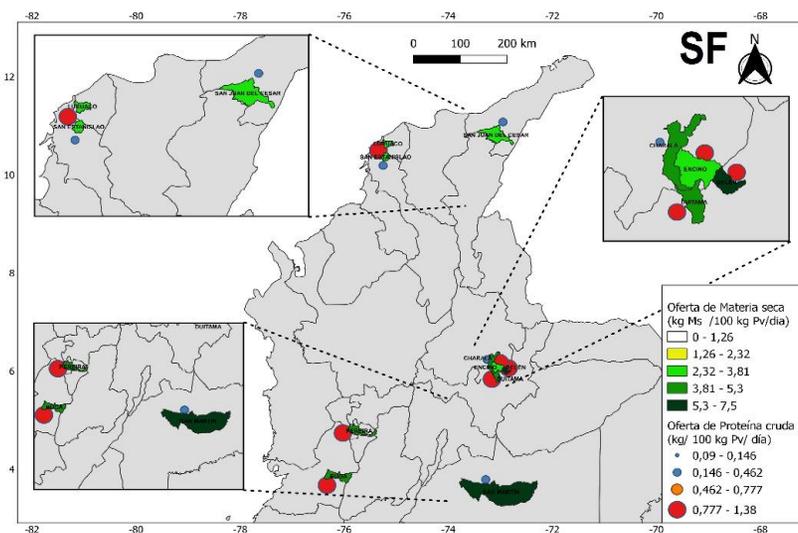
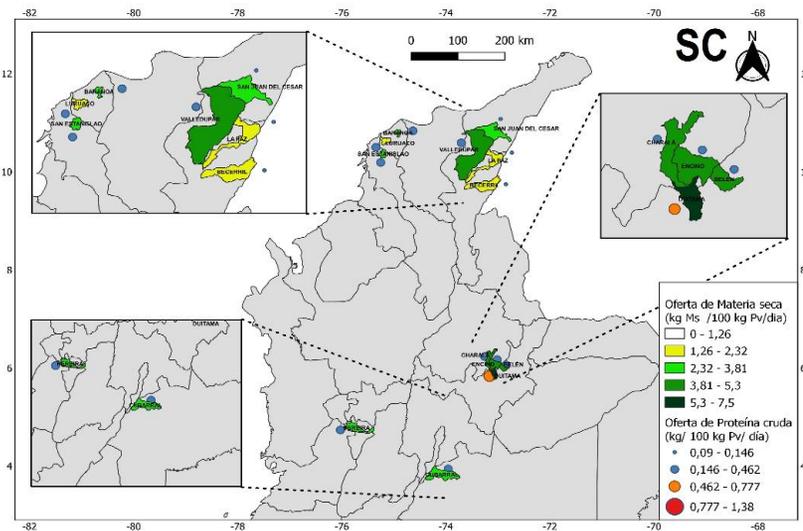
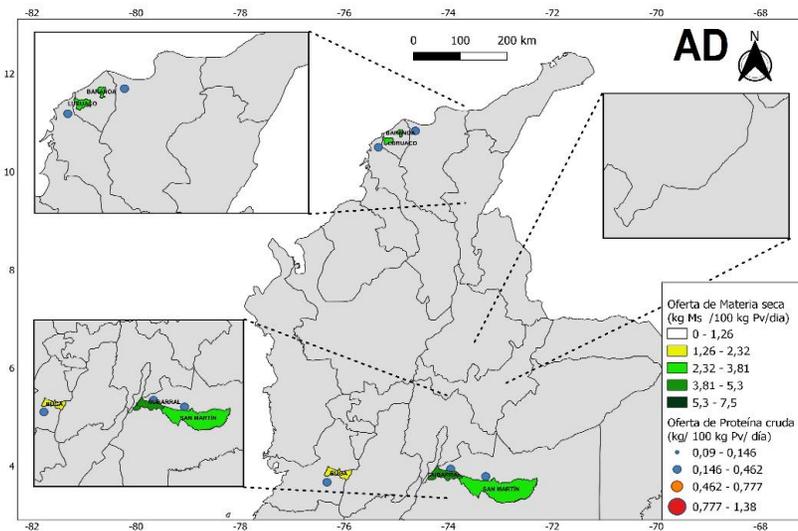
El análisis exploratorio usando PCA identificó que el 83.2 % de la varianza de las cinco variables usadas para elaborar el PCA (cuatro de oferta y una de carga animal), se explicó por las dos primeras componentes principales (Figura 2.3 A). El primer componente explicó el 59.5 % de la varianza y se configuró por la combinación lineal de Oferta de FDN, cenizas, grasa y proteína. El segundo componente explicó el 23.6 % y está comprendido por la combinación lineal de oferta de proteína y cenizas. Hubo una correlación baja pero positiva entre las variables de oferta de nutrientes y el consumo de estos.

En el caso de las estimaciones de consumo por la metodología de aforo, se encontró un consumo medio máximo esperados de los animales en alrededor de 2.247 kg MS/100kgPv/día con un $r^2= 0.223$ (Figura 2.3 B) y consumos medios máximos esperados de 1.91 kg MS/100kgPv/día en las estimaciones realizadas por el software CNCPS, con un $r^2= 0.4734$ (Figura 2.3 C).

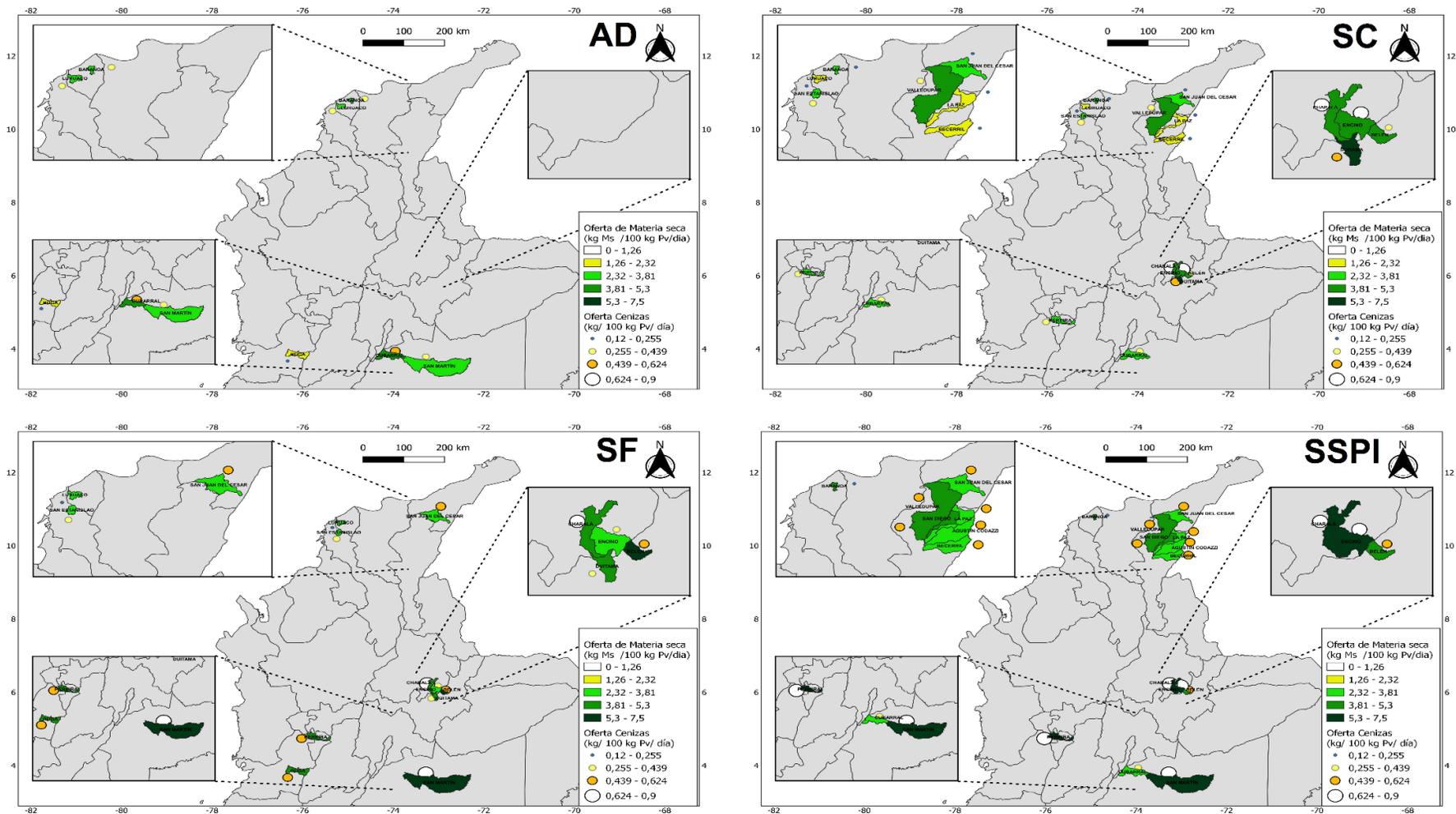
En la evaluación zonal del desempeño productivo de los arreglos, es importante resaltar el aumento de oferta de MS y PC de los SF y SSPi con respecto a AD y SM (Figura 2.6 A), principalmente en la Región de ganadería tradicional del valle del Río Cesar, Ecorregión Cafetera y Valle Alto del Río Cauca y Regiones Lecheras de Boyacá y Santander (véase Figura 2.4). El contenido de ceniza siguió el mismo patrón que el de PC (Figura 2.6 D), pero al comparar por zonas este contenido fue mayor en el Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta y las Regiones Lecheras de Boyacá y Santander (véase figura 2.5).

La oferta de FDN no presentó un patrón tan marcado entre los sistemas evaluados, pero entre regiones es muy claro como la zona de la Regiones Lecheras de Boyacá y Región de ganadería tradicional del valle del Río Cesar presentan los mayores aportes de fibra en la dieta de los animales. En la primera zona de vida, esto está asociado a la mayor producción de MS, parámetro con el que el FDN posee una proporcionalidad positiva (Figura 2.6 C). Ya en la zona de Región de ganadería tradicional del Valle del Río Cesar, la explicación más probable es la baja calidad de las pasturas a las que tienen acceso los animales, pues es un ambiente con una época de verano muy marcada, lo que afecta la lignificación de estos.

La oferta de grasa, al igual que la de FDN, no presentó diferencias claras entre sistemas, pero a nivel regional, la zona Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta tuvo la mayor oferta de grasa de todo el estudio (Figura 2.6 B).



2.1.41 Figura 2.4. Mapa de oferta forrajera de MS y su respectivo contenido proteico.



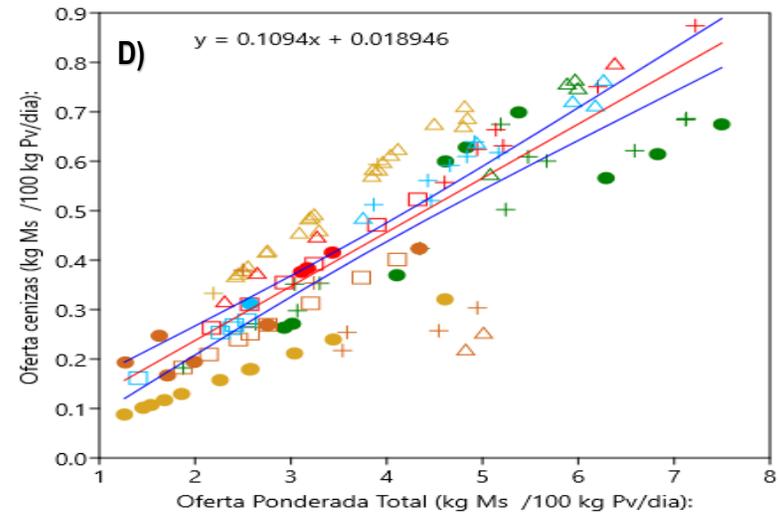
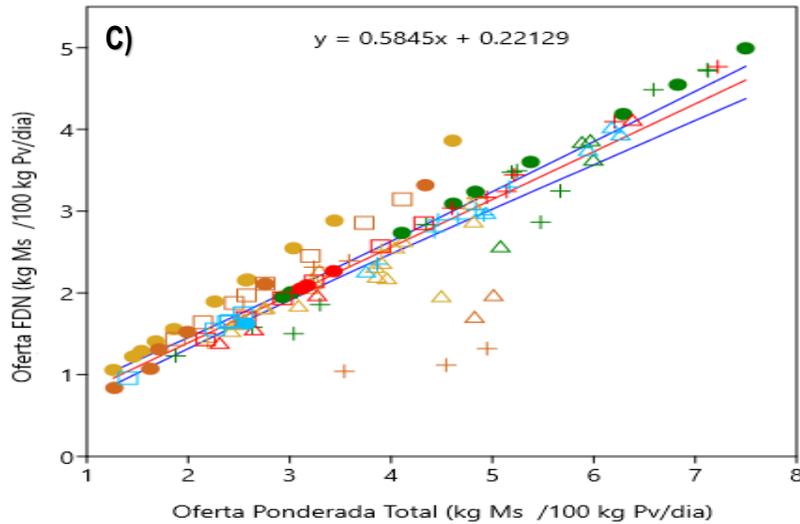
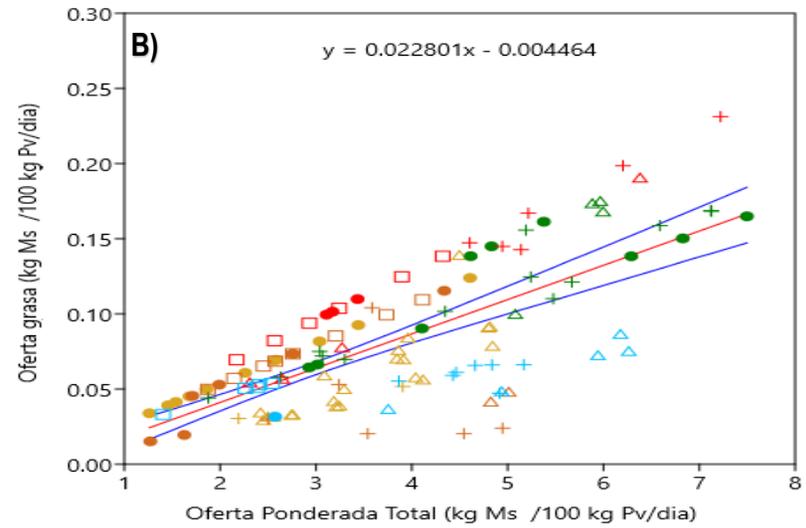
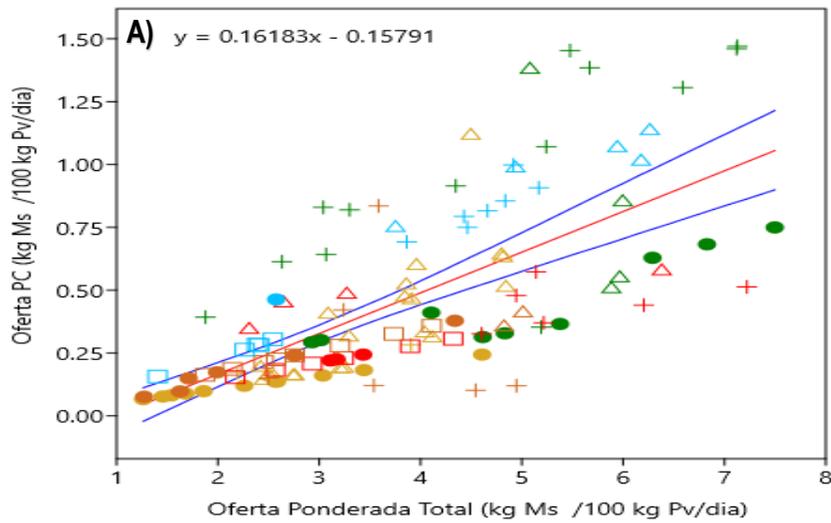
2.1.42 Figura 2.5. Mapa de oferta forrajera de MS y su respectivo contenido de minerales.

