



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Estación Experimental de Pastos y Forrajes *Indio Hatuey*

**Comportamiento productivo de bovinos machos en
desarrollo suplementados con minerales, en el Valle del
Cesar, Colombia**

Autor: MVZ. Belisario Antonio Roncallo Fandiño, MSc.

**Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en
Ciencias Veterinarias**

2022



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Estación Experimental de Pastos y Forrajes *Indio Hatuey*

**Comportamiento productivo de bovinos machos en
desarrollo con minerales en el Valle del Cesar, Colombia**

Autor: MVZ. Belisario Antonio Roncallo Fandiño, MSc.

Tutores: Lic. Félix Ojeda García, Dr.C.

Lic. Ruth Rebeca Bonilla Buitrago, Dr.C.

**Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en
Ciencias Veterinarias**

2022

PENSAMIENTO

“El camino es el que nos enseña la mejor forma de llegar y nos enriquece mientras lo estamos cruzando; incluso un camino sinuoso, difícil, nos puede conducir a la meta si no lo abandonamos hasta el final”.

Paulo Coelho

AGRADECIMIENTOS

- A los *Doctores Félix Ojeda García y Ruth Rebeca Bonilla Buitrago*, por sus orientaciones académicas y personales, que hicieron posible esta construcción.
- A la Dirección y el colectivo de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes *Indio Hatuey*, por el apoyo incondicional brindado durante el desarrollo de la tesis de doctorado.
- A los profesores y el comité académico del *Programa Doctoral de la Universidad de Matanzas*, por sus sugerencias y recomendaciones durante el proceso de formación.
- A la *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA-Agrosavia)*, por la oportunidad ofrecida para realizar mis estudios doctorales.
- Al Ministerio de la Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, por el apoyo brindado y el financiamiento del Proyecto: Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles basados en *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit cv. Cunningham en el caribe seco colombiano.
- Especial gratitud al personal técnico y demás trabajadores del Centro de Investigación Motilonia, Valle del Cesar, Colombia por el apoyo para el desarrollo de este estudio.
- A la *Federación de Ganaderos-Fondo Nacional del Ganado (FEDEGAN-FNG)* y a los técnicos y funcionarios de las *Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA)* por su contribución para realizar el diagnóstico de los sistemas productivos.
- A todos los productores ganaderos de la región del Valle del Cesar, en especial a los propietarios de las fincas *La Providencia* y *La Unión*, que nos abrieron las puertas de sus predios para realizar los estudios.
- A la *Dr.C. Yuseika Olivera Castro* por su ayuda en todo momento.
- A los colegas del laboratorio de CORPOICA-Agrosavia Bogotá por su colaboración en la realización de los análisis bromatológicos de los pastos y de las muestras de suelo.

- A los investigadores del *Instituto de Ciencia Animal* de Cuba, por su colaboración para realizar los análisis estadísticos y sus recomendaciones, que contribuyeron a la consolidación del proceso.
- A la *MSc. Delia María Cino* del Instituto de Pastos y Forrajes de Cuba por su colaboración en el análisis bio-económico de los resultados.
- A los *MSc. Héctor Lorenzo Santana Armas, Alberto Rizo Borrego y Juan Francisco González Nodarse[†]* por su colaboración y ayuda en la revisión de la bibliografía para la redacción del documento.
- A los profesores que tuvieron la difícil tarea de ser oponente de esta tesis: *Dr.C. Javier Arece García, Dr.c. Giraldo J. Martín Martín, Dr.C. Agustín Beruvides Rodríguez, Dr.C. Tania Sánchez Santana y Dr.C. Luis Lamela López.*

A todas las personas que contribuyeron con el proceso de investigación, análisis de la información y redacción de la tesis.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

- Dedicatoria póstuma a mis padres.
- A mi esposa e hijos.
- A mis amistades.
- A los amigos campesinos de mi tierra.

SÍNTESIS

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de los indicadores productivos de los bovinos machos en desarrollo (BMD) se realizaron investigaciones en dos sistemas de producción ganaderos del Valle del Cesar, Colombia, mediante el empleo de suplementación mineral. En la primera etapa las evaluaciones se realizaron en dos explotaciones ganaderas (La Providencia y La Unión) que tenían como base alimentaria *Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus sin el empleo de sales minerales. En el periodo lluvioso (PLL), los incrementos de peso representaron entre 88,7 y el 83,9 % del total alcanzado con respecto al periodo poco lluvioso (PPLL). Los balances alimentarios señalaron que en el PPLL este pasto presenta limitaciones en la disponibilidad de materia seca (DMS) que impiden a los BMD, cubrir sus requerimientos. Además, en ambas épocas ocurren déficits de Ca, P, Na, Cu y Zn. En la segunda etapa se evaluó el comportamiento productivo de BMD en sistemas de pastoreo de gramíneas (SMG) y sistemas silvopastoriles (SSP) con o sin suplementación mineral, realizados en el Centro de Investigación Motilonia. Los resultados mostraron que, en los SMG, durante el PPLL es necesario incorporar heno en la dieta para suplir los déficits de DMS y evitar las pérdidas de peso en los animales. Mientras que, la suplementación con minerales, favorece las ganancias de peso (GDP) con incrementos del 19,3 % (438,3 vs. 367,3 g animal⁻¹ día⁻¹) con respecto al grupo no suplementado. En este periodo los minerales deficitarios fueron los mismos de la primera etapa. En el PLL, el incremento de la DMS y la incorporación de minerales, favoreció en un 23,6 % las GDP (607,6 vs. 491,5 g) y los minerales deficitarios fueron Na, Cu y Zn. Sin embargo, las investigaciones en el sistema silvopastoril (SSP) demostraron que no era necesario incorporar alimentos durante el PPLL y que el suministro de minerales favorecía en un 11,5 % las GMD (478,5 vs. 428,9 g). En el PLL se obtuvieron las mayores DMS y GDP. La introducción de minerales permite un incremento de un 12,3 % con ganancias de 680,8 vs. 606,4 g con respecto al tratamiento no suplementado. Para los SSP, en ambas épocas, los minerales deficitarios fueron Na, Cu y Zn. En una valoración general se pudo apreciar que el SSP, combinado con la suplementación mineral, resultó la opción más rentable y confirmó la potencialidad de este sistema para incrementar, en el Valle del Cesar, los indicadores productivos y económicos de los BMD.

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS, UNIDADES DE MEDIDAS

	Significado
%	Porcentaje
\$	Pesos
AG	Ácidos grasos
Al	Aluminio
ALC	América Latina y el Caribe
animales ⁻¹ ha ⁻¹	Animales por hectáreas
árboles ha ⁻¹	Árboles por hectáreas
B	Boro
B ₁₂	Vitamina B ₁₂ (Cobalamina)
B/C	Relación beneficio/costo
BID	Banco Interamericano de Desarrollo, USA
°C	Grados Celsius
Ca	Calcio
CAUE	Costo anual equivalente
CALRAC®	Cálculo de raciones
CE	Conductibilidad eléctrica
CEN	Ceniza
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CICE	Capacidad de intercambio catiónico efectivo
CIG	Capacidad de ingestión
Cl	Cloro
Cm	Centímetros
Cmol (+)/kg	Centimol por kilogramo
Co	Cobalto
CO ₂ eq	Equivalente de dióxido de carbono
col.	Colaboradores
Cr	Cromo

	Significado
CORPOICA-Agrosavia	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Cu	Cobre
cv.	Cultivar
DE	Desviación estándar
Dep.	Depreciación
Disp.	Disponibilidad
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
DNP	Departamento Nacional de Planeación, Colombia
dS/m	Decisiemens por metro
EE±	Error estándar
EM	Energía Metabolizable
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Brasil
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FDA	Fibra Detergente Ácido
FDN	Fibra Detergente Neutro
Fe	Hierro
FEDEGAN	Federación de Ganaderos de Colombia
FNG	Fondo Nacional del Ganado de Colombia
G	Gramos
g animal ⁻¹ día ⁻¹	Gramos por animal por día
GMD	Ganancias medias diarias
GEI	Gases de efecto invernadero
H	Horas
ha	Hectárea
I	Iodo

	Significado
IA	Índice de aprovechamiento
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IN	Ingreso neto
K	Potasio
Kg	Kilogramo
kg animal ⁻¹	Kilogramos por animal
kg animal ⁻¹ día ⁻¹	Kilogramos por animal por día
kg ha ⁻¹	Kilogramos por hectárea
kg de MS	Kilogramos de materia seca
kg de MS ha ⁻¹	Kilogramos de materia seca por hectárea
kg de MS ha ⁻¹ corte ⁻¹	Kilogramos de materia seca por hectárea por corte
kg de MS ha ⁻¹ rotación ⁻¹	Kilogramos de materia seca por hectárea por rotación
kg de MS animal ⁻¹ día ⁻¹	Kilogramos de materia seca por animal por día
kg de MS animal ⁻¹ ha ⁻¹ día ⁻¹	Kilogramos de materia seca por animal por hectárea por día
kg de MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹	Kilogramos de materia seca por 100 kg de peso vivo por día
kg de MS 100 kg PV ⁻¹ animal ⁻¹ día ⁻¹	Kilogramos de materia seca por 100 kg de peso vivo por animal y por día
L	Litro
L animal ⁻¹ día ⁻¹	Litro por animal por día
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
mg	Miligramo

	Significado
Mg	Magnesio
mg animal ⁻¹ día ⁻¹	Miligramos por animal por día
mg kg ⁻¹	Miligramos por kilogramos
mg kg ⁻¹ MS	Miligramos por kilogramo de materia seca
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
MO	Materia orgánica
Mo	Molibdeno
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MSP	Metabolitos secundarios de las plantas
N	Nitrógeno
Nt	Norte
Na	Sodio
NaCl	Cloruro de sodio
n.i.	Valor no determinado
NH ₃	Amoníaco
NH ₄	Ion amonio
NNP	Nitrógeno No Proteico
NPK	Formula completa (nitrógeno, fósforo y potasio)
NRC	National Research Council
NOF	Nivel de Oferta Forrajera (NOF)
O	Oeste
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
pH	Índice de acidez
PIB	Producto Interno Bruto
PLL	Periodo lluvioso