2.1.43 La oferta forrajera y su relación con el consumo bovino

La estimación del consumo de materia seca (CMS; kg /100 kg PV / día) no presentó diferencia entre los arreglos de siembra comparados (Tabla 2.2). Es importante resaltar el diferencial en consumo de proteína, el cual fue al menos dos veces mayor en los SF y SSPi que en los AD y SM. El consumo de grasa, tuvo una relación inversa con el consumo de proteína, siendo mayor en los AD y SM. Una posible explicación a esto es la mayor participación de las gramíneas en las dietas de AD y SM, las cuales poseen mayores contenidos de grasa que la *T. diversifolia*, que sería un componente importante en la dieta en los sistemas SF y SSPi. Por su parte, el consumo de cenizas (minerales) fue mayor en los SSPi, seguido de los SF y luego de los AD y SM.

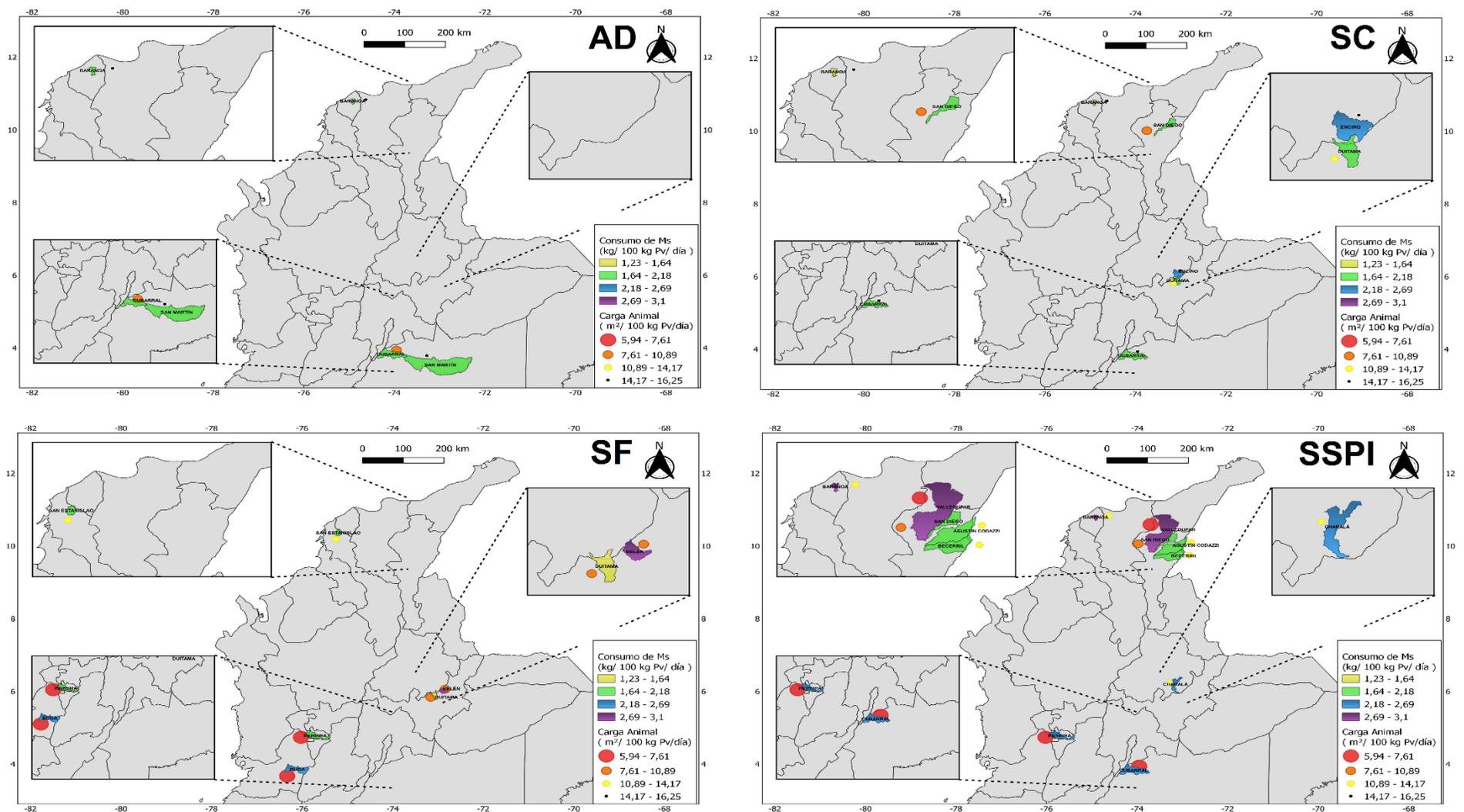
En la evaluación regional del consumo encontrado en los diferentes arreglos, es importante resaltar el aumento de carga animal de los sistemas de siembra SF y SSPi al contraste de AD y SM en todas las zonas de ganadería evaluadas por este estudio (Figura 2.5); con lo cual se resalta que en sistemas de siembra con una mayor complejidad botánica caso SSPi y SF, no solo permiten un mayor consumo por animal en forraje verde (resaltando el aporte de agua en zonas donde escasea este recurso), sino que también permiten un suministro mayor de proteína y minerales principalmente debido a un número mayor de animales por área de producción.

En la Tabla 4 se presenta la comparación en la estimación del CMS realizada con el método del aforo y con CNCPS (Fox et al 2004).



2.1.44

Figura 2.6. Valores de nutrientes ajustados en función de la oferta forrajera e intervalos de confianza del 95%.



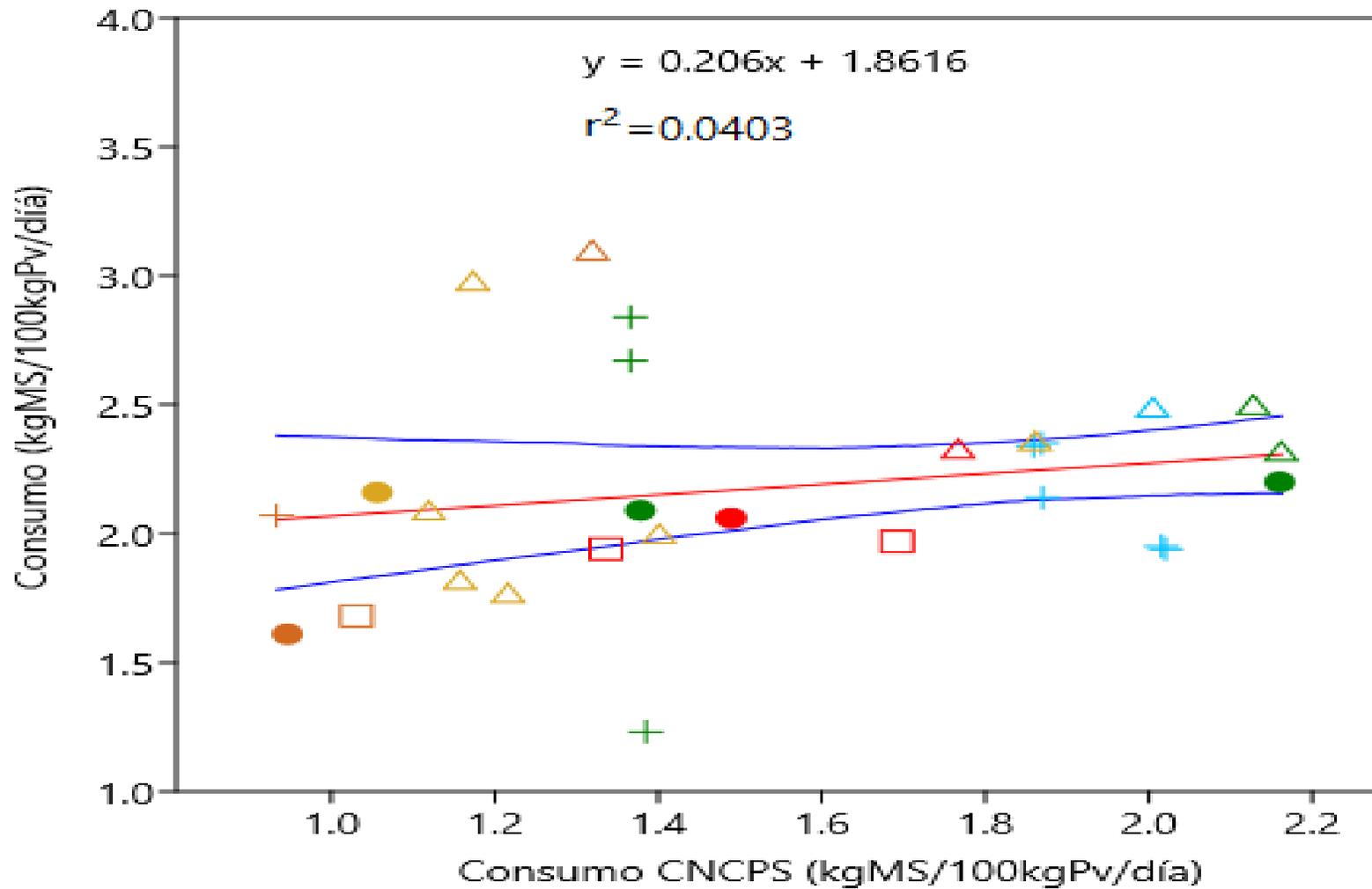
2.1.45 Figura 2.7. Mapa de Consumo de materia seca (CMS) y su respectiva carga animal.

El análisis de varianza entre las dos metodologías de estimación del consumo presentó diferencias estadísticas, indicando que la metodología del aforo estima un consumo superior en 0.64 kg de MS por cada 100 kg PV /día que la predicción hecha por CNCPS, recordando que esta última podría presentar dificultades para la estimación del consumo en condiciones tropicales (Correa, 2009).

2.1.46 Tabla 2.3. Consumo de materia seca (CMS; kg/100 kg PV /día) y comparación de la estimación del CMS utilizando técnica de aforos y CNCPS (Fox et al 2004).

Estimador			Promedio ± D.E.					
Técnica de Aforo			2.18 ± 0.409					
CNCPS			1.54 ± 0.399					
EEM			0.163					
P_value			2.32e-07					
Ecuación	R ²	CMEP (kg/100 kg PV /d) ²	CMEP			EMP (kg/d100 kg PV /d)	ERP (%)	Dif (kg/100 kg PV /d)
			Medio	Lineal	Aleatorio			
CNCPS	0.0403	0.6849	0.4096	0.1284	0.1468	0.8275	0.379	0.64

El r² obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de CMS por el aforo y el encontrado con CNCPS fue bajo y el CMEP fue alto (véase Gráfico 2.8). Esto sugiere un enfoque diferente en la heurística de las metodologías, pero que podrían tomarse como mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos en el consumo bovino de animales en pastoreo, con baja inversión y con aplicabilidad en campo si se cuenta con técnicos capacitados.



2.1.47 Figura 2.8. Ecuaciones de regresión entre el CMS estimado con CNCPS (Fox et al 2003) y la metodología de aforo.

2.4. Conclusiones

Este estudio mostró que la implementación de los SSPi y SF aumenta la oferta forrajera y el consumo de nutrientes como la proteína y los minerales en comparación con los demás sistemas de producción ganadera evaluados (SM y AD). De ahí la importancia de poder masificar el uso de SSPi como práctica diseñada a aumentar la eficiencia productiva de las empresas ganaderas. En vista de que este es el primer estudio de este tipo, se hace necesario extender esta evaluación para enriquecer esta información y estimar el diferencial productivo entre SSPi y otros sistemas productivos.

La estimación del consumo por método agronómico se considera pertinente y económicamente viable para su aplicación en campo, pero exige la capacitación de personal y la uniformización de las diferentes metodologías existentes, en busca de generalizar su utilización y corregir su sesgo a sobreestimar ofertas y consumos forrajeros. Además, es pertinente aumentar la cantidad de información disponible en las áreas de oferta y consumo de forraje en diferentes sistemas productivos, como una fuente de información y manejo de praderas que permita aumentar la competitividad de las ganaderías bovinas en Colombia y el trópico.

2.5. Bibliografía

Andrade, C., Carneiro, J., Valentim, J., 2002. Efeito Do Sombreamento Sobre As Taxas De Acumulação De Matéria Seca De Quarto Gramíneas Forrageiras. Anais Da Reuniao Annual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia 39.

Aristizábal, J., Londoño, W., 2002. Modelo De Pastoreo De Hatos Lecheros; En: Iv Seminario Internacional Competitividad En Carne Y Leche. Cooperativa Colanta, Medellín.

Auldist, M. J., Thomson, N. A., Mackle, T. R., Hill, J. P., Prosser, C. G., 2000. Effects of pasture allowance on the yield and composition of milk from cows of different β -lactoglobulin phenotypes. *Journal of Dairy Science*, 83(9). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75088-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75088-0)

Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., Delahoy, J. E., 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 86, Issue 1). [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)

Cardona, C. A. C., Ramírez, J. F. N., Morales, A. M. T., Restrepo, E. M., Orozco, J. D. C., Vera, J. K., Sánchez, F. J. S., Estrada, M. X. F., Sánchez, B. S., Rosales, R. B., 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2).

Carulla, J., Cárdenas, E., Sánchez, N., Riveros, C., 2003. Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana. Grupo de Investigación En Nutrición Animal, Departamento de Ciencias Para La Producción Animal.

Chará, J., Rivera, J., Barahona, R., Murgueitio R., E., Deblitz, C., Reyes, E., Mauricio, R. M., Molina, J. J., Flores, M., Zuluaga, A., 2017. Intensive Silvopastoral Systems: Economics and Contribution to Climate Change Mitigation and Public Policies. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_16

Correa, H. J., Pabón, M. L., Carulla, J. E. (2009). Estimation of dry matter intake of lactating Holstein cows under grazing in Antioquia . In *Livestock Research for Rural Development* (Vol. 21, Issue 4).

FEDEGAN., 2016. Ganadería Colombiana Sostenible | Fedegan. In *Federación Colombiana de Ganaderos* (Issue September).

Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Tylutki, T. P., Russell, J. B., van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., Overton, T. R., 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1–4). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.006>

Harmoney, K. R., Moore, K. J., George, J. R., Brummer, E. C., Russell, J. R., 1997. Determination of pasture biomass using four indirect methods. *Agronomy Journal*, 89(4). <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040020x>

Haydock, K. P., Shaw, N. H., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76). <https://doi.org/10.1071/EA9750663>

Hutchinson, K. J., McLean, R. W., Hamilton, B. A., 1972. The visual estimation of pasture availability using standard pasture cores. *Grass and Forage Science*, 27(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1972.tb00682.x>

ICA., 2017. Censo Pecuario Nacional Del Ica 2017. Instituto Colombiano Agropecuario .

López, I., Fontenot, J. P., García, T. B., 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 2(2).

Mauricio, R. M., 2017. Feeding ruminants using *Tithonia diversifolia* as forage. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 5(4). <https://doi.org/10.15406/jdvar.2017.05.00146>

Mayes, R. W., Dove, H., 2000. Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores. *Nutrition Research Reviews*, 13(1). <https://doi.org/10.1079/095442200108729025>

Mayes, R. W., Lamb, C. S., Colgrove, P. M., 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *The Journal of Agricultural Science*, 107(1). <https://doi.org/10.1017/S0021859600066910>

Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M., Molina, J. J., 2015. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4).

Murgueitio, E., Barahona, R., Flores, M. X., Chará, J. D., Rivera Herrera, J. E., 2016. Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba*, 54(1). <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774>

Murphy W. M., Silman J. P., Mena A. D., 1995. A comparison of quadrat, capacitance meter, sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow grass-dominant white clover sward. *Grass Forage Sci* 50, 452-455.

Ntc 668., 1973. Alimentos Y Materias Primas. Determinación De Los Contenidos De Grasa Y Fibra Cruda. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (Icontec).

Ntc 4657., 1999. Alimento Para Animales. Determinación Del Contenido De Nitrógeno Y Cálculo Del Contenido De Proteína Cruda. Método Kjeldahl. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (Icontec).

Raymond, W. F., 1969. The Nutritive Value Of Forage Crops. *Advances in Agronomy*, 21(C). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60095-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60095-4)

Raymond, W. F., Minson, D. J., 1955. The use of chromic oxide for estimating the faecal production of grazing animals. *Grass and Forage Science*, 10(4). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1955.tb00033.x>

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rosales, R. B., Pinzón, S. S., 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 6(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:39

Souza De Abreu, M., Ibrahim, M., Harvey, C., Jimenez, F., 2000. Caracterización Del Componente Arbóreo En Los Sistemas Ganaderos De La Fortuna De San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería De Las Américas* 7(26): 53-56.

Thiex, N., Novotny, L., Crawford, A., 2012. Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 revisited. In *Journal of AOAC International* (Vol. 95, Issue 5). <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10).

Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P. H., Rosales, M., Ibrahim, M., Steinfeld, H., 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change*, 17(1). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.007>

2.1.48 3. Capítulo 3: Efecto de los sistemas silvopastoriles intensivos en el comportamiento ingestivo bovino en tres regiones ganaderas de Colombia.

S. Montoya Uribe^{abc}, J. D. Chará Orozco^{1c}, E. Murgueitio Restrepo^c, G. A. Correa^b, R. Barahona-Rosales^b

^aFacultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, smontoyau@gmail.com

^bFacultad de Ciencias Agrarias, Departamento de producción animal, Universidad Nacional de Colombia, Street 59 A # 63-20 (+57 4) 4309000 Medellín-Colombia

^cCentro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Carrera 25 No 6-62 Cali-Colombia,

Sebastián Montoya Uribe¹²³; Julian David Chará Orozco²; Enrique Murgueitio Restrepo²; Guillermo Antonio Correa-Londoño^{IF3}; Rolando Barahona-Rosales³

*²Corresponding author: E-mail: smontoyau@gmail.com

Resumen

En búsqueda de cuantificar el comportamiento bovino (consumo, rumia y descanso) en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), se llevó a cabo un estudio en tres predios localizados en zonas de vida contrastantes del territorio colombiano. Se determinó el efecto de la sombra y la oferta forrajera sobre la conducta animal. Para la evaluación del desempeño productivo de los hatos, se compararon animales estabulados y animales en pastoreo, estando los primeros en un modelo de evaluación individual del desempeño productivo con una dieta típica de un

*Autor responsable: Facultad De Ciencias Agropecuarias (FCA). Universidad Católica De Oriente (UCO). Sector 3, cra 46 No. 40B 50, Rionegro, Antioquia. Correo electrónico: smontoyau@gmail.com

sistema silvopastoril, mientras que los segundos se encontraban en condiciones naturales, grupales y alimentarias propias del pastoreo. Para el grupo en pastoreo, dos días antes de iniciar la evaluación de comportamiento animal, se calculó la oferta forrajera y el consumo de forraje utilizando una técnica de doble muestreo. Asimismo, se tomaron de cada hato 2 animales representativos de la correspondiente población, los cuales fueron estabulados con 15 días de acostumbramiento a la dieta y 9 días de evaluación. Se evaluó el consumo de Materia seca y de agua bebida a través de estadística descriptiva. Se monitorearon las siguientes actividades por 48 h consecutivas: consumo de forraje, rumia de pie, rumia estando acostados, descanso de pie y descanso estando acostados. Los datos registrados fueron procesados mediante un análisis de correspondencias. La actividad de consumo ocurrió generalmente en horas diurnas y a la que los animales dedicaron más tiempo (entre 7 a 10 h/día), representando el 35% de su actividad diaria y un consumo de 1.44, 0.713 y 0.490 kg MS/animal/hora en los tres predios. Los animales tendieron a rumiar principalmente estando acostados durante las horas nocturnas con un promedio de 8 h, representado en el 30.5 % del tiempo. La rumia de pie se identifica como un mecanismo para acomodar el tamaño de partícula rápidamente, con una dedicación temporal 1.3 h al día, que corresponden al 5.2% del tiempo. A la actividad de descanso de pie, los animales dedicaron 2 h/día, que corresponden al 9 % del tiempo total. El descanso estando acostados, se caracterizó por falta de respuesta a estímulo ambiental (4.5 h o 19.5 % del tiempo diario). No hubo evidencia en ningún momento de sintomatología de estrés causado por calor, aun en periodos descritos como de riesgo en la clasificación para ganado Holstein, usando los datos ambientales de la ecuación de índice de temperatura y humedad (ITH).

Palabras clave: *sistema silvopastoril intensivo (SSPi), consumo de forraje, rumia de pie, rumia estando acostados, descanso de pie y descanso estando acostados.*

Abstract

In search of quantifying bovine behavior (grazing, rumination and resting) in an intensive silvopastoral system (SSPi), a study was carried out in three farms located in contrasting life zones in Colombia. The effect of shade and forage supply on animal behavior was determined. For the evaluation of the productive performance of the herds, housed animals and grazing animals were compared, the former being in a model of individual evaluation of productive performance with a diet typical of a silvopastoral system, while the latter were in natural, group and feeding conditions typical of grazing. For the grazing group, two days before starting the evaluation of animal behavior, forage supply and forage consumption were calculated using the double sampling technique. Likewise, 2 animals representative of the corresponding population were taken from each herd, which were stabled with 15 days of habituation to the diet and 9 days of evaluation. Dry matter and drinking water consumption were evaluated through descriptive statistics. The following activities were monitored for 48 consecutive h: forage consumption, standing rumination, lying rumination, standing rest and lying rest. The recorded data were processed by correspondence analysis. Consumption activity generally occurred during daylight hours and was the one to which the animals dedicated more time (between 7 to 10 h/day), representing 35% of their daily activity and a consumption of 1.44, 0.713 and 0.490 kg DM/animal/hour in the three farms. The animals tended to ruminate mainly while lying down during the night hours with an average of 8 h, representing 30.5% of the time. Standing rumination is identified as a mechanism to accommodate particle size quickly, with a time commitment of 1.3 h per day, corresponding to 5.2% of the time. To the activity of resting while standing, the animals dedicated 2 h/day, corresponding to 9 % of the total time. Resting while lying down was characterized by lack of response to environmental stimuli (4.5 h or 19.5 % of the daily time). There was no evidence at any time of heat stress symptomatology, even in periods described as risk periods in the classification for Holstein cattle, using the environmental data of the equation of temperature and humidity index (ITH) .

Keyword: *intensive silvopastoral system (SSPi), forage intake, standing rumination, lying down rumination, standing rest and lying down rest.*

2.1.49 3.1 Introducción

Colombia es un país de gran diversidad ecosistémica, con una extensión de 1141748 km² de superficie, 67% de la cual corresponde a llanuras, mientras que el restante 33% se distribuye en relieves montañosos, y una pequeña fracción en islas continentales y no continentales. La altitud es el principal factor de influencia del clima del territorio por la presencia de la Cordillera de los Andes, tres de cuyos ramales se encuentran separados por los valles de los ríos Magdalena y Cauca, determinando el tipo de especies que habitan en estos paisajes y localizando la producción lechera especializada casi que exclusivamente a las zonas altas y una ganadería de carne con doble propósito en las zonas bajas del territorio, donde se imponen condiciones ecosistémicas del bosque seco tropical (bs-T; Espinal., 1997), como el calor excesivo y períodos de escasez de lluvias, que se han visto agudizadas por la industria bovina con la tala excesiva de árboles (FEDEGAN., 2014; Malhi., 2014) y la destrucción de hábitats para ampliar las tierras de pastoreo en monocultivos de gramíneas de bajo valor nutricional, bajo rendimiento animal, pastoreos extensivos (FAO., 2013; Alvarenga et al., 2020) y reduciendo la productividad económica y ecosistémica del área, por daños en el suelo (FAO., 2006), pérdida de la diversidad (López., 2019), emisiones de gases efecto invernadero (FAO., 2018) y afectando el ciclo del agua (D'Odorico et al., 2020). El efecto ambiental de las actividades ganaderas que actualmente se presentan en el país ha desencadenado la degradación del ecosistema bs-T, altamente intervenido en Colombia y del cual solamente permanece el 8 % de los 9 millones de hectáreas que originalmente existían (Pizano and García., 2014), sin embargo, la ganadería genera ingresos para las comunidades rurales y fomenta el desarrollo de pequeñas empresas en el sector agrícola y contribuye al crecimiento económico nacional (FEDEGAN., 2018), con lo cual se evidencia un conflicto de intereses que se agudizan por la falta de conciencia colectiva de los ganaderos para detener el deterioro ambiental causado (Etter et al., 2006). En esta disyuntiva la integración del sector forestal con el ganadero, como sucede con los SSPi, es una alternativa

para diversificar la producción y mejorar la rentabilidad de los sistemas tradicionales de producción bovina en Latinoamérica (FAO., 2010). La presencia de una vegetación estratificada brinda mayor estabilidad económica al productor y eleva la capacidad para generar bienes y servicios ecosistémicos (Montagnini and Nair., 2004), destacándose un flujo de efectivo rápido por beneficios de la cría bovina y un subsiguiente flujo por la forestación de sus parcelas. Sin embargo, el efecto de los sistemas silvopastoriles en el microclima por la presencia de árboles en estos sistemas no solo proporciona un ambiente más fresco y cómodo para los animales (Bennett et al., 1985; Pagot, 1993; Paul et al., 1999 otras; Oliveira et al., 2019), la limitación de la luz solar modifica la densidad y la calidad forrajera de las praderas e impone condiciones adversas a especies megatérmicas (Souza de Abreu et al. 2000; Andrade et al., 2002), siendo estas últimas la base de la dieta del ganado que pastorean en Colombia (Montoya et al., 2023) y a su vez afectando el patrón de pastoreo (selectividad, distancia recorrida, competencia, entre otros), variando principalmente la actividad física en búsqueda de alimento y con ello los requerimientos nutricionales para su mantenimiento (Schütz et al., 2010).

Quedan entonces preguntas por responder, pues el bienestar animal y sus implicaciones en la producción no está determinada únicamente por el confort térmico y existen muchas otras variables a considerar como: la oferta forrajera, el consumo, acceso al agua, tipo de animal y condiciones ambientales en el que cohabitan, necesarias para el entendimiento de las interacciones que se dan con el medio ambiente y el comportamiento grupal propio del pastoreo; a través de la inclusión de herramienta de evaluación del comportamiento en pastoreo se propone incluir correctivos a los parámetros obtenidos de pruebas bajo confinamiento, buscando maximizar la ingesta y así el performance productivo de los animales y describir la distribución de las actividades de pastoreo, rumia y descanso en el huso horario para la correcta implementación de planes de manejo, alimentación y/o sanidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los sistemas silvopastoriles sobre el comportamiento ingestivo de bovinos,

cuantificando el consumo de forraje y agua en pastoreo de tres núcleos regionales ganaderos colombianos, con diferentes manejos culturales y socios silvícolas.