	Significado
PPLL	Periodo poco lluvioso
ppm	Partes por millón
PV	Peso vivo
S	Azufre
Se	Selenio
Sig.	Significación
SM	Sin minerales
CM	Con minerales
SMG	Sistema monocultivo de gramínea
SSP	Sistemas silvopastoriles
SSPi	Sistemas silvopastoriles intensivos
t	Toneladas
t de MS ha ⁻¹	Toneladas de materia seca por hectárea
UGM.ha ⁻¹	Unidad de ganado mayor por hectárea
UMATA	Unidades Municipales de Asistencias Técnicas Agropecuarias, Colombia
UDCA	Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia
USD	Dólar estadounidense
V. Unit.	Valor Unitario
Zn	Cinc

ÍNDICE DE CONTENIDO

Acápites	Página
Introducción	1
Problema	5
Hipótesis	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Capítulo 1. Revisión bibliográfica	6
1.1. La ganadería en América Latina y el Caribe: sus perspectivas y desafíos	6
1.1.1. Contexto de la ganadería en Colombia, región Caribe y Valle del Cesar	8
1.2. Sistemas de pastoreo con gramíneas en la región Caribe Colombiana	11
1.2.1. Estrategias de suplementación en los sistemas de pastoreo en Colombia	14
1.3. Sistemas silvopastoriles como alternativa sostenible para la ganadería bovina colombiana	15
1.3.1. Los sistemas silvopastoriles, resultados en la producción de bovinos en desarrollo	17
1.4. Los minerales su importancia para la producción bovina	19
1.4.1. Factores que afectan el contenido de minerales en los forrajes tropicales	21
1.4.2. Requerimientos y biodisponibilidad de los minerales en bovinos en crecimiento	23
Capítulo 2. Materiales y métodos	26
2.1. Localización y secuencia de las investigaciones	26
2.2. Descripción de los sitios de investigación	27
2.3. Procedimiento experimental Etapa 1	29
2.3.1. Descripción del proceso de selección de las fincas	29
2.3.2. Manejo y alimentación de los animales	31
2.3.3. Análisis estadístico	32
2.4. Procedimiento experimental Etapa 2	32
2.4.1. Tratamiento y diseño experimental	32

2.4.2.	Características de los sistemas y manejo de los animales	33
2.4.3.	Análisis estadístico	35
2.5.	Mediciones experimentales	36
2.5.1.	Evaluaciones en los forrajes	36
2.5.2.	Evaluaciones en los animales	37
2.6	Factibilidad económica	40
Capítulo 3. Resultados y discusión		41
3.1	Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en dos explotaciones ganaderas en la región del Valle del Cesar	41
3.2.	Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en sistemas de pastoreo de gramíneas y silvopastoreo suplementados con minerales	57
3.2.1.	Sistemas de pastoreo de <i>B. pertusa</i> durante el período poco lluvioso	57
3.2.2.	Sistemas de pastoreo de <i>B. pertusa</i> durante el período lluvioso	65
3.2.3.	Sistema silvopastoril durante el período poco lluvioso	71
3.2.4.	Sistema silvopastoril durante el período lluvioso	77
3.3.	Factibilidad bio-económica de las alternativas evaluadas	83
3.3.1.	Valoración bio-económica de las fincas La Unión y La Providencia	83
3.3.2.	Valoración bio-económica del sistema de pastoreo con <i>B. pertusa</i>	85
3.3.3.	Valoración bio-económica del sistema silvopastoril	87
3.3.4.	Comparación de los sistemas evaluados	89
Capítulo 4. Consideraciones finales		93
Conclusiones		98
Recomendaciones		99
Referencias bibliográficas		100
Anexos		

ÍNDICE DE TABLAS

	Título de la tabla	Página
Tabla 2.1.	Datos climáticos del área experimental.	28
Tabla 2.2.	Características de los suelos en las fincas La Providencia y La Unión.	29
Tabla 2.3.	Caracterización de los suelos en las áreas experimentales en el Centro de Investigación Motilonia.	30
Tabla 3.1.	Composición bromatológica de <i>B. pertusa</i> , finca La Providencia.	42
Tabla 3.2.	Disponibilidad de materia seca por época del año, finca La Providencia.	42
Tabla 3.3.	Comportamiento de las ganancias peso, finca La Providencia.	43
Tabla 3.4.	Producción promedio de carne en pie, finca La Providencia.	44
Tabla 3.5.	Efecto de la época del año sobre la carga (UGM ha ⁻¹), finca La Providencia.	44
Tabla 3.6.	Evolución de los niveles de oferta forrajera según la época del año, finca La Providencia.	45
Tabla 3.7.	Déficit de nutrientes según la época del año, finca La Providencia.	46
Tabla 3.8.	Composición bromatológica de <i>B. pertusa</i> , finca La Unión.	47
Tabla 3.9.	Disponibilidad de materia seca por época del año, finca La Unión.	48
Tabla 3.10.	Comportamiento de las ganancias peso, finca La Unión.	48
Tabla 3.11.	Producción promedio de carne en pie, finca La Unión.	49
Tabla 3.12.	Efecto de la época del año sobre la carga (UGM ha ⁻¹), finca La Unión.	49
Tabla 3.13.	Evolución de los niveles de oferta forrajera según la época del año, finca La Unión.	50
Tabla 3.14.	Déficit de nutrientes según la época del año, finca La Unión.	51
Tabla 3.15.	Composición bromatológica de <i>B. pertusa</i> y del heno en el PPLL.	57
Tabla 3.16.	Disponibilidad de materia seca de <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	59

	Título de la tabla	Página
Tabla 3.17.	Consumo de heno y su equivalencia por cada 100 kg ⁻¹ PV.	59
Tabla 3.18.	Comportamiento del peso vivo en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	60
Tabla 3.19.	Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	61
Tabla 3.20.	Producción de carne en pie en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	61
Tabla 3.21.	Evolución de las UGM ha ⁻¹ en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	61
Tabla 3.22.	Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	62
Tabla 3.23.	Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	62
Tabla 3.24.	Déficit de minerales en los sistemas con <i>B. pertusa</i> durante el PPLL, animal día ⁻¹ .	63
Tabla 3.25.	Composición bromatológica de <i>B. pertusa</i> en el PLL.	65
Tabla 3.26.	Disponibilidad de materia seca de <i>B. pertusa</i> en el PLL.	66
Tabla 3.27.	Comportamiento del peso vivo en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PLL.	66
Tabla 3.28.	Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PLL.	67
Tabla 3.29.	Producción de carne en pie en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PLL.	67
Tabla 3.30.	Evolución de las UGM ha ⁻¹ en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PLL.	68
Tabla 3.31.	Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en los sistemas con <i>B. pertusa</i> en el PLL.	68
Tabla 3.32.	Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en los sistemas de <i>B. pertusa</i> en el PLL.	69
Tabla 3.33.	Déficit de minerales en los sistemas con <i>B. pertusa</i> durante el PLL, animal día ⁻¹ .	70
Tabla 3.34.	Composición bromatológica de las especies forrajeras en el sistema silvopastoril en el PPLL.	72

	Título de la tabla	Página
Tabla 3.35.	Disponibilidad de materia seca de los pastos en el SSP durante el PPLL.	72
Tabla 3.36.	Disponibilidad total de materia seca en el SSP durante el PPLL.	73
Tabla 3.37.	Comportamiento del peso vivo en el SSP durante el PPLL.	73
Tabla 3.38.	Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en el SSP durante el PPLL.	74
Tabla 3.39.	Producción de carne en pie en el SSP durante el PPLL.	74
Tabla 3.40.	Evolución de las UGM ha ⁻¹ en el SSP durante el PPLL.	75
Tabla 3.41.	Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en el SSP para el PPLL.	75
Tabla 3.42.	Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en el SSP en el PPLL	76
Tabla 3.43.	Déficit de minerales en el SSP para el PPLL, animal día ⁻¹ .	76
Tabla 3.44.	Composición bromatológica de las especies forrajeras en el sistema silvopastoril en el PLL.	78
Tabla 3.45.	Disponibilidad de materia seca de los pastos en el SSP durante el PLL.	78
Tabla 3.46.	Disponibilidad total de materia seca en el SSP durante el PLL.	79
Tabla 3.47.	Comportamiento del peso vivo en el SSP durante el PLL.	79
Tabla 3.48.	Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en el SSP durante el PLL.	80
Tabla 3.49.	Producción de carne en pie en el SSP durante el PLL.	80
Tabla 3.50.	Evolución de las UGM ha ⁻¹ en el SSP durante el PLL.	81
Tabla 3.51.	Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en el SSP para el PPLL.	81
Tabla 3.52.	Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en el SSP en el PLL	82
Tabla 3.53.	Déficit de minerales en el SSP para el PPLL, animal día ⁻¹ .	82

	Título de la tabla	Página
Tabla 3.54.	Costos totales de la finca La Providencia (USD).	83
Tabla 3.55.	Análisis económico de la finca La Providencia.	84
Tabla 3.56.	Costos totales de la finca La Unión (USD).	84
Tabla 3.57.	Análisis económico de la finca La Unión.	85
Tabla 3.58.	Costo total del sistema con <i>B. pertusa</i> en el PPLL, USD.	85
Tabla 3.59.	Análisis económico del sistema con <i>B. pertusa</i> en el PPLL.	86
Tabla 3.60.	Costo total del sistema con <i>B. pertusa</i> en el PLL, USD.	86
Tabla 3.61.	Análisis económico del sistema con <i>B. pertusa</i> en el PLL.	87
Tabla 3.62.	Costos totales del sistema silvopastoril en el PPLL, USD.	87
Tabla 3.63.	Análisis económico del sistema silvopastoril en el PPLL.	88
Tabla 3.64.	Costos totales del sistema silvopastoril en el PLL, USD.	88
Tabla 3.65.	Análisis económico del sistema silvopastoril en el PLL.	89
Tabla 3.66.	Consolidado de los indicadores beneficio/costo.	89
Tabla 3.67.	Relación entre los ingresos netos y la carne en pie producida.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Título de la figura	Página
Fig. 3.1.	Relación entre la disponibilidad de MS y las ganancias medias diarias de peso vivo.	45
Fig. 3.2.	Relación entre la disponibilidad de MS y las ganancias medias diarias de peso vivo.	50
Fig. 3.3.	Correlación entre la disponibilidad de MS y las precipitaciones.	52

INTRODUCCIÓN

La ganadería representa alrededor del 40 % del valor agregado en la agricultura mundial. Cinco de los diez principales productos agrícolas que se comercializan son de origen animal y, en su mayoría, son consumidos localmente. En perspectiva, a nivel global se prevé que para el año 2050 la demanda de alimentos de origen animal aumente y que lo haga de forma más rápida en los países en desarrollo, como los de la región de América Latina y el Caribe (Mottet y col., 2017; CEPAL-FAO-IICA, 2018; FAO, 2018c).