2.1.50 3.2 Materiales y métodos

2.1.51 3.2.1 Procedimientos general

Para medir el consumo de alimento (kg/animal/día) y agua diaria (l/animal/día), las unidades experimentales fueron configuradas como el registro individual encontrado en confinamiento por 2 animales que fueron separados de su rebaño y comparados con el consumo promedio encontrado en pastoreo del resto de la manada, empleando el método de aforo por "rendimiento comparativo" (Haydock and Shaw, 1975). Los animales fueron confinados en una estructura móvil con un área de 12 m² que garantizo el suministro constante de pasto, suplementos, agua y la protección directa a condiciones ambientales adversas. Las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de las jaulas fueron monitoreadas constantemente y el uso del confinamiento tuvo como propósito principal evaluar el desempeño productivo individual de una dieta típica de un sistema silvopastoril y la evaluación en pastoreo busco detallar un comportamiento ingestivo más natural y propio de las actividades gregarias de esta especie. Para los animales confinados los forrajes fueron cortado, pesado y otorgado en 5 raciones diarias; en el primer experimento (Rionegro- Antioquia), las dietas evaluadas fueron: 63% de *Cenchrus clandestinus* más 7% de suplemento (maíz amarillo más aceite de palma) y 30% *Tithonia diversifolia*. En el segundo experimento (Bugalagrande- Valle de Cauca), la dieta se componía de 24% de *Cynodon plectostachyus*, 61% de *Megathyrus maximus* y 15% de *Leucaena leucocephala*. En el tercer experimento consistió 66% de *Brachiaria decumbens* y 34% de *Tithonia diversifolia*. Para los animales en potrero se realizó un reconocimiento del sitio asignado diariamente para el consumo del rebaño en las praderas de cada predio y con la ayuda de un GPS marca Garmin Oregon ® 65 se generó un cálculo de áreas y perímetros.

2.1.52 3.2.2 Localización del estudio

Los sitios de localización del presente estudio se describen en la Tabla 3.1

2.1.53 Tabla 3.1. Descripción de los sitios experimentales

Nombre del Predio	Cien Años de Soledad	Hacienda Lucerna	Finca Sinái
Ubicación	Rionegro, Antioquia	Bugalagrande, Valle del Cauca	Pailitas, Cesar
Zona de Vida	Bmh-MB	BsT	Bms-T
Altura sobre el nivel del mar (m)	2060	941	77
Temperatura (°C)	24	26,3	30,7
Humedad Relativa (%)	80	66,5	68,1
Precipitación promedio anual (mm)	2500	1166	750
Sistema SSPi	Botón de Oro (> 5000 arbustos ha ⁻¹) con Kikuyo y árboles dispersos de Aliso (80 árboles/ha)	Leucaena (> 8000 arbustos ha ⁻¹), con Estrella y Guinea	Botón de Oro (4000 arbustos ha ⁻¹), con Brachiaria, Guinea y Franjas de Acacia (120 árboles/ha)
Descripción de los animales (Numero, Tipo, raza, edad, peso vivo, condición corporal, N° lactancias)	4, Vacas Jerhol, 41 meses, 445 Kg, 3.25, 3	18, Novillas Lucerna, 18 meses, 287 Kg, 3.25; --	20, Novillos Brahman, 15 meses, 219 Kg, 6.25, --

Abreviaturas: bmh-MB: Bosque muy húmedo montano bajo; Bs-T: Bosque seco tropical; Bms-T: Bosque muy seco tropical. Botón de oro (*Tithonia diversifolia*); Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); Aliso (*Alnus acuminata*)

Leucaena); (*Leucaena leucocephala*); estrella (*Cynodon plectostachyus*); Guinea (*Megathyrus maximus*); Brachiaria (*Brachiaria decumbens*); Acacia (*Acacia mangium*).

2.1.54 3.2.2 Determinación del consumo de forrajes

- **Animales en pastoreo**

La oferta forrajera diaria (kg MS/animal) se estimó calculando la cantidad de biomasa disponible por la técnica descrita por Haydock y Shaw 1975, que consiste en establecer un conjunto de parcelas de referencia que representan los diferentes rangos de variación en la biomasa del pasto. A estas parcelas se les cosecha, seca y registra la biomasa, lo que se utiliza para asignar una puntuación a cada parcela de calibración. la puntuación de menor numeración representa la menor biomasa, mientras que la puntuación más alta representa la mayor biomasa, los valores intermedios se asignan en función de su comparación con los dos extremos. Luego fueron seleccionadas 3 parcelas de calibración o visuales por cada parcela de referencia, que también fueron cosechadas, secadas, pesadas y registradas como biomasa de las visuales; con la ayuda de una ecuación de regresión lineal se relaciona la biomasa de las parcelas de calibración y la biomasa de las parcelas de referencia, convirtiendo el puntaje asignado visualmente y obteniendo un estimativo de la biomasa de las parcelas en estudio. Para la cuantificación de la biomasa proveniente de arbustos, se utilizó una modificación del mismo método, tomando un metro lineal y cortando tres plantas a 10 cm desde el suelo. Con base en mediciones de las franjas previamente pastoreadas y utilizando la misma metodología, se estimó el consumo de forraje por día (kg MS/animal) como la diferencia entre la oferta en el área destinada para pastoreo y el remanente luego del pastoreo.

- **Animales confinados**

En cada evaluación se seleccionaron 2 individuos para ser estabulados, habiendo sido sometidos a 15 días de acostumbramiento y 9 días de mediciones siguiendo las recomendaciones de Murray et al. (2001) y Molina et al. (2016). Tanto la oferta como las proporciones de forraje se calcularon mediante aforos, simulaciones en la herramienta virtual Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS; Fox et al., 2004) y la literatura (Cuartas et al., 2014; Gaviria et al., 2015; Murgueitio et al., 2015). El consumo de forrajes se calculó como la diferencia entre la oferta y el rechazo del forraje suministrado, contabilizando independientemente las pasturas y los arbustos, lo que permite calcular tanto la selectividad como el consumo individual de cada componente de la dieta.

2.1.55 3.2.3 Determinación del consumo de agua

Luego de determinar todos los puntos de oferta de agua en los potreros, se instaló un contador y bebedero automático con capacidad de lectura del cambio diario del caudal del agua de bebida, obteniendo un valor del consumo ponderado del lote. Los animales en confinamiento contaron con bebederos automáticos individuales con capacidad de lectura del consumo diario de agua o Agua Ingerida Bebida (AIB). Teniendo en cuenta el consumo de forraje verde y su contenido de humedad en cada una de las dietas, se determinó el consumo de Agua Ingerida del Alimento (AIA). Por último, el Agua Total Ingerida (ATI) se calculó como la sumatoria de la AIB más la AIA.

2.1.56 3.2.4 Análisis químico de las materias primas

De cada franja asignada para el pastoreo, se toma una muestra representativa de los forrajes y suplementos alimenticios ofrecidos a los animales. Tales muestras fueron mantenidas bajo refrigeración hasta su transporte hacia el laboratorio, donde fueron secados en estufa de ventilación forzada a 65°C durante 72 horas y luego se molieron a través de una criba de un 1 mm utilizando un molino estacionario. Para cuantificar el contenido de fibra insoluble en detergente neutro y ácido (FDN y FDA, respectivamente) se implementó la metodología de van Soest et al., (1991), los contenidos de energía bruta se determinaron por calorimetría (ISO 9831 - International Organization for Standardization., 1998) la concentración de Proteína cruda (PC) se determinó según el protocolo Kjeldahl (Ntc 4657., 1999), el de extracto de éter por extracción Soxhelet (Ntc 668., 1973) y el de ceniza se midió mediante la incineración directa en una mufla (Thiex et al., 2012).

2.1.57 Tabla 3.2. Composición nutricional de las fuentes ofertadas durante el estudio.

Alimento	MS (%)	FDN (%)	FDA (%)	PC (%)	Grasa (%)	Ca (%)	P (%)	Cen (%)
Cien Años de Soledad								
Kikuyo	14,1	58,0	31,2	18,2	1,79	0,28	0,28	11,03
Botón de oro	19,2	48,5	46,3	20,7	1,04	2,00	0,30	12,45
Concentrado	88,3	8,6	3,5	6,9	18,86	2,63	0,20	1,08
Hacienda Lucerna								
Leucaena	26,7	35,2	28,4	27,9	1,82	0,85	0,24	6,76
Estrella	23,1	72,8	42,2	10,5	1,23	0,24	0,21	9,80
Guinea	21,2	69,4	39,1	12,1	1,83	0,28	0,29	12,61
Finca Sinaí								
Botón de oro	17,7	35,2	34,8	22,5	3,02	2,29	0,44	15,46
<i>B. decumbens</i>	21,3	71,8	46,2	6,1	1,62	0,24	0,13	9,06

Abreviaturas: MS: Materia seca; FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente ácido; PC: Proteína cruda; Ca: Calcio; P: Fósforo; Cen: Cenizas; EB: Energía bruta

2.1.58 3.2.5 Respuesta productiva

El volumen de leche fue registrado durante 9 días en la Finca Cien Años de Soledad, la única con animales lactantes. Cada día se tomaron muestras representativas, que se analizaron en un dispositivo portátil MilkLac® (Boeco, Germany), con el que midieron los porcentajes de grasa, lactosa, sólidos no grasos (SNG) y proteína; adicionalmente se evaluó la densidad, agua adicionada, temperatura y punto crioscópico. La ganancia de peso fue registrada en un periodo de 45 días mediante pesajes con una báscula electrónica acoplada a los embudos presentes en las fincas. En cada pesaje se calculó la conversión de cada sistema,

mientras que la distribución energético-proteica se calculó mediante simulaciones con el software CNCPS (Fox et al., 2004).

2.1.59 3.2.6 Determinación de la temperatura y la humedad relativa

La temperatura ambiental y la humedad relativa fueron monitoreadas durante toda la fase experimental, con la ayuda de termohigrómetros ubicados en cada uno de los potreros usados en la rotación y en cada uno de los corrales. Se generaron registros ambientales cada 30 minutos durante 48 horas. Los valores obtenidos fueron correlacionados con la ecuación de (Kibler, 1964) y analizados teniendo en cuenta la clasificación de riesgo descrita por (Wiersama F, 2005), que ha caracterizado para la raza Holstein niveles de estrés térmico de alerta, peligro y emergencia a valores de 75 %, 80 % y 85% en el índice.

$$ITH = (1,8 \times T^{\circ} + 32) - (0,55 - 0,55 \times HR / 100) \times (1,8 \times T^{\circ} - 26)$$

Donde ITH denota el índice de temperatura y humedad relativa, la temperatura se presenta en grados centígrados, y la humedad relativa, en porcentaje.

2.1.60 3.2.7 Comportamiento animal

El comportamiento de los animales se evaluó por 48 horas consecutivas en los animales confinados e igualmente con los animales en potrero por 4 investigadores previamente entrenados (2 observadores por 12 h) en el método de observación visual "scan-sampling" (Setz., 1991), con un intervalo de 20 minutos entre escaneos, para un total de 144 registros por tratamiento de cada predio; con el cual se buscó asignar dimensiones al tiempo y la conducta propios de un bovino, como

son: pastoreo, rumia de pie, rumia estando acostados, descanso de pie y descanso estando acostados y las relaciones de dependencia con el huso horario (asociado a los ritmos circadianos propios de los animales).

2.1.61 3.2.8 Diseño experimental y análisis estadístico

La oferta forrajera se caracterizó mediante estadísticos descriptivos. Se usó un modelo de análisis de varianza de una vía completamente al azar para comparar el consumo (forraje y agua) y el desempeño productivo entre el grupo de animales estabulados y de los animales en pastoreo. Con la información del comportamiento animal se realizó un análisis de correspondencias. Para todos los análisis se utilizó el software estadístico R, versión 4.2.1 (R Core Team., 2022)

2.1.62 3.3 Resultados

2.1.63 3.3.1 Información general

En Cien Años de Soledad, las vacas en pastoreo recibieron en promedio una franja diaria de 23.34 m²/100 kg Pv/día con una eficiencia en el pastoreo del 42.6 %. En Lucerna, el valor de estos dos parámetros fue de 17.57 m²/100 kg Pv/día y 72.61 % y en Sinaí fue de 21.53 m²/100 kg Pv/día y 62.66 %, respectivamente.

2.1.64 3.3.2 Oferta y Consumo

3.3.2.1 Forraje

En Cien Años de Soledad la oferta (kg Ms/animal/día) fue diferente entre tratamientos, siendo de 24.81 en los animales en pastoreo y de 12.71 en los animales confinados. Sin embargo, no hubo diferencia significativa en el consumo, con promedios muestrales de 12.72 y 10.66 kg Ms/animal/día, respectivamente. Se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la eficiencia del consumo, la cual fue del 42.5% en animales de pastoreo y 74.5% en confinamiento. En Lucerna, la oferta forrajera fue de 1.06 kgFV/m²/día, sin diferencia entre tratamientos (12.0 versus 10.71 en los animales en pastoreo y confinados, respectivamente). Hubo diferencia significativa en consumo, que fue de 9.70 y 7.45 kg Ms/animal/día para animales en pastoreo y confinados, respectivamente, hubo diferencia en la cantidad de proteína cruda ingerida por los animales (kg PC/animal/día), siendo de 2.8 en los animales en pastoreo y 1.16 en los animales confinados. En Sinaí, se reportó la menor oferta de forraje y por consiguiente, el menor consumo de los tres predios evaluados, lo que obedeció a una menor disponibilidad de agua en el ecosistema de Bms-T donde se encontraban esta finca. La oferta forrajera fue de 0.80 kg FV/m²/día y el consumo presentó una diferencia de 0.85 kg Ms/animal/día entre los animales en pastoreo y los confinados, con un consumo de 4.7 y 3.85 kg Ms/animal/día respectivamente.

Agua

En Cien Años de Soledad, el consumo diario de AIB por los animales fue de 46.82 Y 39.45 L/animal/día en animales en pastoreo y confinados respectivamente. En Lucerna, la AIB tuvo un consumo de 12.74 y 12.39 L/animal/día en animales en pastoreo y confinados; sin existir diferencia estadística. Finalmente, en la finca Sinaí, la AIB fue de 10.62 y 4.32 L/animal/día en novillos en pastoreo y confinados, respectivamente. Esta, diferencia es debida en gran medida a las condiciones

climáticas extremas de la zona y a cómo el no recibir luz solar directa, afecta la termorregulación y el consumo de agua, incluso en animales adaptados. El consumo de ATI en vacas lecheras fue de 95.44 y 75.37 L/animal/día en animales en pastoreo y confinados. En Lucerna, este mismo parámetro fue de 44.10 y 36.33 L/animal/día en animales en pastoreo y confinados respectivamente. En Sinaí, el consumo de ATI de novillos de levante de la raza Brahman en pastoreo y confinados fue de 28.79 y 18.12 L/animal/día, respectivamente ($P < 0.05$).

2.1.65 3.3.3 Producción de leche y ganancia de peso

En Cien Años de Soledad no hubo diferencia en la producción diaria de leche, con los animales en pastoreo produciendo 11.21 y los animales confinados 11.89 l/día. En Lucerna, la ganancia de peso fue de 642 g/día en los animales de pastoreo y negativa -0.0036 g/día para los animales confinados ($P < 0.05$), sugiriendo un posible estrés debido al confinamiento. Finalmente, en la Finca Sinaí ambos tratamientos demostraron ganancia de peso diaria positiva pero diferente entre tratamientos ($P < 0.05$), siendo de 432 g/día para animales en pastoreo y de 183 g/día en animales confinados.

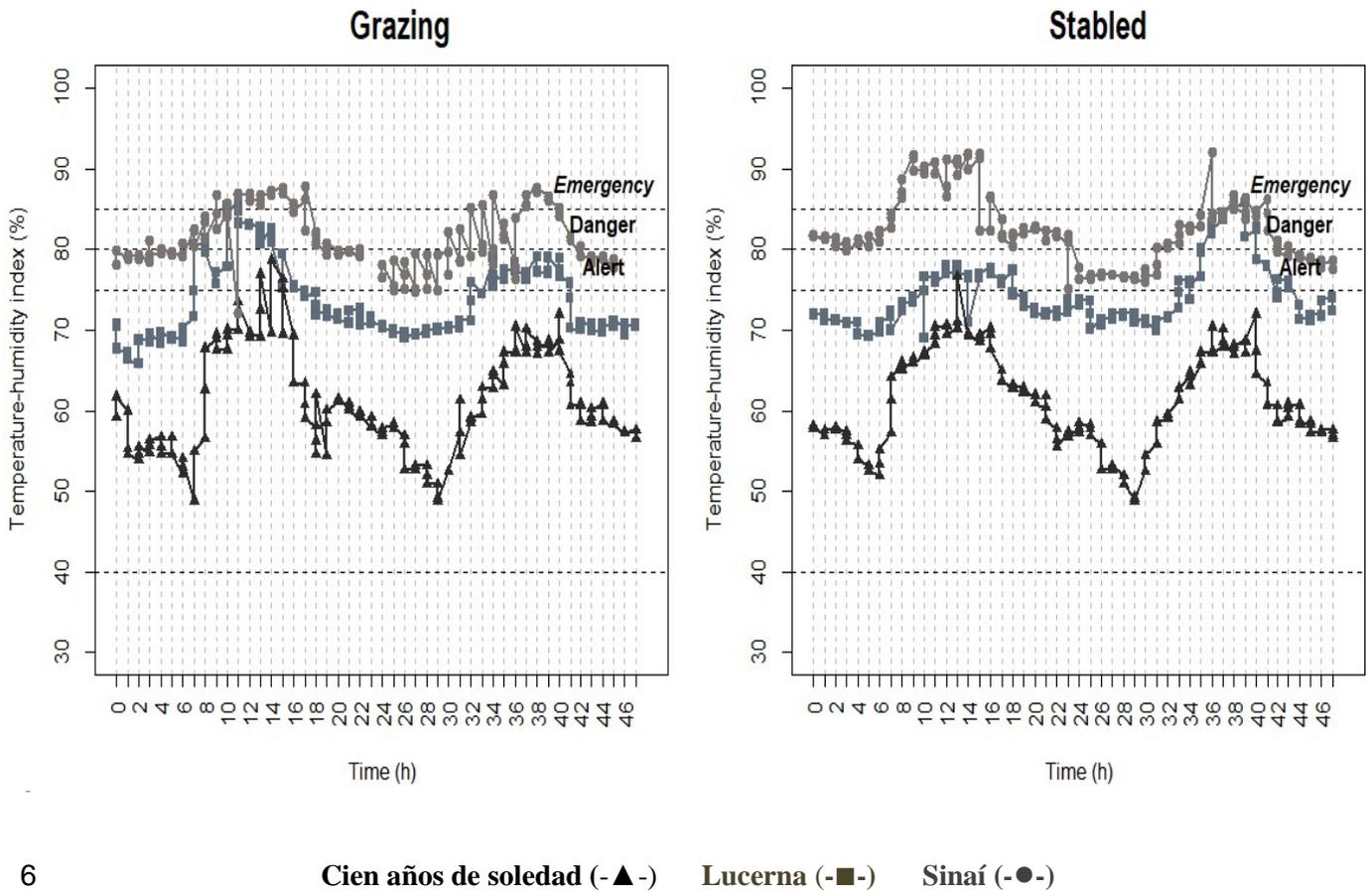
2.1.66 Tabla 3.3. Media y desviación estándar de los parámetros que conforman la composición botánica, oferta forrajera, consumo de forraje y la producción.

	Cien Años De Soledad		Lucerna		Sinaí	
Composición forrajera del predio, kgFV/m²						
<i>Cenchrus clandestinus</i>	1.29 ± 0.67					
<i>Tithonia diversifolia</i>	0.47 ± 0.27					
<i>Cynodon plectostachyus</i>			0.28 ± 0.084			
<i>Megathyrsus maximus</i>			0.62 ± 0.14			
<i>Leucaena leucocephala</i>			0.16 ± 0.05			
<i>Brachiaria decumbens</i>					0.71 ± 0.049	
<i>Tithonia diversifolia</i>					0.09 ± 0.040	
Información general						
N°. Animales	4		18		20	
Peso de los animales, kg	454.71 ± 67.81		286.47 ± 20.37		218.99 ± 30.58	
Descanso de la pradera, día	31.5 ± 0.945		48.25 ± 2.41		35.75 ± 1.07	
Área disponible, m ² /animal/día	106.13 ± 18.04		50.42 ± 7.05		47.15 ± 8.49	
Área disponible, m ² /100 kg Pv/día	23.34 ± 3.97		17.57 ± 2.45		21.53 ± 3.87	
Oferta de forraje, kg/día						
FV/m ²	1.76 ± 0.24		1.06 ± 0.083		0.80 ± 0.086	
FV/animal	142.87 ± 31.16 ^a		53.26 ± 6.91 ^a		37.67 ± 8.18 ^a	
MS/animal	24.81 ± 4.51 ^a		12.00 ± 1.61		7.87 ± 1.70 ^a	
Consumo Forraje, kg/ animal/ día						
Forraje, FV	59.33 ± 12.83		37.99 ± 4.48 ^a		22.87 ± 2.10 ^a	
Forraje, MS	12.72 ± 0.99		9.70 ± 1.27 ^a		4.70 ± 0.47 ^a	
PC	1.90 ± 0.22		2.08 ± 0.37 ^a		0.42 ± 0.032	
FDN	5.58 ± 0.51		4.55 ± 0.40		3.07 ± 0.38 ^a	
FDA	3.22 ± 0.34		3.26 ± 0.35		2.08 ± 0.23 ^a	
Consumo MS, % PV:	2.58 ± 0.35 ^a		3.56 ± 0.47		2.92 ± 0.29 ^a	
Eficiencia de consumo, %	42.55 ± 11.5 ^b		72.61 ± 14.57		62.66 ± 12.9 ^b	
Consumo Agua, L/animal/día						
Agua Bebida	46.82 ± 7.28		12.74 ± 6.85		10.62 ± 2.03 ^a	
Agua alimento	48.61 ± 9.81		31.36 ± 6.02		18.17 ± 1.64 ^a	
Total Agua Ingerida	95.44 ± 7.46		44.10 ± 3.35		28.79 ± 2.67 ^a	
Producción						
Leche, kg/vaca/día	11.21 ± 1.25		11.89 ± 3.70			
Ganancia de peso, kg/Novilla/día			0.642 ± 0.119 ^a		-0.0036 ± 0.013 ^b	

Abreviaturas: FV: Forraje Verde. MS: Materia Seca; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra en Detergente Neutro; FDA: Fibra en Detergente Acido. ^{a,b} Medias seguidas por letras iguales en la misma fila no son significativamente diferentes (P > 0.05)

1
2
3
4
6
7
8
9
10
11
12

2.1.67 3.3.4 Índice de Temperatura y Humedad (ITH)



2.1.68 Figura 3.1. Índice de temperatura y humedad ajustado por clasificación de riesgo (Wiersama 2005).

Para la zona de vida en la que se encuentra ubicada la finca Cien Años de Soledad (bmh-MB), el ITH registrados fue inferior al punto crítico de confort térmico para

13 ganado de leche, que es del 72 %, acorde con (Wiersama., 2005); En Lucerna entre
14 las 10:00 h y las 14:00 h se encontró un punto crítico de confort en los animales a
15 exposición directa del sol, pero el sistema provee adecuada sombra para las novillas,
16 sin encontrar evidencia de estrés calórico en los animales (ITH promedio de 74%).
17 Los mayores valores de este parámetro fueron encontrados en la Sinaí, oscilando
18 entre 78.6 % y 87.1% en el transcurso del día. Sin embargo, los novillos no sufrieron
19 estrés calórico a ninguna hora del día, debido a la protección solar que provee Acacia
20 mangium entre las 10:00 y las 16:00 h y/o por la condición de los novillos brahman,
21 que son capaces de disipar calor en regiones áridas como esta (bms-T).

22 2.1.69 3.3.5 Comportamiento animal

23 **Consumo de Forraje (CF)**

24 El patrón de CF observado fue relativamente estereotipado: lento desplazamiento a
25 través del terreno, mientras olfatea, el animal mantiene la boca orientada hacia el
26 suelo en caso de gramíneas forrajeras y elevada (sin dificultad) en el caso de arbustos
27 forrajeros. El animal toma una porción de forraje con la lengua, lo introduce a la boca,
28 cortando en el frote de los incisivos inferiores y la almohadilla maxilar acompañado de
29 un balanceo de la cabeza. El bolo alimenticio es tragado sin realizar demasiada
30 masticación y la caminata obedece a un pastoreo selectivo, determinado por la oferta,
31 la calidad forrajera (velocidad de procesamiento del alimento en el tracto digestivo) y
32 el área disponible. Se estimó un tiempo de CF entre 7 y 10 horas (véase tabla),
33 representando en promedio el 35% del tiempo diario total de los animales. El consumo
34 en pastoreo respectivo por hora fue de 8.47, 3.8 y 2.54 Kg FV/animal y de 1.44, 0.713
35 y 0.490 Kg MS/animal en los predios Cien años de soledad, Lucerna y Sinaí,
36 respectivamente.

37

38 **Rumia estando acostados (RA)**

39 Consiste en remasticar el alimento procedente del retículo-rumen. Esto comienza con
40 la contracción del retículo y la aparición de una onda peristáltica esofágica que lleva
41 pasto pre-consumido, desde los cardias hasta la boca, donde es posicionado por la
42 lengua y comprimido por los molares. El tiempo de remasticación depende del carácter
43 físico de la dieta y es deglutido en un tamaño de partícula inferior. Este patrón se da
44 con el animal acostado, lo cual incurre en un menor gasto energético y es al tipo de
45 rumia que más tiempo dedican los animales, preferentemente en horas nocturnas y
46 encontrándose que en el sistema de Cien Años de Soledad es la principal actividad
47 de los animales, hallando un valor de 9 h representados en el 36% del tiempo diario
48 total y es la segunda actividad de mayor tiempo invertido en bovinos de los predios
49 Lucerna y Sinaí, con valores de 8 y 6 h, respectivamente.

50 **Rumia de pie (RP)**

51 Similar al patrón anterior en todos los procesos digestivos, este varía en la posición
52 del cuerpo y exige un mayor gasto energético. Está precedido por periodos definidos
53 de CF y pareciera fuese un mecanismo para acomodar el tamaño de partícula
54 rápidamente en momentos de competencia por el acceso al forraje, aunque también
55 se da en momentos de baja oferta forrajera. Se observó que este es el patrón al que
56 los animales dedican menos tiempo, con valor promedio de 1.3 h al día que
57 corresponden al 5.2% del tiempo total diario.

58 **Descanso de pie (DP)**

59 Los bovinos, muestran fluctuaciones en el desarrollo de sus actividades, alternando
60 periodos activos con otros tantos de inactividad. DP es una actividad que denota una
61 gran cantidad de acciones, como por ejemplo los estados de alarma ante un estímulo
62 del medio ambiente o el simple hecho de estar parado bajo la sombra de un árbol en
63 calmo tono muscular; sin embargo, estar de pie acelera el cansancio y la fatiga, debido
64 a que pone tensión en el aparato locomotor. Por esto, un animal en determinada
65 posición no necesariamente manifiesta una conducta propia del descanso, siendo un
66 patrón bastante más complejo que un simple reflejo, que para efecto de crear un

67 modelo de comportamiento son denotados de tal manera. Se encuentra un rango de
68 entre 2 a 4 h al día que corresponden del 7.5 al 18.6 % del tiempo total diario.

69 **Descanso estando acostados (DA)**

70 Se caracteriza por una posición de decúbito esternal con apoyo en la patas y el cuello
71 erguido. En este patrón prima la ausencia o disminución de movimientos corporales
72 voluntarios, escasa relación con el medio ambiente, bajo tono muscular y al momento
73 de conciliar el sueño se genera supresión de la motilidad espontánea. Antes de dormir,
74 los animales buscan un lugar seguro y seco, adoptando una postura estereotipada de
75 descanso, el cual generalmente es en horario nocturno, pero con registro breves en
76 el horario de entre 12:00 y 14:00 pm. La finca Cien Años de Soledad en esta actividad
77 se usaron 5 h diarias (20 % del tiempo total diario). Por su parte, 4 h fue el tiempo
78 dedicado por las novillas en la hacienda Lucerna (17.5%) y de 5 h en el predio Sinaí
79 (21%). Valores inferiores a los reportado por Abreu (2022), quien no genero un
80 diferencial más allá del pastoreo y la rumia y en otras actividades en las cuales
81 están destinadas el descanso encontró una dedicación diaria
82 comportamental de 11 horas.