La ganadería juega un papel preponderante, no sólo porque representa el 46 % del producto interno bruto (PIB) agrícola regional, sino también por sus aportes al total de la economía, a la seguridad alimentaria, la nutrición, la reducción de la pobreza y la sustentabilidad ambiental (García-Winder, 2015; Barairbar-Norberg, 2020).

En Colombia la ganadería es una de las actividades más significativas dentro del sector agropecuario y agroindustrial del país (Nieto-Sierra y col., 2020). Sin embargo, el comportamiento del ganado bovino como subsector se caracteriza por la creciente pérdida de la productividad, su alto impacto ambiental y sus conflictos por el uso del suelo (FAO, 2019).

Según información oficial de la Mesa de Ganadería Sostenible (2019), el 77,3 % de los territorios ganaderos presentan algún grado de erosión, la ganadería extensiva se asocia a casi el 60 % de la deforestación y es responsable del 43 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el país.

Los sistemas de la región Caribe Colombiana poseen el mayor número de bovinos (6,9 millones de cabezas) destinados a la producción de carne. Predominan los sistemas de doble propósito, que se caracterizan por presentar genotipos y manejos adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la región, así como una tradición en esta actividad económica (Tapia-Coronado y col., 2019).

La alimentación de los bovinos depende casi que exclusivamente del forraje producido en praderas naturales, afectadas por la estacionalidad de las lluvias. La dinámica hidrológica de la zona y la variabilidad espacial y temporal del forraje, en conjunto con los manejos extensivos constituyen la principal causa de los bajos índices zootécnicos y el elevado impacto ambiental de la ganadería regional (Vélez-Terranova, 2019).

Por otra parte, las áreas ganaderas se encuentran representadas por *Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus, con restricciones estacionales en el rendimiento de materia seca (Roncallo-Fandiño y col., 2020).

Este pasto tiene una alta producción de estolones y de semillas viables, con una amplia adaptación a condiciones de suelos de baja fertilidad en áreas de escasa precipitación y buena tolerancia al pisoteo, lo que le confiere una mayor adaptación y mejor resiliencia relativa con respecto otras especies de gramíneas presentes en la región (Doncel y col., 2016; Portela-Pérez y Brito-Martínez, 2018).

En este punto es pertinente argumentar que, este panorama tiende a empeorar con el tiempo, los pronósticos indican que el cambio climático afectará en gran medida a la región Caribe colombiana, con periodos de sequía cada vez más frecuentes, secos y prolongados. A esto se le suma el estancamiento de la actividad productiva, el tradicionalismo de los propietarios, la falta de acciones extensionistas, el limitado acceso a la innovación y la implementación de nuevas tecnologías para la producción animal, y la falta de proyectos con soportes financieros (CEPAL-FAO-IICA, 2018; Arosa-Carrera y col., 2019).

Por consiguiente, ante estos desafíos la ganadería necesita de estrategias que aumenten la productividad ganadera y los ingresos de los productores, y a la vez reduzcan la degradación de la tierra, incrementen la capacidad de adaptación al cambio climático y disminuyan las emisiones de GEI. Esto se lograría a través del fortalecimiento de los enfoques climáticamente inteligente; la implementación de políticas intersectoriales, tecnologías y técnicas de ganadería sostenible; monitoreo de las emisiones de GEI y de la capacidad de adaptativa en el sector ganadero (Torres y Delgado, 2018; FAO/CEPAL, 2020; FAO, 2021).

Dado estas condiciones, la producción de los bovinos en desarrollo es de los eslabones más afectados de la cadena productiva, ya que requieren de un prolongado tiempo para alcanzar el peso de sacrificio (FEDEGAN, 2018a). Esta categoría es económicamente importante, sin embargo, resalta la ausencia de estrategias para la alimentación del ganado en el periodo poco lluvioso que eviten el sobrepastoreo e incrementen la productividad por unidad de área (Argüello-Rangel y col., 2019).

Entre las estrategias a implementar se encuentran los sistemas silvopastoriles (SSP) que son una de las soluciones más innovadoras para dar respuesta al reto ganadero de producción sustentable (Murgueitio y col., 2019).

La introducción de los árboles en las pasturas incrementa la producción de forraje y la calidad nutricional de la dieta, permite emplear una mayor carga animal por hectárea y obtener ganancias de peso superiores en rumiantes, respecto a las que se alcanzan en otros sistemas forrajeros tropicales (Rivera-Herrera y col., 2017).

Además, los SSP propician el aumento de la biota edáfica que acelera la descomposición de las bostas, contribuye al control de las enfermedades parasitarias en los rebaños, optimiza la eficiencia en la producción de carne por hectárea, transforma el paisaje ganadero y contribuye al bienestar animal (Soca y col., 2016; López-Vigoa y col., 2017).

Sin embargo, en la Región Caribe en Colombia, estos sistemas han sido poco implementados. Una de las principales causas de su baja adopción son los costos asociados a su establecimiento, pero también al desconocimiento de las ventajas que este tipo de sistemas tendrían para rehabilitar y recuperar suelos deteriorados (Contreras-Santos y col., 2020).

Otra alternativa a tener en cuenta es el uso de suplementos minerales. Cuando los pastos y forrajes son el principal y único recurso alimentario en la dieta de los animales en crecimiento, la nutrición mineral se torna crítica, ya que depende íntegramente de la composición bromatológica de los pastos (Sotelo y col., 2017).

Los minerales, entre otros nutrientes, se proveen a través de la suplementación de un alimento balanceado y/o mediante una ración total o parcialmente mezclada. De esta manera, la incorporación directa de cada nutriente en la ración garantiza que, de manera prioritaria, cada animal, consuma diariamente, la cantidad presupuestada para cubrir los requerimientos de producción (Bretschneider, 2018).

Debido al papel que desempeñan los minerales en las funciones orgánicas y metabólicas, las deficiencias de estos nutrientes incrementan las posibilidades de que se afecte la salud y el desempeño productivo de los animales.

Según Gibert (2019), los minerales se consideran como el tercer grupo de nutrientes limitante en la producción animal y su importancia radica en que son necesarios para la transformación de los alimentos en componentes del organismo o en los productos derivados de los animales como: leche, carne, crías, piel y lana.

Por tal motivo, cubrir los requerimientos nutritivos y minerales también debe ser una prioridad en todos los sistemas de producción. Sin embargo, la utilización de estas estrategias de alimentación es una práctica poco arraigada en la región. Su aceptación por los productores es controvertida, aspecto que necesita ser evaluado para disponer de argumentos que sustente sus ventajas y desventajas.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se planteó como:

Problema científico: En el Valle del Cesar, Colombia, la baja disponibilidad forrajera y la no satisfacción de los requerimientos nutricionales, limitan la obtención de mayores rendimientos productivos en los bovinos macho en desarrollo.

Para solucionar este problema, se propuso la siguiente:

Hipótesis: La suplementación mineral constituye una opción viable que aportará una mejora en el balance de nutrientes de los bovinos machos en desarrollo, en dos sistemas de producción ganaderos del Valle del Cesar, Colombia; lo cual permitirá incrementar sus desempeños productivos.

Los objetivos de la investigación fueron:

Objetivo general: Evaluar el comportamiento de los indicadores productivos de los bovinos machos en desarrollo en dos sistemas de producción ganaderos del Valle del Cesar, Colombia, mediante el empleo de suplementación mineral.

Objetivos específicos:

- Evaluar los indicadores productivos de los bovinos machos en desarrollo en dos sistemas de producción, bajo las condiciones de manejo del Valle del Cesar, Colombia.
- Determinar el efecto de la suplementación con minerales sobre el comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en un sistema de pastoreo en monocultivo con *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus y en un sistema silvopastoril con *Megathyrsus maximus* (Jacq) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs cv. Tanzania y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. cv. Cunningham.
- Determinar los beneficios económicos obtenidos a partir de la implementación de las alternativas evaluadas.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. La ganadería en América Latina y el Caribe: sus perspectivas y desafíos

La ganadería constituye un motor para el desarrollo de la agricultura, así como un impulsor de cambios económicos, sociales y ambientales en los sistemas alimentarios globales. Está ligada al sector de los cultivos forrajeros, genera coproductos, y en muchos países actúa como depósito de riqueza (FAO, 2019). Es parte integral de las prácticas tradicionales, los valores y los paisajes de numerosas comunidades en todo el mundo (Hernández-Malueños, 2021).

A nivel mundial, es una actividad que genera empleo para 1 300 millones de habitantes y se estima que el 30 % de la superficie terrestre se dedica a la ganadería, siendo uno de los usos principales de la tierra (Acosta y col., 2018; CEPAL-FAO-IICA, 2018). Por otra parte, contribuye a la seguridad alimentaria, según Mottet y col. (2017) y Barairbar-Norberg (2020) se espera que la demanda mundial de carne y leche aumente en un 57 y 48 % respectivamente entre 2005 y 2050.

En el contexto de América Latina, la tasa de crecimiento anual de la ganadería es muy superior al promedio mundial, 3,8 vs. 2,1 % (CEPAL-FAO-IICA, 2018). La población de bovinos se duplicó en los últimos 50 años de 201 a 418 millones de cabezas, pero el área de pasturas solo cambió de 411 a 560 millones, por lo que la carga animal creció de 0,44 a 0,75 animales⁻¹ ha⁻¹, valores que están por debajo de lo que sería la carga óptima para muchas pasturas tropicales (Pezo, 2019). Según el autor, la degradación de las pasturas es uno de los problemas más apremiantes. Se estima que entre el 50 y 80 % presentan algún grado de degradación, lo cual no es exclusivo de las pasturas mejoradas sino también de los pastos naturales.