83

84

85

86

87

88 **2.1.70 3.3.6 Distribución temporal de las**
89 **actividades en cada finca**

90

91 **2.1.71 Tabla 3.6. Distribución porcentual y en**
 92 **horas del tiempo total diario dedicado a una**
 93 **actividad**

	CIEN AÑOS DE SOLEDAD				LUCERNA				SINAÍ			
	Pastoreo		Estabulado		Pastoreo		Estabulado		Pastoreo		Estabulado	
	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas
CF	28.6%	6.9	28.7%	6.9	42.1%	10.1	34.2%	8.2	38.0%	9.1	30.7%	7.4
RP	9.9%	2.4	10.8%	2.6	2.8%	0.7	4.0%	1.0	6.0%	1.4	4.1%	1.0
RA	29.9%	7.2	28.9%	6.9	30.5%	7.3	30.9%	7.4	23.1%	5.5	31.4%	7.5
DP	14.8%	3.5	18.6%	4.5	7.5%	1.8	12.5%	3.0	12.0%	2.9	10.9%	2.6
DA	16.8%	4.0	13.0%	3.1	17.1%	4.1	18.5%	4.4	21.0%	5.0	22.9%	5.5

94

95 **3.3.6.1 Cien Años de Soledad**

96 El ordeño de los animales comenzaba a las 6:00 h y el suministro de la primera comida
 97 (3.75 kg Ms concentrado/vaca/día). A las 8:00 h se hace la primera apertura de franja
 98 generando un patrón definido de CF en las vacas del lote hasta las 10:00 h (véase
 99 Figura 3), en donde se registran 30 minutos de RP; pudiendo ser este un accionar
 100 para formar espacio ruminal y evitar el llenado. Sin embargo, el patrón de consumo es
 101 alto hasta la 11:00 h y se reduce a medida que se agota el pasto disponible en la franja
 102 designada. Al aumentar la temperatura a las 12:00 h, las vacas registran un patrón
 103 común de RE y descanso generalmente bajo la sombra, pero es posible observar
 104 consumo de forraje por vacas de baja jerarquía hasta la 13:00 h, tiempo en donde los
 105 ganados muestran una conducta de DP generalmente inquietos y a la espera de ser
 106 ordeñados, deseosos de la segunda ración de concentrado. Se usan dos horas para
 107 realizar el ordeño y a las 15:00 h se produce la segunda apertura de franja y con ello
 108 un patrón de consumo marcado hasta las 18:00 h, momento donde se da el ocaso del
 109 día y la intensidad lumínica disminuye. A las 19:00 h se da un cambio en la intensidad
 110 anímica y el patrón comportamental, observándose 30 minutos de RP y el comienzo
 111 de un tiempo demarcado de descanso de 10 h, en donde los animales realizan RA por

112 6 h intercalado con 4 h de DA hasta las 6:00 h, momento donde esperan en DP para
113 comenzar un nuevo día.

114 **3.3.6.2 Lucerna**

115 El acceso de los animales a las pasturas se controla mediante cerca eléctrica, usando
116 un tamaño de franja asignado por el sistema de rotación propio de la finca, que
117 garantiza franjas promedio de 2000 m² que al dividirse una a las 9:00 h por el operario
118 respectivo, garantizan un área disponible de 50.42 m²/animal/día. En este horario se
119 genera un patrón de CF competitivo motivado por la obtención de los rebrotes más
120 succulentos, en los cuales priman la selección de hojas de *Leucaena leucocephala*.
121 Hasta las 17:00 h solo existe un periodo DP entre las 12:00 y 13:00 h (véase figura 3).
122 Aun así, el CF se reduce a medida que se agota el pasto disponible, aunque este es
123 el sistema con mayor eficiencia en el uso de la pradera y en el cual los animales
124 destinan casi 2 h más de tiempo al CF. A las 18:00 pm, los animales son estimulados
125 por la puesta del sol, encontrándose un patrón demarcado de DP y el comienzo del
126 periodo del sueño. Por lo general, las novillas se conglomeran en las zonas secas del
127 potrero e intercalan actividades de DA Y RA por 10 h, que se distribuyen en 4 h y 6 h,
128 respectivamente. Los animales se levantan a las 5:30 h y muestran un patrón de CF
129 en la pradera previamente pastoreada, en donde es obvia una disminución del tamaño
130 de bocado, pero esta actividad se mantiene hasta las 8:00 h, momento en donde
131 entran en un periodo de 1 h a RA a la espera de la apertura de la nueva franja.

132

133 **3.3.6.3 Sinaí**

134 Se asignan franjas una vez cada 2 días en el horario de 15:00 h por el vaquero
135 respectivo. De los 3 sistemas de estudio, este es el que presenta mayor variabilidad
136 en los periodos de descansos y ocupación de los potreros, lo que sumado a las
137 condiciones climáticas adversas reduce la oferta y calidad de los forrajes y con ello,
138 la productividad de la finca. Ante la apertura de franja se genera un patrón de CF, en
139 los cuales priman la selección de hojas de *Megathyrus maximus* hasta 17:00 o

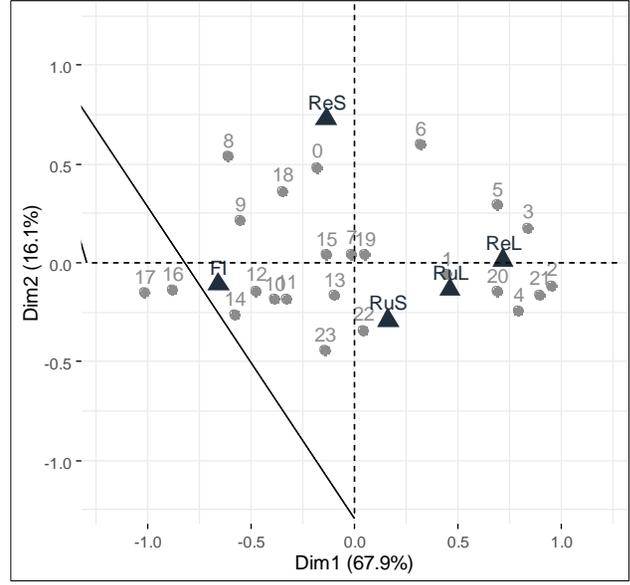
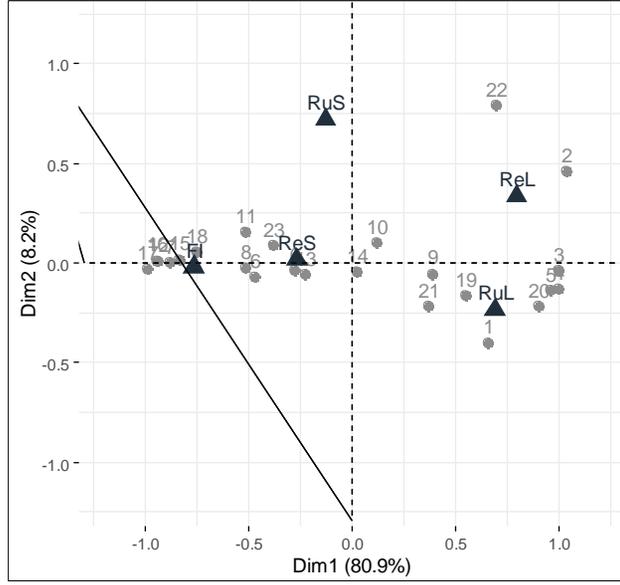
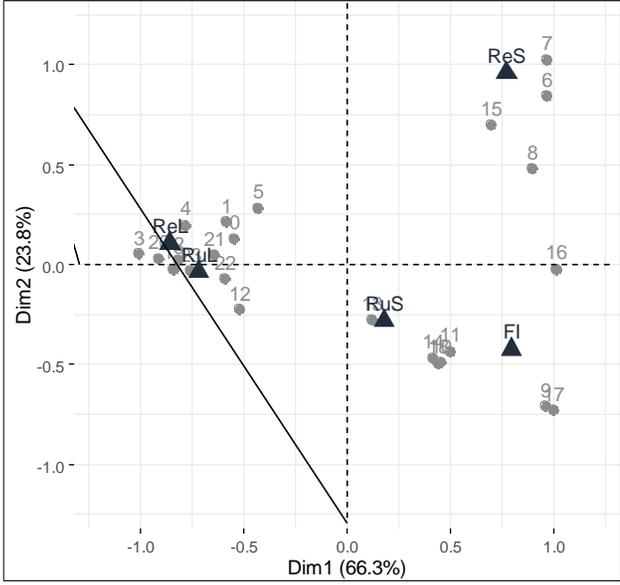
140 18:00 h, horario de inicio de la noche. A partir de este momento, los animales
141 descansan en reunión yy sus actividades se intercalan entre RA y DA por 10 h, que
142 se distribuyen en 6 h y 4 h respectivamente. Los animales se levantan a las 5:00 h
143 mostrando un patrón de CF en una pradera previamente pastoreada, siendo obvia
144 una disminución del tamaño del bocado y un aumento del recorrido en los andares
145 propios al CF, que se mantiene hasta las 10:00 h, momento en el que los animales
146 entran en un periodo de 1 h a RP, acudiendo a este accionar para formar espacio
147 ruminal, para luego reiniciar a eso de las 11:00 h patrón de consumo hasta las 15:00
148 h en donde realizan RP por 1 h más.

Cien Años de Soledad

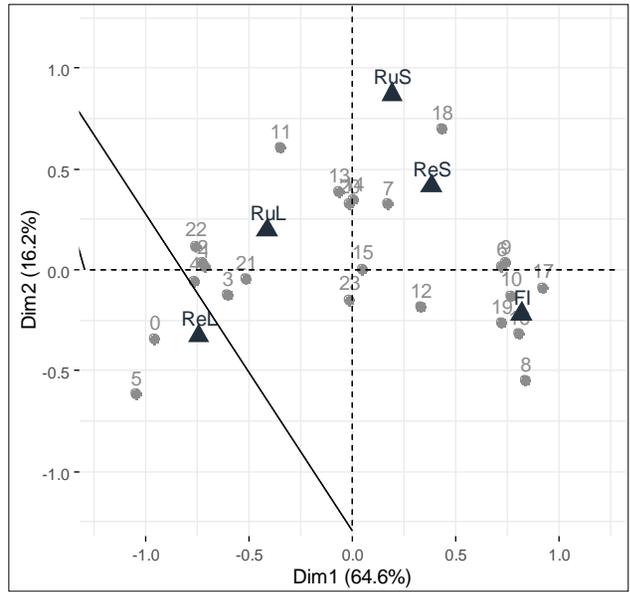
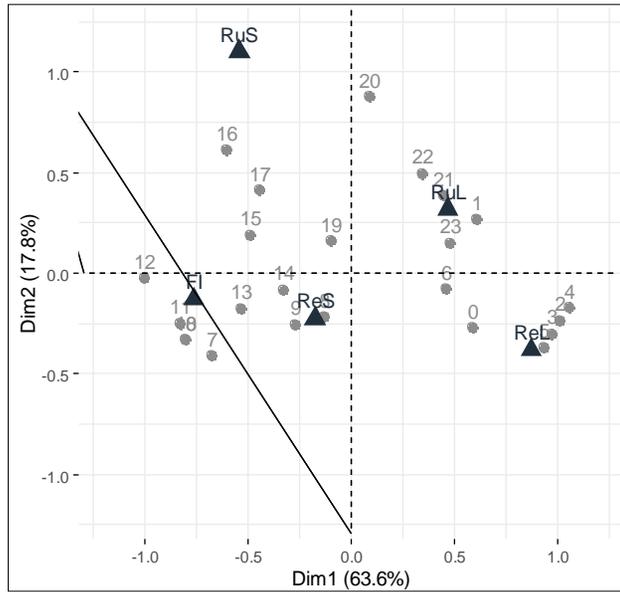
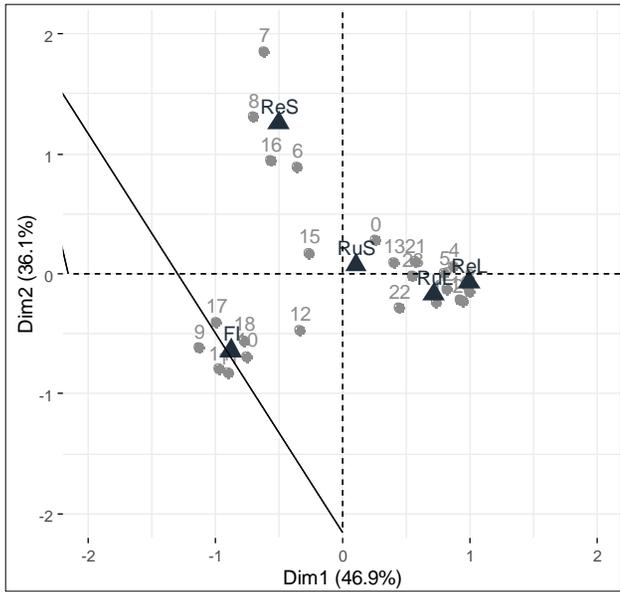
Lucerna

Sinaí

Grazing

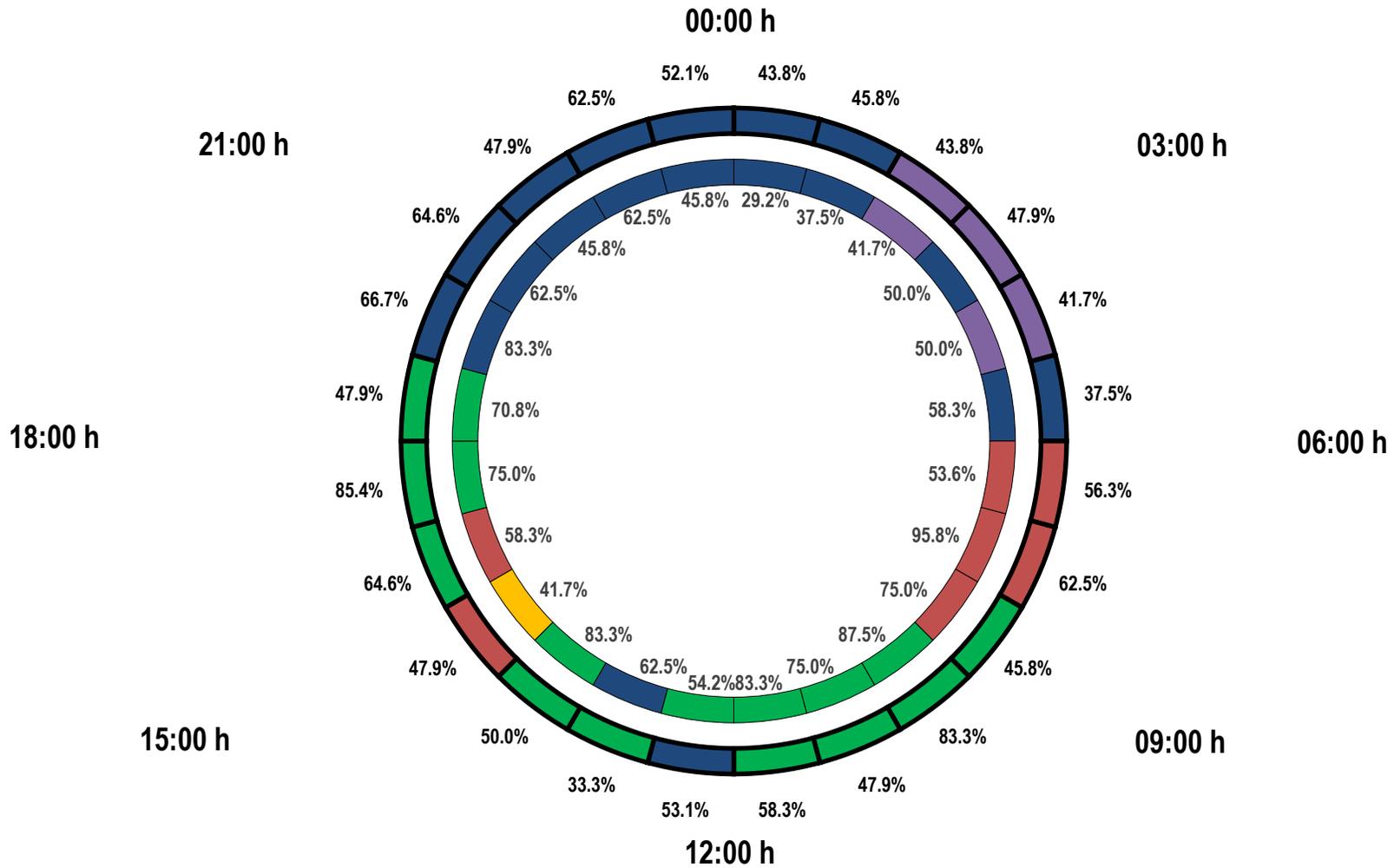


Stabled



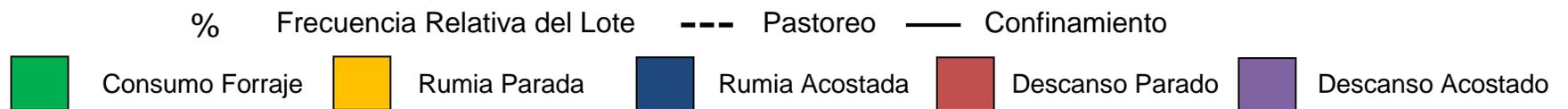
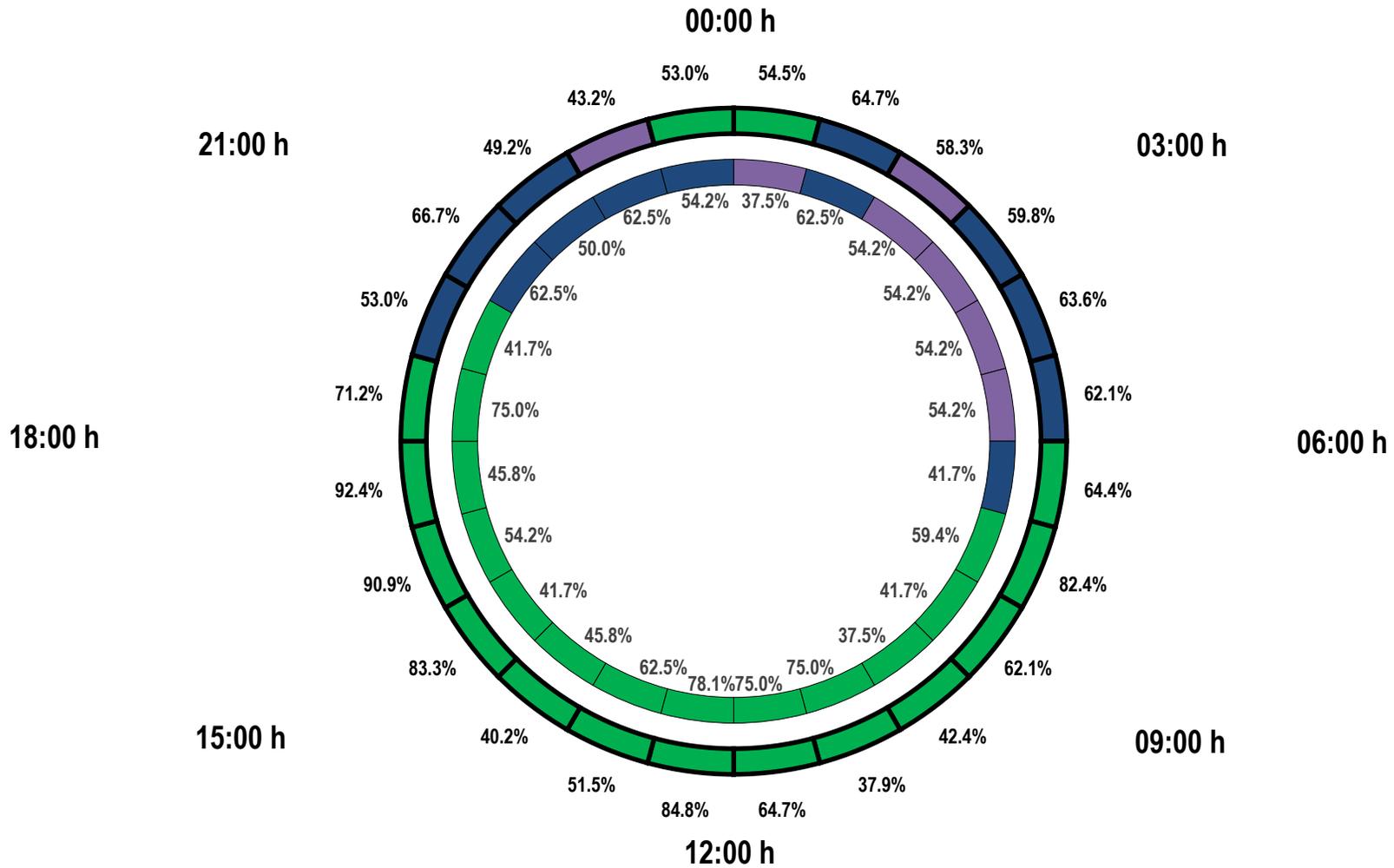
2.1.1 Figura 3.2. Análisis de correspondencia

Cien Años de Soledad



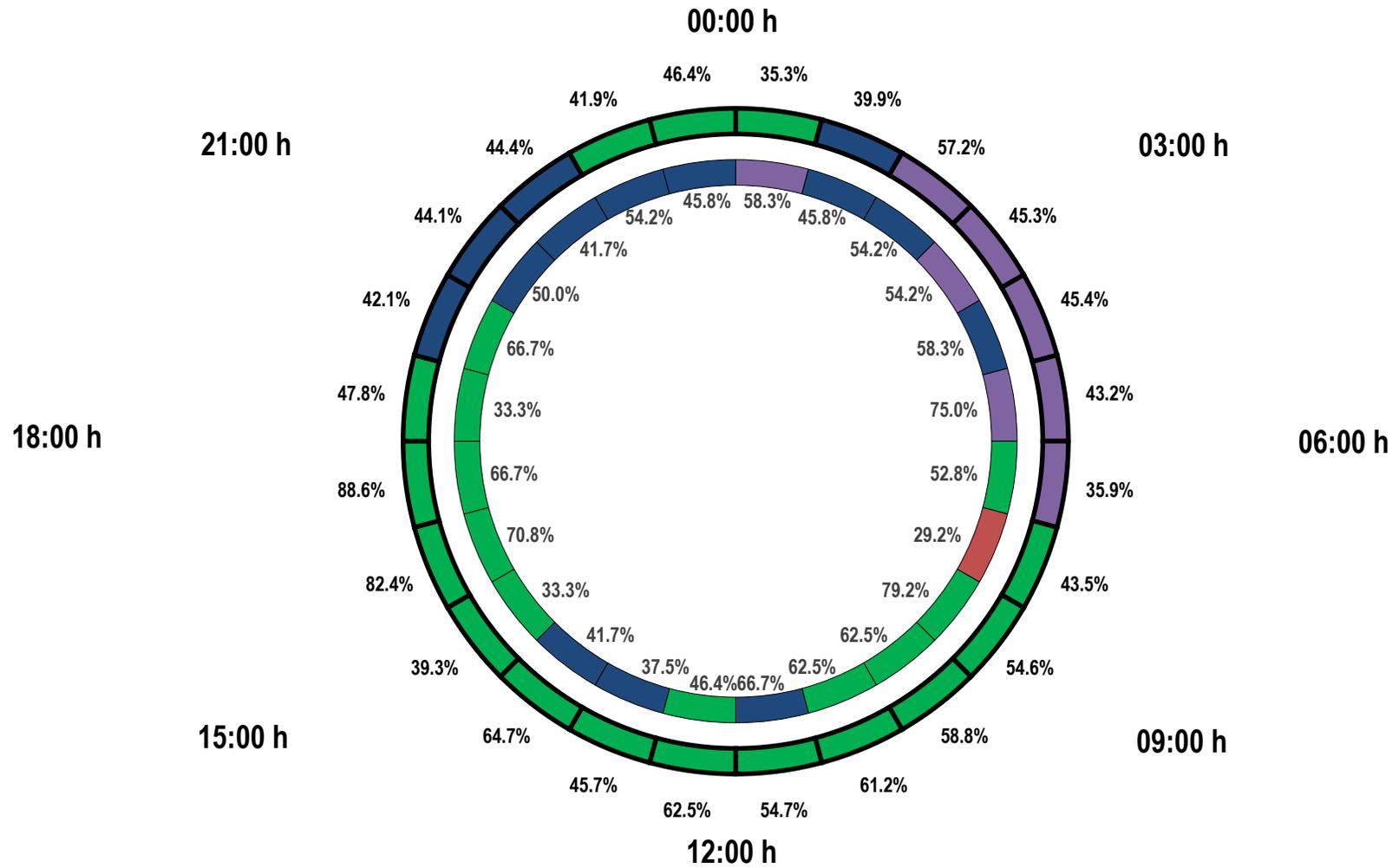
2.1.2 Figura 3.3. Etograma Cien Años de soledad

Hacienda Lucerna



2.1.3 Figura 3.4. Etograma Hacienda Lucerna

SINAÍ



% Frecuencia Relativa del Lote --- Pastoreo — Confinamiento

- Consumo Forraje
- Rumia Parada
- Rumia Acostada
- Descanso Parado
- Descanso Acostado

2.1.4 Figura 3.5. Etograma Finca Sinaí

2.1.5 3.4 Discusión

La ganadería de la región tropical, con los hatos ganaderos como centro productivo, no tiene implícita la rotación de praderas; de ahí su mayor grado de vulnerabilidad que en muchas ocasiones deriva en tierras infértiles o de bajos rendimientos productivos. Una característica destacable de los sistemas productivos analizados en este estudio es que manejan una rotación de praderas acorde al tiempo de descanso que las plantas forrajeras exigen y maximizan el uso del área; hubo variaciones en el área asignada que se asociaron a diferencias en la cantidad de forraje disponible en cada sistema, a los animales, a las variaciones climáticas sucedidas en cada zona de vida y principalmente a la ausencia de metodologías no empíricas para estimar la disponibilidad de la pradera en cada nueva rotación. Sin embargo, se encuentra que son sistemas altamente sostenibles y amigables con el ambiente, y en el mejor de los casos se reporta una eficiencia del consumo de 72.61% (o un desperdicio en el pastoreo mínimo del 27.39 %), sugiriendo así la importancia de buscar alternativas para maximizar el aprovechamiento de los forrajes.

Estudios con vacas lactantes pastoreando en pasto kikuyo, sugieren que, para maximizar el consumo, la oferta esperada debe alcanzar valores que oscilan entre 4.0 y 5.0 kg de MS/100 kg PV/d (Escobar and Carulla., 2003; Leaver., 1985) Esta recomendación para praderas en monocultivo está acorde con el valor de 5.45 kg de MS/100 kg PV/d reportado por este estudio en el predio Cien Años de Soledad. Los valores acá reportados son similares a los de Mendoza et al., 2011, quien además registró un área de pastoreo entre 23.2 y 107.4 m²/vaca/día, análogo al 106.7 m²/vaca/día en Cien Años de Soledad; 50.42 m²/novilla/día en la Hacienda Lucerna y 47.15 m²/novillo/día en Sinaí.

En la finca Cien Años de Soledad, ubicada en la cuenca lechera especializada del país, se obtuvieron valores de oferta forrajera 1.32 kg FV/m²/día, lo cual es similar a lo encontrado en la región occidental de la sabana de Bogotá (César Mendoza et al., 2011), y el consumo estimado en este estudio es similar a los 12.4 kg Ms/animal/día reportado por Rombach et al., (2019) para ganado Holstein

implementado sensores de masticación y posicionamiento de la cabeza (RumiWatch), ambos inferiores a los valores de 18.1 y 25.2 kg/vaca/día reportados en sistemas especializados (Correa C. et al., 2009; Ruiz et al., 2017) Los consumos encontrados en las tierras bajas del territorio colombiano o zonas más cálidas fueron superiores a 5.99 y 8.00 kg Ms/animal/día reportados por Cuartas et al., (2015) y Molina et al., (2015), respectivamente en praderas similares e inferiores a los hallados en novillos de ceiba por Gaviria et al., (2015) 9.42 kg Ms/animal/día).

El consumo de agua bebida fue más bajo que los consumos de agua reportados por Kume et al., (2010) para vacas lactantes de la raza Holstein; una posible explicación a esto es la humedad con la que es presentada la dieta, que deprime el consumo en abrevadero cuando se encuentra alta en la dieta suministrada; sin embargo, el consumo total de agua fue similares a 81.5 L/animal/día reportado en vacas lactante de la misma raza (Meyer et al., 2004); en las zonas calidas los valores de agua bebida fueron superiores a los encontrados por Brew et al., (2011) en novillos Brangus – Romosinuano (24.1 L/animal/día).

La actividad de consumir forraje fue similar a las 9 horas encontradas por Rombach et al., (2019) pero una hora menos a lo encontrado por Abreu et al., (2022) en ganado Holstein y Holstein×Gyr que pastaban *Lolium multifolium* y *Avena strigose*, ambos estudios implementando el sistema RumiWatch; y superior a 72 minutos en el intervalo de tiempo de 6:00 am y 17:00 pm reportado por método “scan-sampling” en vaquillas Nellore que pastaban una pradera de *Brachiaria brizantha* cv. Piatá (Carvalho et al., 2021), La rumia fue similar a las 10 horas reportadas por Rombach et al., (2018) y 3 horas más a las encontradas por Abreu et al., (2022); ambos trabajos sin distinción en si la rumia se hacía de pie o estando acostada; solo el tiempo de rumia encontrado en el trópico alto colombiano fue similar a los 47.5 minutos descritos por Carvalho et al., (2021) y el descanso tuvo una dedicación temporal menor a lo reportado por Abreu et al., (2022), quien encontró una dedicación diaria comportamental de 11 horas.

2.1.6 3.5 Conclusiones

El principal factor de la variación de la oferta y el consumo forrajero en SSPi es la asignación empírica del tamaño de la franja en cada desplazamiento de la rotación, declinando el tiempo destinado al consumo de forraje en el patrón de rumia y el descanso.