Entre las causas más importantes se encuentran: la falla en la selección y el establecimiento de las especies, el manejo, la presencia de plagas y enfermedades, el uso inadecuado del fuego, el exceso o déficit de las lluvias en algunas regiones y la fertilidad de los suelos, entre otras (Villalobos-Villalobos y Wing-Ching, 2019).

De ahí que la actividad ganadera en la región debe enfrentar importantes desafíos para su crecimiento potencial (Núñez-Domínguez y col., 2015). De una parte, los ambientales entre los que se encuentran el sobrepastoreo, la deforestación para ampliar la frontera ganadera; la contaminación del agua y los suelos; y la emisión de gases de efecto invernadero (Magrin, 2015; Benaouda y col., 2017; Contreras-Santos y col., 2020; Gotlieb y García-Girón, 2020).

Según Suber y col. (2019) la ganadería de esta región cuenta con el nivel de emisión más alto a nivel global, impulsado por la producción de carne de vacuno, ya que corresponde a un rubro importante para la economía regional (5,4 % del valor agregado del PIB del continente).

Hechas las consideraciones anteriores, conviene argumentar que además, están los factores socioeconómicos relacionados con: el recambio generacional y la feminización en las actividades agropecuarias; el desarrollo articulado de los diferentes sistemas de producción (explotaciones comerciales, ganadería familiar y ganadería de subsistencia); la propiedad y el acceso a la tierra; la frágil organización en el sector agropecuario, la migración o conflictos armados; y la vinculación a las cadenas productivas para cumplir con las cada vez mayores exigencias del mercado (calidad, trazabilidad, inocuidad y sanidad) (Arosa-Carrera y col., 2019).

Por consiguiente, según Lindmeier (2017), existen otros factores, no menos importantes, como son la urbanización, el aumento en la conciencia de los consumidores sobre su salud, las formas de producción (uso de antibióticos, hormonas y promotores del crecimiento), la emergencia por enfermedades, las modificaciones en los estilos de vida y la aparición de nuevas zoonosis.

Para dar respuesta a estos desafíos, será preciso fortalecer los esfuerzos en busca de alternativas de adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Se hace necesario desarrollar una ganadería competitiva, que integren procesos sostenibles, productivos, viables y alineados con los servicios ecosistémicos, que contribuyan a la recuperación de la capacidad productiva del suelo. De igual manera potenciar el uso de los recursos locales (gramíneas, leguminosas y especies arbóreas), que aporten alimentos, bienestar para el ganado y reducción de la huella ecológica.

1.1.1. Contexto de la ganadería en Colombia, región Caribe y Valle del Cesar

La ganadería bovina es la actividad económica con mayor presencia en el campo colombiano. Se encuentra en todas las regiones y los pisos térmicos, en todas las escalas de producción, y también en diversas especialidades: cría, levante, ceba, lechería especializada y doble propósito (FEDEGAN, 2018b).

Se reportan 34 millones/ha dedicadas a la ganadería, lo que equivale a aproximadamente el 30 % del suelo disponible para los sistemas agrícolas en el país. Los sistemas de producción utilizan fundamentalmente modelos de ganadería de tipo extensiva con muy baja carga animal y donde la principal fuente de alimentación son las pasturas (Mora y col., 2017).

Aproximadamente el 77 % de los suelos en zonas ganaderas presentan algún grado de degradación, la cual ha sido calificada de moderada a severa (IDEAM/UDCA, 2015; Contreras-Santos y col., 2020). Según las cifras de FEDEGAN (2018b), al finalizar el año 2016 existían aproximadamente unos 512 000 predios con ganado bovino en el país. Del total, el 67,1 % (343 523), tiene menos de 25 animales. Este rango representa la producción lechera minifundista de trópico alto, calificada como pequeña ganadería o ganadería de subsistencia donde el 43,6 % está en el rango de menos de 10 animales/predio.

El 31,5 % de las fincas albergan entre 26 y 500 animales reconocida como la clase media ganadera. Mientras que, solo el 1,0 % de los predios alberga más de 500 animales, que se puede considerar de alta escala de producción.

El hato bovino está constituido por 23,8 millones de animales (14,8 de hembras y 9 de machos), alcanzándose en el 2017, una producción que superó las 910 mil toneladas de carne y 6 500 millones de litros de leche. Además, contribuye con el 1,4 % del PIB nacional, genera el 6 % del empleo nacional y el 19 % del empleo agropecuario. Los bovinos aportan el 21,8 % del PIB agropecuario y el 48,7 % del PIB pecuario; y ocupa el puesto 12 a nivel mundial, el quinto en América y el tercero en Suramérica (Zuluagaa y Etter, 2017; FEDEGAN, 2018b; Enciso y Burkart, 2019).

A pesar de las dificultades del entorno rural en que se desarrolla y de los injustos estigmas que pesan sobre la actividad ganadera, esta ha mostrado avances durante los últimos años, en aspectos sanitarios, transferencia de tecnológica, modernización de los procesos de sacrificio y transformación de carnes; se resalta el impulso de los ganaderos y de sus instituciones, para alcanzar importantes avances genéticos en el mejoramiento de sus rebaños (Mesa de Ganadería Sostenible, 2019).

En Colombia, el 39 % de la ganadería se dedica a la actividad doble propósito de carne y leche; el 35 % a la cría; el 6 % a la lechería especializada y el 20 %, a la ceba. Siendo las zonas con mayor participación ganadera la región Caribe (28 %) y la Oriental (27 %). Sin embargo, los sistemas productivos han mostrado un retroceso por los fenómenos climáticos extremos, con saldo de más de 310 mil bovinos muertos, 4,8 millones desplazados y pérdidas en la productividad y reproductividad del ganado (FEDEGAN, 2018b).

La región Caribe Colombiana tiene una participación importante en el PIB sectorial y en el mercado nacional, particularmente los departamentos del Cesar, Córdoba y Sucre. El 89 % de las tierras son utilizadas para la explotación pecuaria, posee 9,9 millones/ha de

pastos y 8,2 millones de bovinos, los que generan el 40 % de la leche fresca y el 38,0 % de la carne que se producen en el país (Martínez y col., 2019).

El Cesar es uno de los principales departamentos ganaderos de esta región, puesto que dispone de 1,6 millones/ha destinadas a dicha actividad y 17 155 predios. El 90 % de las explotaciones son de doble propósito y contribuyen con el 37,7 % de los bovinos en crecimiento. Producen 995 mil litros de leche/día y 61 650 t de carne/año como promedio, considerándose como de los mayores productores de la región (6,5 % del total nacional) (Grajales-Lombana, 2016).

La ganadería es el mayor aportante al producto interno bruto agropecuario del Cesar con más del 50 %. Con sus ventajas y perjuicios, el Cesar es un departamento ganadero en todas sus extensiones. Más de un millón de hectáreas del departamento están destinadas a la ganadería. Por eso, en el departamento surgió la discusión de hacer una ganadería sostenible, empezando por elevar el bajo promedio de una o dos cabezas por hectárea, teniendo en cuenta que, según información oficial, en el Cesar hay más de 1.500.000 cabezas de ganado (Caro-Daza, 2019).

En este punto cabe anotar que, los productores no siempre muestran interés por el desempeño productivo del ternero macho, aunque su cría constituya una opción de ingreso adicional en las fincas (FAO, 2021). Aunque se ha reconocido que la ganadería bovina como una de las principales actividades de la economía nacional, su desarrollo no planificado y en la mayoría de los casos con modelos productivos no compatibles con el entorno, la han posicionado también, como una actividad poco productiva y competitiva (Martínez y col., 2019).

No obstante, podría incrementar su potencial si se garantiza la disponibilidad de forraje en el periodo del año en que las precipitaciones son escasas y la satisfacción de los requerimientos de proteína, energía y minerales (Pezo, 2019).

En este sentido, aunque los centros de investigación y la comunidad científica han estudiado los procedimientos y las tecnologías necesarias para satisfacer dichos

requerimientos, no se ha profundizado en la utilización de los minerales como nutrientes, a pesar de su importancia para la salud, la producción y el bienestar de los animales (FEDEGAN, 2018a).

1.2. Sistemas de pastoreo con gramíneas en la región Caribe Colombiana

En Colombia, la producción de carne bovina (cría, levante, ceba) se localiza principalmente en las regiones de trópico bajo (0 a 1 000 msnm), donde se incluyen los sistemas ganaderos del Caribe Colombiano (Sotelo y col., 2017).

La alimentación de los bovinos es fundamentalmente a base de pasturas naturales, por lo que es común las carencias dado los bajos porcentajes de energía/proteína en los forrajes, y la disponibilidad de alimentos en la época seca (Tapasco y col., 2015; Argüello-Rangel y col., 2019; Mejía-Kerguelén y col., 2019).

Estos efectos se relacionan con la baja capacidad de resiliencia de los sistemas, el limitado acceso a modelos productivos sostenibles, el inadecuado asesoramiento técnico y la mala oferta nutricional (Barahona y col., 2014). Provocando pérdidas de peso totales en los animales, que se estiman de 20 a 40 kg animal⁻¹ y ganancias promedio inferiores a 400 g animal⁻¹ día⁻¹, lo que influye en los bajos índices productivos de la ganadería en la región (FEDEGAN, 2018a). Este panorama tiende a empeorar por los pronósticos a causa del cambio climático, con sequías cada vez más frecuentes y prolongados (Tapasco y col., 2015; Tapia-Coronado y col., 2019).

Entre las gramíneas más extendidas se encuentra el pasto *B. pertusa*, una planta perteneciente a la familia Gramineae (Tropical Forages, 2013); Es una de las gramíneas más establecidas en los sistemas ganaderos; sin embargo, debido a prácticas de manejo ineficientes y a condiciones climáticas adversas, esta pastura presenta bajos rendimientos y calidad nutricional, que son más evidentes durante los períodos de sequía, cuando los rendimientos de materia seca se pueden reducir entre 30 y 80 % (Mejía-Kerguelén y col., 2019; Roncallo-Fandiño y col., 2020).

En la mayoría de las praderas ha desplazado diversas especies de gramíneas mejoradas. Se le considera una maleza por su capacidad para colonizar los suelos y adaptarse a diferentes condiciones edafoclimáticas (Pérez-Cordero y col., 2018; Portela-Pérez y Brito-Martínez, 2018).