Los resultados del presente estudio evidencian las ventajas de la implementación de sistemas silvopastoriles, referidas a una mayor producción forrajera y a una alta cobertura arbórea en potreros, que contribuye en disminuir el estrés calórico de los bovinos, con lo cual denota un aumento en la eficiencia productiva de los animales, al tener un efecto significativo en el comportamiento alimenticio. No obstante, se requiere más investigación para ahondar en la comprensión de las interacciones que existen en los rebaños en pastoreo, permitiendo desarrollar estrategias óptimas de manejo que maximicen el desarrollo individual de los animales.

2.1.7 3.6 Agradecimientos

Los autores expresan agradecimientos al personal de la organización CIPAV por el apoyo logístico que permitió la ejecución de la investigación; a FEDEGAN, que financió el proyecto “Investigaciones para el incremento de la productividad silvopastoril y los servicios ambientales en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible”. Además, se expresan agradecimientos a los propietarios y trabajadores de la Finca Cien Años de Soledad, Hacienda Lucerna y Finca Sinaí por haber participado en el desarrollo de esta evaluación.

3.7 Bibliografía

Abreu, M. B., Cunha, C. S., Costa, J. H. C., Miller-Cushon, E. K., Rotta, P. P., Machado, A. F., Morais, V. C. L., Chizzotti, F. H. M., and Marcondes, M. I., 2022. Performance and feeding behavior of Holstein and Holstein x Gyr crossbred heifers grazing temperate forages. *Tropical Animal Health and Production*, 54(2). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03106-w>

Alvarenga, C.A.F., Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Sbrissia, A.F., Barbosa, R.A., de Araújo, A.R., 2020. Animal performance and sward characteristics of Mombaça guinea grass pastures subjected to two grazing frequencies. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 8, 1–10. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)1-10](https://doi.org/10.17138/tgft(8)1-10).

Aristizábal, J., Londoño, W., 2002. Modelo De Pastoreo De Hatos Lecheros; En: Iv Seminario Internacional Competitividad En Carne Y Leche. Cooperativa Colanta, Medellín. November 10.

Bennett, I. L., Finch, V. A., Holmes, C. R., 1985. Time spent in shade and its relationship with physiological factors of thermoregulation in three breeds of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 13(3). [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(85\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(85)90046-2)

Brew, M. N., Myer, R. O., Hersom, M. J., Carter, J. N., Elzo, M. A., Hansen, G. R., Riley, D. G., 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science*, 140(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.030>

Carvalho, C., Giolo, R., Karvatte, N., Delmar, S., Bungenstab, D., Villa, F., 2021. Daytime ingestive behaviour of grazing heifers under tropical silvopastoral systems: Responses to shade and grazing management. *Applied Animal Behaviour Science*.

Mendoza, C.F., Martha Pabón, R., Juan Carulla, F., 2011. Variaciones diarias de la oferta forrajera, efecto sobre la producción y calidad de la leche. *Revista MVZ Cordoba*, 16(3). <https://doi.org/10.21897/rmvz.273>

Correa, H. J., Pabón R., M. L., Carulla F., J. E., 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*, 21(4).

Cruz, P., Sierra, J., Wilson, J. R., Dulormne, M., Tournebize, R., 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. *Annals of Arid Zone*. 38(3-4), 335–361.

- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., Murgueitio, E., Chará, J. D., Ku, J., Solorio, F. J., Flores, M. X., Solorio, B., Barahona Rosales, R., 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2).
- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., Correal, G. A., Rosales, R. B., 2015. Dry matter and nutrient intake and diet composition in leucaena leucocephala based intensive silvopastoral systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(3).
- D'Odorico, P., Chiarelli, D.D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., Rulli, M.C., 2020. The global value of water in agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117, 21985–21993. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2005835117>.
- Escobar, A., Carulla, J., 2003. Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16 (Suplemento): 74.
- Espinal, L. S., 1997. Zonas de vida o formación vegetal de Colombia: Memoria explicativa sobre el mapa ecológico Vol. 13. Bogotá, Colombia: Instituto Geografico "Agustin Codazzi".
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., Possingham, H., 2006. Patrones regionales de uso de suelo agrícola y deforestación en Colombia. *Agr. Ecosistema Medio Ambiente* , 369–386.
- Fassola, H., Lacorte, S., Pachas, N., Pezzutti, R., 2006. Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26(2).
- FAO., 2006. La larga sombra del ganado. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- FAO., 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: the way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, v.13. FAO, Rome.
- FAO., 2013. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. el estado mundial de la agricultura y la alimentación, 6. www.fao.org/publications/sofa/es/I3301E/01/05.13

FAO., GDP., 2018. Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome. 36 pp. Licence: CC BY-NC-SA- 3.0 IGO

FEDEGAN., 2014. Balance and perspectives of the Colombian sector. Bogotá: Fedegan. 35p

FEDEGAN., 2018. Ganadería colombiana: Hoja de ruta 2018-2022. Bogotá, D.C., Colombia: Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). Recuperado de http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/publicaciones/Hoja_de_ruta_Fedegan.pdf

Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Tylutki, T. P., Russell, J. B., van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., Overton, T. R., 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1–4).
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.006>

Gaviria, X., Naranjo, J. F., Bolívar, D. M., Barahona-Rosales, R., 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 64(245). <https://doi.org/10.21071/az.v64i245.370>

Haydock, K. P., Shaw, N. H., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76).
<https://doi.org/10.1071/EA9750663>

Hofmann, R. R., Stewart, D. R. M., 1972. Grazer or browser: A classification based on the stomach-structure and feeding habits of east african ruminants. *Mammalia*, 36(2). <https://doi.org/10.1515/mamm.1972.36.2.226>

IGAC-ICA., 1985. Zonificación Agroecológica de Colombia. Subdirección de Agrología, Subgerencia de Investigaciones y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Bogotá, D. E. 61 p.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)., 1973. NTC 668. Recuperado el 05 de Diciembre de 2014668. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)., 1999. NTC 4657. Alimento para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Bogotá, Colombia.

- ISO 9831 - International Organization for Standardization., 1998. Alimentación animal, productos de origen animal y excrementos u orinas. Determinación de valor calorífico bruto. Método de la bomba calorimétrica. 23.
- Khalil, M. A. K., 2000. Atmospheric Methane: Its Role In The Global Environment, Springer-Verlag, Berlin. (Ed).
- Kibler, H. H., 1964. Thermal effects of various temperature– humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. Univ. Missouri Agric. Exp. Stat. Res. Bull. No. 862.
- Kume, S., Nonaka, K., Oshita, T., Kozakai, T., 2010. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science*, 128(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.012>
- Leaver, J. D., 1985. Milk Production from Grazed Temperate Grassland. In *Journal of Dairy Research* (Vol. 52, Issue 2). <https://doi.org/10.1017/S0022029900024201>
- López, C. R., Rojas, J., 2019. El Bosque Seco en el Territorio CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR – Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D.C., Colombia.
- Meyer, U., Everinghoff, M., Gädeken, D., Flachowsky, G., 2004. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 90(2–3). <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005>
- Molina, I., Donney`s, G., Montoya, S., Rivera, J., Villegas, G., Chará, J., Barahona, R., 2015. La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras Lucerna alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. *Livestock Research for Rural Development*, 27(5).
- Molina, I.C., Angarita, E.A., Mayorga, O.L., Chará, J.E., Barahona, R., 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science* 185, 24–29
- Montagnini, F., Nair, P., 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*.
- Montoya, S., Chará, J. D., Murgueitio, E., Correa, G, A., y Barahona, R., 2023. Producción forrajera y consumo en ganaderías colombianas con diversos sistemas de pastoreo incluyendo sistemas silvopastoriles. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 35(7).

Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M., Molina, J. J., 2015. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. Cuban Journal of Agricultural Science, 49(4).

Murray, P.J., Gill, E., Balsdon, S.L., Jarvis, S.C., 2001. A comparison of methane emissions from sheep grazing pastures with differing management intensities. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 60, 93–97.

Ntc 668., 1973. Alimentos Y Materias Primas. Determinación De Los Contenidos De Grasa Y Fibra Cruda. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (Icontec).

Ntc 4657., 1999. Alimento Para Animales. Determinación Del Contenido De Nitrógeno Y Cálculo Del Contenido De Proteína Cruda. Método Kjeldahl. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (Icontec).

Oliveira, C.C., Alves, F.V., Martins, P.G.M., de, A., Karvatte Junior, N., Alves, G.F., Almeida, R.G., Mastelaro, de, Costa e, A.P., Silva, E.V., 2019. Vaginal temperature as indicative of thermoregulatory response in Nellore heifers under different microclimatic conditions. PLoS One 14, e0223190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223190>.

Pagot, J., 1993. Animal production in the tropics and subtropics. London, UK, Macmillan.

Paul, R., Turner, L., Larson, B., 1999. Effects of shade on production and body temperatures of grazing beef cows (en línea). . In 2000 KY Beef Cattle Report.

Pizano, C., García, H., 2014. El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia. Fundación CIPAV, 1822(September).

R Core Team., 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rombach, M., Münger, A., Niederhauser, J., Südekum, K. H., Schori, F., 2018. Evaluation and validation of an automatic jaw movement recorder (RumiWatch) for ingestive and rumination behaviors of dairy cows during grazing and supplementation. Journal of Dairy Science, 101(3). <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12305>

Rombach, M., Südekum, K. H., Münger, A., Schori, F., 2019. Herbage dry matter intake estimation of grazing dairy cows based on animal, behavioral, environmental, and feed variables. *Journal of Dairy Science*, 102(4). <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14834>

Ruiz, J. F., Cerón, M. F., Barahona, R., Bolivar, D. M., 2017. Caracterización de sistemas de producción bovina de leche según el nivel de intensificación y su relación con variables ambientales y sociales asociadas a la sustentabilidad. *Livestock Research for Rural Development*, 29(1).

Schütz, K.E., Rogers, A.R., Poulouin, Y.A., Cox, N.R., Tucker, C.B., 2010. The amount of shade influences the behaviour and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 125–133. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>.

Thiex, N., Novotny, L., Crawford, A., 2012. Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 revisited. In *Journal of AOAC International* (Vol. 95, Issue 5). <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>

Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991. Symposium: Carbohydrate Methodology, Metabolism, And Nutritional Implications In Dairy Cattle: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10).

Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P. H., Rosales, M., Ibrahim, M., Steinfeld, H., 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change*, 17(1). <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.007>

Wiersama, F., 2005. Appendix 1: Temperature Humidity Index. In: *Tropical dairy farming: feeding management for the small holder dairy farmers in the humid tropics*. Ed. John Moran. Landlinks Press.

Malhi, Y., Gardner, T.A., Goldsmith, G.R., Silman, M.R., Zelazowski, P., 2014. Tropical forests in the Anthropocene *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 39, pp. 125-159, [10.1146/annurev-environ-030713-155141](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-030713-155141)

4. Discusión General

Los pastos asociados a la actividad ganadera en el trópico se caracterizan por un bajo contenido de nutrientes y un manejo agronómico deficiente (Pelster et al., 2016). Un desequilibrio entre el aporte proteico y energético es característico de las dietas suministradas a los animales en producción, con baja degradabilidad de la materia seca consumida, lo que se traduce en una mayor excreción de nutrientes (Rosales & Sánchez. 2005). El perfil nutricional de estas dietas y manejo de pastos fue confirmado durante la ejecución de los dos ensayos de esta investigación.

En todas las localidades, los monocultivos mostraron una baja calidad nutricional con respecto al contenido de nutrientes de los forrajes encontrados en los sistemas silvopastoriles. Las leguminosas y asteráceas tienen el potencial de contribuir a la intensificación sostenible de la producción ganadera en los trópicos, junto con la provisión de servicios ecosistémicos. La inclusión de estas especies en las dietas y el asocio de especies arbóreas en las praderas proporcionar beneficios tanto en la composición nutricional de la dieta (Boddey et al. 2015; Hassen et al. 2017) como en el bienestar de los animales en pastoreo. La inclusión de leguminosas en la alimentación animal, así como de especies forrajeras con alto contenido en proteínas como *T. diversifolia*, contribuyó a un mayor consumo de alimento y a una mayor retención de N en las localidades correspondientes. El consumo de materia seca de los animales fue mayor cuando las dietas proporcionadas incluían forrajes ricos en proteínas y bajos en FDN, con un rango de 1,91 a 2,247 kg MS/100 kg PV/día según lo estimado por el software CNCPS y el método agronómico, respectivamente. El consumo de agua total en pastoreo fue de 95.44 l/animal/día en vacas Holstein de zona de vida de Bmh-MB, 44.10 l/animal/día en novillas Lucerna en el BsT, y 28.79 l/animal/día en novillos Brahman de un predio ganadero ubicada en el Bms-T; ambas actividades fueron realizadas en un lapso principalmente diurno de entre 7 y 10 horas, representando en promedio el 35 % del tiempo diario total de los animales y relegando a un segundo lugar de ocurrencia a la rumia acostada (27.8 %), con un registro temporal de entre 5 y 7 horas

nocturnas y en todas las zonas de vida estudiadas con alto nivel de asocio a las 4 o 5 horas destinadas al descanso acostado (18.3 % de dedicación horaria), coincidiendo con los horarios de mayores producción de excretas y sugiriendo modelos de semi confinamiento nocturnos con el propósito de capturar dichas excretas, realizar manipulación y producir abonos orgánicos con la finalidad de disminuir la dependencia por fertilizantes derivados de petróleo, reducir costo de producción y mejorar la relación de la industria bovina con el medio ambiente. Una puesta en escena de tal propuesta exige mejorar mucho a nivel de predio en el manejo agronómico de la pradera y de la inclusión de diferentes familias y estratos botánicos, lo cual reclama la capacitación del productor para una adecuada administración de un pastoreo meramente diurno y del fortalecimiento en el vínculo de responsabilidad ambiental que se debe consolidar en el pensamiento del ganadero.

5. Recomendaciones

Se requieren más investigaciones que permitan evaluar la oferta y el consumo bovino en pastoreo de la zona tropical, donde se incluyan etapas fisiológicas y modelos productivos diversos que permitan incrementar la cantidad de información disponible en la materia y sea insumo básico para la calibración y desarrollo informático de metodologías como la teledetección o sistemas de aplicación web, basado en ciencia de datos y cartas de control; en búsqueda de popularizar su uso y corregir su sesgo en la sobreestimación, para que así pueda ser proyectada como metodología de evaluación en el estatus productivo de las praderas con miras en el aumento de la competitividad de las fincas ganaderas en Colombia y el trópico.