No obstante, estas características están siendo aprovechadas en la región, donde se ha convertido en una alternativa nutricional bajo condiciones en las que otros pastos con mayor capacidad de producción y palatabilidad, no pueden subsistir (Doncel y col., 2016).

Se adapta a suelos de baja fertilidad, así como a los arcillosos y franco-arcillosos, de textura fina, con pH de 5,0 a 7,5. Crece sin dificultad en plena exposición al sol o con radiación solar leve, pero no a la sombra. Se desarrolla en zonas con temperaturas de 21 a 27 °C, altitudes inferiores a 1 000 msnm y lluvias anuales de 600 a 1 200 mm (Patiño-Pardo y col., 2017).

Pérez-Cordero y col. (2018) señalan que la presencia de bacterias endófitas en esta especie, además de remover los contaminantes presentes en el suelo, suscitan un mayor crecimiento de las plantas, porque fijan nitrógeno y solubilizan los fosfatos y producen ácido indol acético y sideróforo.

El contenido de nutrientes y la digestibilidad del forraje de *B. pertusa* muestran diferencias entre las épocas de lluvia y seca. Tapia-Coronado y col. (2019) encontraron una interacción significativa genotipo x época para la proteína bruta (PB) con valores de 10,07 vs. 6,66 %, respectivamente.

En correspondencia con el planteamiento anterior, estudios realizados por Mejía-Kerguelén y col. (2021), reportaron variaciones en el contenido de PB. Una tendencia similar mostró la degradabilidad de la materia seca, de 63,9 a 53,8 %. Mientras que, los contenidos de fibra (FDN y FDA) en el forraje (hojas y tallos) mostraron un comportamiento inverso, incrementándose con la edad de la planta; según los autores,

a medida que se aumentó la edad de rebrote, disminuyó la concentración de ácidos grasos (AG % MS).

En cuanto a la producción de MS de esta gramínea, también se ve afectada por los efectos de las épocas en la región Caribe. Tapia-Coronado y col. (2019) reportaron valores de 1 797,03 y 927,5 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹ para el periodo lluvioso y seco. Resultados similares de productividad de MS fueron reportados por Chamorro y col. (2005) y Piñeros y col. (2011), quienes obtuvieron una producción promedio de 1 784 y 1 820 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹, respectivamente.

Según Tapia-Coronado y col. (2019) el potencial productivo de esta gramínea es limitado, al compararlo con genotipos mejorados. Lo que explicaría los bajos índices productivos que presenta la ganadería de carne y leche en la región Caribe Colombiano. Sin embargo, al calcular la reducción porcentual de MS que sufrieron las pasturas entre las épocas de lluvia y seca, se encontró que las gramíneas introducidas presentaron reducciones entre el 60–75 %. Mientras que en, *B. pertusa* la reducción en la productividad fue solo el 48 %, por los efectos de la baja disponibilidad de humedad, durante la época seca.

Los rendimientos de MS podrían aumentar con el empleo de la labranza vertical y la fertilización con fórmula NPK durante la época de lluvia. Esto fue corroborado por Portela-Pérez y Brito-Martínez (2018) quienes lograron incrementar la capacidad de carga en los cuartones, renovar las praderas e incrementar los rendimientos agronómicos.

Así mismo, Roncallo y col. (2012), obtuvieron incrementos significativos ($p < 0,05$) en la producción de MS (2,4 t de MS ha⁻¹) al realizar labranzas verticales y la incorporación al suelo de forraje verde de frijol, en sistemas silvopastoriles (SSP) con respecto al sistema a pleno sol (1,7 t de MS ha⁻¹). Mientras que, las ganancias de peso fueron de 659 vs. 450 g animal⁻¹ día⁻¹, debido al efecto de los tratamientos.

Sin embargo, un resultado contrario fue reportado por Piñero y col. (2011) quienes informan una baja tolerancia de esta especie a la sombra, con las mejores respuestas productivas para las condiciones de monocultivo. Por lo que se hace necesario continuar evaluando el potencial de esta especie bajo diferentes condiciones agroproductivas.

1.2.1. Estrategias de suplementación en los sistemas de pastoreo en Colombia

En términos generales, las gramíneas utilizadas por los ganaderos de la región Caribe de Colombia presentan crecimiento estacional y exhiben un desarrollo vegetativo intenso en el período de lluvias, que disminuye durante la época de sequía dada las condiciones climáticas de la región (Cajas-Girón, 2012).

Las gramíneas tropicales se caracterizan por presentar baja concentración de PB y energía, alto contenido de compuestos lignocelulósicos y desequilibrio en los minerales, con variaciones estacionales en cuanto a la cantidad y calidad del forraje (Moreno y Campo, 2016). Según los autores esto afecta la producción de carne, por ser sistemas de regular calidad y baja oferta forrajera, manejados principalmente en pastoreo continuo, trayendo consigo una reducción de la producción y pérdidas económicas para el productor.

Para mejorar la eficiencia de los bovinos de carne en pastoreo se debe considerar que los déficits no cubiertos por las pasturas en cualquier época del año se deben subsanar y que la mayor ganancia de peso debe ser fomentada durante la fase de crecimiento. Los alimentos deben cubrir los requerimientos, en cuanto a cantidad y calidad garantizando el crecimiento y la salud de los animales, sin dejar de tener en cuenta la relación costo/beneficio (Mejías-Caba y col., 2021).

En tal sentido surge la suplementación o alimentación estratégica como una herramienta complementaria para la producción tropical de carne en pastoreo, donde se mejora el microbioma ruminal y la degradación del forraje. En la época de sequía los animales aumentan el consumo de forrajes de baja calidad, por lo que se necesita

corregir las deficiencias de proteína en las pasturas, buscando revertir las pérdidas de peso mediante un mejor aprovechamiento de los nutrientes (Botero-Jaramillo y Martínez-Toro, 2017; EMBRAPA, 2020).

Por lo general los productores acuden al uso de concentrados y granos, que incrementan los costos de producción, sin embargo, se pueden utilizar otras estrategias como las praderas con mezclas de especies que ofrezcan una mayor diversidad de alimento para el ganado (Navia y col., 2015).

El uso de los recursos alimenticios disponibles como son los cultivos forrajeros y el establecimiento de sistemas de pastoreo rotacional con especies arbóreas nativas, en aras de mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción de carne (Nieto-Sierra y col., 2020).

Los forrajes pueden ser utilizados en forma fresca, ensilaje o heno, al respecto, Patty-Quispe y col. (2017) aducen que al suplementar durante el período seco los animales con heno de *Bothriochloa saccharoides* (Sw.) Rydb. (pasto vidal), *B. pertusa* (colosoana) y *Dichanthium annulatum* (Forssk.) Stapf (climacuna), reportaron ganancias moderadas o de mantenimiento sin pérdidas de peso vivo en los animales.

De acuerdo con FAO (2017) la implementación de estas tecnologías, permiten incrementar el beneficio neto económico en un corto tiempo y a su vez reducir la huella de carbono que se le atribuye a esta actividad. Por otra parte, estas alternativas mejoran la conversión de alimento a canal y disminuye el tamaño de las vísceras, aumentando los rendimientos cárnicos por animal (Muñoz, 2017).

1.3. Los sistemas silvopastoriles como alternativa sostenible para la ganadería bovina colombiana

Colombia alberga ecosistemas únicos y una gran diversidad biológica, con una variedad de gradientes eco-climáticos que se están modificando aceleradamente debido a la explotación de los recursos naturales (Buitrago y col., 2018). La ganadería ha

generado el mayor cambio en los paisajes rurales (expansión de las fronteras agropecuarias, la deforestación y el cambio en la cobertura vegetal) lo que ha llevado a enormes repercusiones ambientales y sociales (Argüello-Rangel y col., 2019; Morales-Rozo y col., 2021; Zepeda-Cancino y col., 2021).

Debido a esta problemática, es pertinente buscar alternativas que favorezcan la productividad y sean afines a los conceptos de sostenibilidad ambiental y conservación de la biodiversidad (Navas, 2017).

Entre ellas se encuentra el establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP), que integren plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustivas), leguminosas (rastreras, arbustivas) y pasturas, en diferentes arreglos silvopastoriles (Sotelo y col., 2017; Benavides-Cruz y col., 2021).

Los beneficios de los SSP han sido ampliamente tratados por la literatura (Murgueitio y col., 2013; López y col., 2015; Rivera-Herrera y col., 2017; Contreras-Santo y col., 2021). Respecto la mitigación al cambio climático, su establecimiento conlleva un aumento del potencial de almacenamiento de carbono frente a los pastizales en monocultivos por la mayor capacidad de absorción de carbono en la biomasa de los árboles (Suber y col., 2019; Hernández-Núñez y col., 2021).

Por otra parte, la inclusión de leguminosas de alto valor nutricional (balance energía-proteína de la ración), puede contribuir a optimizar la fermentación ruminal (López y col., 2014) y consecuentemente las emisiones de metano (Molina y col., 2016; Chara y col., 2020; Rivera y col., 2021).

Protegen el suelo contra la erosión y la escorrentía, incrementan su fertilidad a través del reciclaje de nutrientes, la fijación de nitrógeno atmosférico al suelo, crean condiciones favorables para la actividad biológica de la micro y macrofauna, y evitan la emisión de carbono por la pérdida de materia orgánica (Rojas-Vargas y col., 2019; Diaz-Lezcano y col., 2021).

Los SSP reducen los impactos negativos de la agricultura en la conservación de la biodiversidad, genera hábitat para organismos controladores biológicos, convierten la energía solar en biomasa, permiten un uso sustentable del agua, diversifican los productos (frutales, leñas, maderas y forraje) en las fincas ganaderas, disminuye el uso de insumos externos y reducen la contaminación ambiental (Grossi y col., 2019; Valdivieso y col., 2019).

Una ventaja importante de los SSP con respecto a las pasturas en monocultivo es que los árboles mejoran la calidad del alimento para el ganado, y proveen forraje durante todo el año, en especial en la época seca, donde hay mayor estrés hídrico (Canul-Solis y col., 2018). Favorecen la producción y calidad de los forrajes, ya que las gramíneas bajo la sombra presentan un mayor porcentaje de PB y de la digestibilidad de la MS; y por consiguiente, esto repercute en el balance nutricional de la dieta que consumen los animales (López y col., 2015; Ramírez-Iglesias y col., 2020).

A su vez, permite incrementar la carga animal, proveen sombra regulando el estrés calórico en los animales y mejoran los rendimientos en carne y leche por hectárea, y la calidad de los productos con un menor costo ambiental (López-Vigoa y col., 2017).

De esta forma, a nivel de finca o de región se necesita menos tierra para lograr el mismo volumen de producción; ello permite liberar áreas para la protección de la biodiversidad, el suelo o el agua sin afectar la eficiencia económica de las fincas agropecuarias. Además, posibilitan la intensificación de la ganadería en sistemas que, a la par de ser más eficientes, no atentan contra los recursos naturales sobre los que se sustenta la producción y la estabilidad de los ecosistemas (Díaz, y col., 2019).

1.3.1. Los sistemas silvopastoriles, resultados en la producción de bovinos en crecimiento

Diversas son las investigaciones que demuestran la contribución de los SSP para la producción de los rumiantes en el trópico. Sin embargo, los indicadores productivos están en función de las condiciones edafoclimáticas, el potencial de los animales, la

densidad de las plantas arbóreas y los pastos que se utilicen (Buitrago y col., 2018). Los sistemas de producción de leche han sido los más abordados (Sánchez-Santana y col., 2018), aunque también se muestran avances significativos en sistema para bovinos en crecimiento y la producción de carne, demostrando que constituye una variante tecnológica factible desde el punto de vista productivo, económico y ecológico (Iraola y col., 2017).

Investigaciones realizadas por Mahecha y col. (2011) en Colombia, en SSP con *L. leucocephala*, *Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg., y árboles maderables reportan ganancias de peso en bovinos machos en crecimiento (mestizo) de 796 y 863 g animal⁻¹ día⁻¹. Asimismo, Iglesias y col. (2011), encontraron ganancias entre 500–600 g animal⁻¹ día⁻¹ y producciones anuales de carne de 800 kg ha⁻¹, con estos sistemas.

Resultados similares fueron informados por Iraola y col. (2013), con ganancias promedio por animal entre 0,42 y 0,60 kg animal⁻¹ día⁻¹ y cargas en el rango de 1,1 a 5,5 animal⁻¹ ha⁻¹, al utilizar genotipos Cebú en SSP con diferentes arreglos a base de *L. leucocephala* y pastos naturales y/o mejorados para las condiciones de Cuba.

Sin embargo, Iraola y col. (2016) al utilizar SSP y complementación energética de la dieta (caña de azúcar y harina de maíz) reportaron valores de ganancia media diaria (GMD) de 573 y 622 g animal⁻¹ día⁻¹, en machos mestizos lecheros durante el período poco lluvioso.

Mientras que, Sánchez-Santana y col. (2016) al evaluar el peso vivo de animales Holstein x Cebú en un SSP (asociación de *M. maximus* cv. Likoni y *L. leucocephala* cv. Cunningham) con un suplemento energético a base de preparado de maíz y afrecho enriquecido con levadura torula, obtuvieron ganancias de peso superiores (1,08 kg animal⁻¹ día⁻¹), con respecto a los animales no suplementados (0,85 kg animal⁻¹ día⁻¹).

Torres y Delgado (2018) señalan que los SSP tienen un elevado potencial para la producción de carne por unidad de superficie (800 a >1 500 kg ha⁻¹ año⁻¹) sin empleo de fertilizantes en los cultivos o suplementos y anabólicos en el ganado. Estos trabajos

también evidenciaron buenos rendimientos en canal, producción de carne magra, color de la grasa subcutánea como para la desean los mercados modernos con mayor tenor de ácidos grasos polinsaturados, mayor proporción de ácidos oleico y linoleico conjugado, y antioxidantes como la vitamina E.

Además, las especies arbóreas poseen una variada composición de metabolitos secundarios con diferentes funciones biológicas los cuales representan una alternativa para disminuir la incidencia de enfermedades parasitarias en los animales en crecimiento y por consiguiente, una mejor condición corporal y calidad en la respuesta inmunológica; esto, unido a un entorno más favorable, favorece el bienestar animal y se alcanza una mayor resiliencia en los sistemas de producción (Soca y col., 2016).

1.4. Los minerales su importancia para la producción bovina

Los minerales son nutrientes inorgánicos disponibles en el suelo, el agua y los alimentos que no pueden ser sintetizados por el organismo animal. Sin embargo, por sus numerosas funciones (estructurales, fisiológicas, catalíticas y reguladoras) son esenciales para mantener la salud, la producción y la vida de los animales (Greene, 2016).

Fisiológicamente, los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, participando en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de membrana y de la irritabilidad tisular (Golf, 2018).

Cuando las deficiencias de minerales son de baja intensidad, resulta difícil identificar de cual proviene los síntomas clínicos detectados. Por ejemplo, la anemia es una característica de las deficiencias de hierro, cobre, cobalto, y vitaminas K, B₁₂ y ácido fólico, pero también constituye una manifestación de las intoxicaciones por molibdeno, selenio y cinc (Córdova-Izquierdo y col., 2021).

Según Nunes-Carvalho (2021), existen 14 elementos minerales considerados esenciales y que deben formar parte de la dieta de los animales. Esos minerales se

dividen en dos grupos: macrominerales y microminerales, o minerales traza, según las cantidades requeridas por el animal. Los macrominerales incluyen calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). Los microminerales son el cobalto (Co), cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se) y cinc (Zn).

La nutrición mineral adecuada es el factor con el mayor potencial y el menor costo para incrementar la producción animal en pastoreo, y debe ser una prioridad para diseñar las estrategias de alimentación (Warly y col., 2017).

Cuando se manejan animales en pastoreo, o los forrajes disponibles son el principal recurso alimenticio, la nutrición mineral se torna crítica, no siempre se cubren los requerimientos o se presentan excesos de determinado mineral comprometiendo la salud y producción de los animales (Berzaghi y col., 2018; Morales-Almaráz y col., 2021).

El contenido mineral de los bovinos comprende cerca del 40 % de su peso, principalmente de elementos como Ca, Mg y P (EMBRAPA, 2015). Una parte de las pérdidas que ocurren en la producción se debe a la reducción que se origina en la conversión alimentaria, debido a la deficiencia de minerales (Nunes-Carvalho, 2021).

Los minerales son vitales para la fisiología ruminal y cumplen funciones determinantes ya que además de su participación en los procesos enzimáticos vinculados a la digestibilidad de los nutrientes y la producción de ácidos grasos volátiles, controlan el funcionamiento del ambiente ruminal (la presión osmótica y la capacidad tamponante) y estas acciones los vincula de forma indirecta al crecimiento de los bovinos (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016; San Miguel y col., 2021).

La disponibilidad de minerales y la utilización de estos en el rumen dependen de la tasa de pasaje de los alimentos y de la interacción de los diferentes grupos presentes en la población microbiana (Hilal y col., 2016).

El déficit de P y de S reduce la actividad de los microorganismos que promueven la digestión de los compuestos lignocelulósicos y la síntesis de proteína, lo que provoca reducciones en el consumo y el suministro de nutrientes a los animales (Pedreira y Berchielli, 2011).

Al identificar las funciones que realizan los minerales en el desarrollo de los rumiantes Greene (2016) y Gómez y col. (2019) señalaron que el P y el Ca intervienen en el desarrollo óseo y en los procesos energéticos y de reproducción celular; Mg, Fe, Zn, Cu y Mn activan las enzimas microbianas; Co resulta determinante en la producción de vitamina B₁₂; S es un factor imprescindible en la digestión de la celulosa, la asimilación de nitrógeno no proteico (NNP) y la síntesis de vitaminas del complejo B; mientras que, Na, Cl y K participan en varios procesos metabólicos, entre otros.

Sin embargo, en los sistemas ganaderos no es usual que se analice la subnutrición por carencia de minerales, por lo general se diagnostica por deficiencia o intoxicación aguda. Además, el desconocimiento acerca del contenido de minerales en los forrajes, la inexacta estimación de las necesidades nutricionales y la falta de análisis integrales que definan sus interacciones son las que determinan las reducciones en el rendimiento de los animales (Balarezo y col., 2017).

1.4.1. Factores que afectan el contenido de minerales en los forrajes tropicales

Los factores que determinan el contenido de minerales en las forrajeras tropicales son: la especie, la localización geográfica, las propiedades del suelo, la cantidad y distribución de las precipitaciones, y el manejo que reciba el sistema suelo-planta-animal (Molano, 2012; Rajkumar y col., 2012).

También son determinantes las características del suelo en el que se desarrollan los forrajes (pH, textura y contenidos de humedad y materia orgánica). En el suelo estas relaciones son muy complejas; si su contenido o disponibilidad es baja se afecta el crecimiento de los forrajes, contrariamente el exceso de ciertos elementos los vuelve

tóxicos para los pastos o tienen un efecto antagónico sobre la absorción de otros por las plantas (Ramos y Cachena, 2017).

Otro aspecto que ejerce influencia en la composición mineral es el manejo que recibe la pradera, ya que el sistema de rotación, la fertilización, el riego, la ocupación y el descanso afectan la concentración de macro y microminerales en los forrajes. Sin embargo, estas interacciones han sido poco estudiadas (Ramírez y col., 2014).

La variabilidad en el contenido de minerales se presenta incluso entre cultivares, Patiño y col. (2017), hallaron variaciones en el contenido de P al evaluar dos cultivares de *M. maximus* cv. Mombasa y Tanzania, entre los 25 y 45 días de edad. Igualmente, Galindo y col. (2014) encontraron diferencias significativas en el contenido de Ca y P en el cv. Tanzania (relación Ca/P: 3,21) y en el cv. Mulato (relación Ca/P: 1,15).

Por su parte, Muñoz-González y col. (2014) reportaron diferencias entre las épocas del año en la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P; y señalaron que los pastos presentan los menores valores en el contenido de Cu, Fe y Zn durante el periodo lluvioso (PLL). Sin embargo, con la madurez de la planta disminuye la concentración de minerales, debido a procesos de dilución natural y a translocaciones hacia el sistema radical (Gómez-Merino y col., 2016).

La edad y la senescencia provocan la disminución de Ca, P y Mg; y, como en las hojas se acumula la mayor concentración de minerales con respecto al tallo, cuando aumenta la edad se reduce la relación hoja/tallo y la presencia de dichos elementos (Jaramillo y Severino, 2015; Larios, 2016).

Sin embargo, no se han realizado muchos estudios sobre la evaluación del contenido de minerales en gramíneas bajo SSP. Gaviria-Urbe y col. (2015), al evaluar un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) con *L. leucocephala*, asociada a *M. maximus* y *C. plectostachyus*, solo tuvieron en cuenta el P y el Ca.

Guimaraes y col. (2018) demostraron que cuando las gramíneas crecen bajo los árboles, retardan sus fases fenológicas (crecimiento, floración, fructificación y senescencia), con respecto a los pastos expuestos al sol, lo que permite aumentar el periodo de aprovechamiento del forraje con buena calidad. Además, el nivel de PB aumenta en un 40,4 %, los contenidos de P en un 44,4 % y el K en 103,8 % y las concentraciones de Na en 33,3 %.

Asimismo, Maurig y Bernardis (2017) al analizar la influencia que ejerce la sombra en la composición química, hallaron que la reducción de la intensidad luminosa, altera la fisiología general y el metabolismo de los pastos, lo que provoca que varíe la composición mineral y bioquímica de las plantas, donde las especies pueden presentar un comportamiento particular. También se ha demostrado que las arbóreas poseen un mayor contenido de minerales que las gramíneas, lo que se atribuye a las diferencias fisiológicas entre las especies (Adjolohoun y col., 2013).

1.4.2. Requerimientos y biodisponibilidad de los minerales en bovinos en crecimiento

En el caso del ganado de carne, los requerimientos se estiman a partir del consumo de MS del animal, y se aceptan como válidos los establecidos por la NRC (2000). Se considera que una ración está balanceada cuando además de los valores de proteína y energía, se incluyen las vitaminas, los macros y microminerales para mantener el nivel productivo que se desea (Valadares Filho y col., 2016).

De acuerdo con las normativas establecidas en las tablas del NRC, las necesidades de Ca y P dependen del peso vivo y, una vez cubiertas las correspondientes al mantenimiento, es necesario sumar las requeridas para el crecimiento, en función de las ganancias (NRC, 2005) (Ver Anexo 1, muestra los requerimientos de macro y microminerales y las concentraciones máximas de tolerancia para esta categoría de animales).

Para un grupo de minerales (Mg, K, Na, S, Co, Fe, Mn, Se y Zn), los requerimientos están en función del consumo de MS. Mientras que, para otros minerales no están bien definidos, aunque se recomienda valores entre 0,038 y 0,5 % para el Cl; 0,50 mg para el I y de 0,2 a 1,0 mg/kg de MS para el Cr (McDonald y col., 2013).

De acuerdo con lo señalado por Berzaghi y col. (2018), los forrajes tropicales poseen concentraciones de minerales que no afectan obligatoriamente su desarrollo agronómico, (fundamentalmente Ca, P, K, Na, Mg, Zn, Cu, Co y Se) pero ello no significa que siempre estén en cantidades capaces de cubrir los requerimientos de los bovinos en pastoreo.

La suplementación mineral oral es la forma más eficiente de aportar minerales, ya que, cuando estos ingresan en el animal vía rumen, favorecen la actividad de los microorganismos; lo cual contribuye a incrementar la digestibilidad y el aprovechamiento del forraje (Ministerio de Agricultura de Colombia, 2018).

Durante todo el año existe la posibilidad de que se generen estados carenciales, aunque en la época de seca es el más proclive, por la disminución de la cantidad y la calidad de los forrajes. Sin embargo, en la lluvia hay mayor disponibilidad de pasto; pero también ocurren incrementos productivos que pueden provocar un déficit, debido al aumento de los requerimientos (Carrera y col., 2019).

Dentro de las categorías bovinas los animales en desarrollo son los más vulnerables, debido a que su dinámica fisiológica es muy alta, cualquier carencia durante esta etapa repercute en toda su vida productiva y retrasa el inicio de la actividad reproductiva de los animales (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016).

Para determinar si las necesidades de minerales de un hato están cubiertas es imprescindible, conocer la concentración de macro y microelementos de los forrajes y de todos los alimentos que los animales consuman (Rosero y Posada, 2016). En tal sentido, si se ofrecen sales mineralizadas a voluntad, ellos podrán regular su ingestión hasta que los procesos fisiológicos indiquen que los requerimientos están cubiertos. No

obstante, si algún elemento es ingerido en exceso y no se elimina mediante el sudor, la orina y las heces, los animales reducen el consumo de las sales (Berzaghi y col., 2018).

Sin embargo, la absorción de un elemento mineral no puede ser considerada como equivalente de biodisponibilidad, pero sí puede proporcionar una estimación de esta. Son muchos los factores que afectan la biodisponibilidad entre los más importantes están la categoría, especie, sexo, edad, estado fisiológico y la salud de los animales; la composición de la dieta; la cantidad de mineral consumido; la fuente mineral; el origen de la materia prima, entre otros (Goff, 2018).

Según Hilal y col. (2016) y Malik y col. (2017), la asociación de los minerales a la fracción fibrosa de los forrajes no digeribles en el tracto gastrointestinal o interacciones entre algunos de ellos pueden modificar su biodisponibilidad y provocar problemas por deficiencias o excesos. En este sentido, se conoce que las causas son diversas; y entre las más importantes se encuentran los problemas que ocurren durante los procesos de absorción, transporte, captación celular e intracelular, y los sitios de almacenamiento o excreción.

El Mo, el S y el Fe afectan la nutrición de Cu; el K, el Na y el NH₄ ruminal, la absorción de Mg; las sustancias goitrogénicas y el S (por la presencia de elementos cianogénicos en la sangre), las exigencias de Iodo; el exceso de Ca o Fe, la absorción de Cu, Zn y Mn; y el exceso de K, el Mg (Johnson, 2021).

La importancia de incorporar los minerales en los sistemas productivos es un criterio establecido en el manejo zootécnico y ha promovido el desarrollo de modelos de predicción encaminados a garantizar, mediante su incorporación, un aprovechamiento óptimo de los recursos forrajeros (Patiño y col., 2011). Existen diferentes productos para mejorar la biodisponibilidad de los microminerales, entre ellos los que incluyen complejos del metal con aminoácido, quelatos, proteínitas y complejos polisacáridos con los metales, aunque su efectividad no siempre ha podido ser demostrado (Malik y col., 2017; Warly y col., 2017).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización y secuencia de las investigaciones

Las evaluaciones se realizaron en la eco-región ganadera del Valle del Cesar, en el Departamento del Cesar, Colombia. Las áreas de investigación seleccionadas fueron las fincas La Providencia (10° 08,201" Nt, 73° 14,391" O), La Unión (09° 54,067" Nt, 73° 14,983" O); y el Centro de Investigación Motilonia (10° 1' 58,512" Nt y 73° 13' 29,946" O), perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA-Agrosavia). Los mapas de la región se muestran en el Anexo 2.

Las investigaciones fueron desarrolladas en el marco del proyecto: **Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles basados en *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit cv. Cunningham en el caribe seco colombiano**, financiadas por el Ministerio de la Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Los estudios se efectuaron en dos etapas experimentales:

- Etapa 1. Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en dos explotaciones ganaderas. Las evaluaciones se realizaron en dos fincas comerciales (La Providencia y La Unión), para caracterizar los indicadores productivos de los bovinos machos en desarrollo bajo las condiciones de manejo y alimentación que predominan en el Valle del Cesar (sistemas a base de pastos en monocultivo como único alimento, sin uso de sal mineralizada). El periodo de evaluación abarcó nueve meses, desde mayo/2011 hasta febrero/2012.
- Etapa 2. Comportamiento productivo de bovinos en desarrollo en dos sistemas de pastoreo con o sin suplementación mineral. Una vez caracterizado el

comportamiento productivo de los animales en las fincas, se inició la etapa 2 en el Centro de Investigación de Motilonia, donde se evaluaron dos sistemas de alimentación: monocultivo de *B. pertusa* y sistema silvopastoril; con la inclusión o no de sales minerales como parte de la alimentación. Los estudios se realizaron durante los periodos poco lluvioso (PPLL) y lluvioso (PLL), entre los años 2014 y 2015.

Concluida cada etapa experimental, se realizó una evaluación de la factibilidad bio-económica de los sistemas en estudio.

2.2. Descripción de los sitios de investigación

Los sitios de investigación utilizados son representativos de los sistemas productivos de la región, las cuales se encuentran a una altitud entre 100 y 160 msnm, sobre un relieve de topografía plana.

El área experimental, se identifica como región Caribe y Valles Interandinos. Posee 3 171 925 ha con formación vegetal de bosque seco tropical y tierras de planicies aluviales (Holdridge y col.,1971).

El clima se caracteriza por dos períodos bien definidos: uno lluvioso (PLL), de mayo a noviembre; y otro poco lluvioso (PPLL), de diciembre a abril, con una precipitación media anual de 1 550 mm. El piso térmico es cálido, con pocas variaciones en las temperaturas mensuales, cuyo promedio general fue de 29 °C.

La tabla 2.1 muestra los datos climáticos durante la etapa experimental, correspondiente a los valores promedios para el periodo: 2011-2015, que fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Motilonia, la cual se encuentra ubicada en la región de estudio.

Tabla 2.1. Datos climáticos del área experimental.

Mes	Precipitaciones, mm	Temperatura, °C	Humedad, %
Enero	29,1	29,41	50,76
Febrero	21,12	30,34	47,38
Marzo	45,74	30,46	48,66
Abril	128,82	29,62	58,00
Mayo	233,1	28,90	63,71
Junio	88,06	29,69	59,82
Julio	118,58	30,05	58,04
Agosto	113,84	29,05	62,96
Septiembre	180,8	28,59	65,53
Octubre	351,78	27,91	68,71
Noviembre	214,22	28,06	69,07
Diciembre	60,2	29,01	64,38

Los suelos de las áreas experimentales fueron evaluados según las técnicas descritas en el manual de procedimiento para análisis de suelo, agua y tejido vegetal (IGAC, 2009). Las muestras se tomaron entre 0 a 20 cm de profundidad. Los indicadores evaluados fueron: pH, materia orgánica (MO), macroelementos: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), fósforo (P), azufre (S), microelementos: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), Cinc (Zn), boro (B); capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y conductividad eléctrica (CE).

La tabla 2.2 muestra los valores que caracterizan el suelo de las fincas evaluadas en la etapa 1. La Providencia presentó un suelo de textura franco, pH alcalino, concentraciones bajas en Fe; medias en S, Mg y B, y altas en P, Ca, K y Na. Mientras que, La Unión posee un suelo de textura arenosa, pH ligeramente ácido, contenidos bajos de P, S, Mg, K, Na y B medios de Ca y altos de Fe.

Tabla 2.2. Características de los suelos en las fincas La Providencia y La Unión.

Indicador	La Providencia	La Unión
Textura	Franco	Arenoso
pH	9,0	6,4
MO, %	1,5	1,4
P disponible, mg/kg	39,2	4,1
S disponible, mg/kg	15,5	5,9
Ca intercambiable, Cmol (+)/kg	14,7	3,9
Mg intercambiable, Cmol (+)/kg	2,2	0,7
K intercambiable, Cmol (+)/kg	0,5	0,1
Na intercambiable, Cmol (+)/kg	1,5	0,1
CICE, Cmol (+)/kg	18,2	4,8
CE, dS/m	0,7	0,2
Fe disponible, mg/kg	10,0	60,0
Cu disponible, mg/kg	2,9	1,1
Mn disponible, mg/kg	0,9	1,0
Zn disponible, mg/kg	0,5	0,8
B disponible, mg/kg	0,3	0,1

La tabla 2.3 muestra los valores que caracterizan el suelo de las áreas experimentales utilizadas en la etapa 2, correspondientes a los sistemas de pastoreo en monocultivo con *B. pertusa* y los sistemas silvopastoriles, en el Centro de Investigación Motilonia. Se describe como un suelo de textura franco arcilloso-arenoso con pH alcalino.

2.3. Procedimiento experimental Etapa 1

2.3.1. Descripción del proceso de selección de las fincas

Para la selección de las fincas (La Providencia y La Unión) se adoptaron como criterios: privilegiar la representatividad del sistema de producción; la disponibilidad de animales en la categoría de bovinos machos en desarrollo, que para las condiciones de producción en Colombia se consideran en el rango de peso de 115 a 250 kg de PV y propietarios receptivos al desarrollo ganadero, con liderazgo y sentido de pertenencia.

Tabla 2.3. Caracterización de los suelos en las áreas experimentales en el Centro de Investigación Motilonia.

Indicador	SMG		SSP	
	SM	CM	SM	CM
Textura	Suelo franco arcilloso-arenoso			
pH	6,7	6,7	6,4	6,2
MO, %	1,6	1,4	0,9	1,0
P disponible, mg/kg	74,8	73,9	65,6	72,2
S disponible, mg/kg	1,4	2,5	3,9	13,2
Ca intercambiable, Cmol (+)/kg	6,9	6,0	5,4	5,1
Mg intercambiable, Cmol (+)/kg	2,6	2,2	1,7	1,6
K intercambiable, Cmol (+)/kg	0,3	0,2	0,3	0,4
Na intercambiable, Cmol (+)/kg	0,3	0,3	0,1	0,1
CICE, Cmol (+)/kg	10,1	8,7	7,6	7,1
CE, dS/m	0,3	0,2	0,2	0,2
Fe disponible, mg/kg	99,0	80,0	94,7	95,0
Cu disponible, mg/kg	5,4	4,2	3,8	3,9
Mn disponible, mg/kg	2,7	1,8	3,3	3,4
Zn disponible, mg/kg	1,0	1,0	1,0	1,2
B disponible, mg/kg	0,3	0,3	0,3	0,5

SMG: Sistemas de monocultivo de gramíneas

SSP: Sistemas silvopastoriles

CM: con suplementación mineral

SM: sin suplementación mineral

En la caracterización de las fincas se tuvo en cuenta la información disponible en la base de datos de la Federación de Ganaderos-Fondo Nacional del Ganado (FEDEGAN-FNG) y la contribución de los técnicos y funcionarios de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), quienes poseen conocimientos integrales de las explotaciones, debido a la asesoría y la fiscalización que realizan. Las características generales y productivas de las fincas se describen en el Anexo 3.

2.3.2. Manejo y alimentación de los animales

Las fincas seleccionadas tuvieron como sistema de producción el doble propósito; producción de leche, más la crianza de bovinos macho en desarrollo, con predominio de la raza comercial Brahman (Cebú). El estudio tuvo una duración de nueve meses enmarcados en dos períodos: PLL (junio-noviembre) y PPLL (diciembre-febrero). Se utilizaron sistemas de pastoreo en monocultivo de gramíneas representadas por *B. pertusa* (pureza entre 95 y 97 %), típicos de la región Caribe, sin la aplicación de riego ni fertilización.

El sistema de pastoreo utilizado fue rotacional en el PLL y continuo en el PPLL, sin utilización de suplementos ni sales minerales para los animales en ambas fincas. Las áreas de pastoreo poseían cercas perimetrales con alambre de púas mientras que los cuartones se delimitaban con cercas eléctricas.

En las investigaciones se mantuvo como premisa, mantener los aspectos tecnológicos de cada una y no realizar intervenciones en los manejos zootécnicos de las fincas.

Las explotaciones experimentales difirieron en el número de animales, la edad y el peso vivo (PV), por esta razón, en el diagnóstico, las fincas fueron analizadas de manera independiente.

La Providencia: Dispuso de 34 animales, con un peso promedio de $191,9 \pm 25,1$ kg y edades entre los 16-18 meses. El área de pastoreo contó con 10 ha, dividida en 11 cuartones (0,91 ha).

La Unión: Dispuso de 20 animales con un peso promedio de $115,9 \pm 16,0$ kg y edades entre los 10-12 meses. El área de pastoreo contó con 6 ha, divididas en cinco cuartones (1,2 ha).

En las entidades productivas los animales se encontraban clínicamente sanos al examen físico, cumpliéndose el programa de vacunación establecido en la región

(Aftosas, Septicemia hemorrágica, Edema maligno, Carbón sintomático) y el control de los endo y ectoparásitos.

2.3.3. Análisis estadístico

Los resultados se registraron en una base de datos Excel[®]. Para calcular la media, la desviación estándar, el valor máximo, mínimo, y el error estándar se empleó la estadística descriptiva mediante el paquete estadístico InfoStat[®], versión libre 1.1 para Windows. Los indicadores analizados fueron: la disponibilidad de MS por hectárea por rotación, el peso vivo, la disponibilidad de MS por cada 100 kg de PV por animal por día, la composición bromatológica y la ganancia media diaria de los animales.

Para establecer las relaciones entre la disponibilidad de materia seca y las precipitaciones, y entre las ganancias medias diarias de peso y la disponibilidad de MS 100 kgPV⁻¹ animal⁻¹ día⁻¹, se utilizó un análisis de correlaciones a través del programa estadístico IBM SPSS Statistics 20, para Windows[®], y los gráficos según el programa Microsoft Excel[®] 2007.

La ecuación de mejor ajuste se determinó sobre la base de los valores del coeficiente de determinación (R^2), los valores del error estándar (ES) y el valor de los residuos según la prueba de Durbin y Watson. Se adoptaron como criterios, priorizar la ecuación que se ajustara mejor a la respuesta biológica, ya que las ecuaciones se utilizaron como herramientas para describir las tendencias y relaciones de los indicadores entre sí, pero nunca con fines de predicción del evento biológico.

2.4. Procedimiento experimental Etapa 2

2.4.1. Tratamientos y diseño experimental

Las investigaciones se desarrollaron durante los periodos poco lluvioso y lluvioso, respectivamente, donde se evaluaron de manera independiente dos sistemas de alimentación con un diseño experimental totalmente aleatorizado y cuatro tratamientos:

- A. Sistemas de pastoreo en monocultivo (*B. pertusa*) con suplementación mineral
- B. Sistemas de pastoreo en monocultivo (*B. pertusa*) sin suplementación mineral
- C. Sistemas silvopastoriles con suplementación mineral
- D. Sistemas silvopastoriles sin suplementación mineral

Para cada tratamiento se seleccionaron, al azar, 10 bovinos machos en desarrollo, similares en edad (10 – 12 meses) y peso.

2.4.2. Características de los sistemas y manejo de los sistemas

Sistema de pastoreo en monocultivo: Los sistemas fueron implantados en un área permanente de *B. pertusa*, con más de 10 años de establecida, y su cobertura era del 90 %. Además, estaban presentes en un 10 % las especies *M. maximus* y *Dichanthium aristatum* (Poir.) C.E. Hubb.

Sistema silvopastoril: El sistema tenía cuatro años de establecido y estaba constituido por dos especies arbóreas: *Pachira quinata* (Jacq.) W. S Alverson, una planta maderable para sombra, a razón de 270 árboles ha⁻¹; y *L. leucocephala* cv. Cunningham para el consumo animal, a un marco de siembra de 7 x 3 m, con una densidad de 500 árboles ha⁻¹. El componente herbáceo estaba ocupado por *M. maximus* cv. Tanzania, con un 95 % de cobertura al comienzo de las investigaciones.

Manejo. Cada tratamiento dispuso de 2 ha, subdivididas en ocho cuartones de 0,25 ha. El ciclo de rotación fue de cuatro días de ocupación y 28 días de descanso, con un sistema secuencial de un cuartón después del otro.

No se utilizó riego ni fertilización; y, al finalizar las evaluaciones de cada época, se realizaron controles manuales y químicos de las malezas en los sistemas de pastoreo en monocultivos, y solo manuales, en el sistema silvopastoril. Todos los cuartones dispusieron de bebederos de 300 litros, con dispositivos de autollenado.

En los sistemas de pastoreo en monocultivos se instalaron estructuras de aluminio cubiertas con redes de polisombra, de 3 m de alto y base de 4 x 4 m. A partir del mes de diciembre, cuando, la disponibilidad de MS no fue suficiente para satisfacer los requerimientos de los animales, se incorporó, heno comercial de *B. pertusa* como suplemento. Este alimento fue depositado en un comedero techado de madera de 5 m de largo; 1,5 m de ancho y 0,5 m de alto, situado a la entrada de cada bloque de pastoreo. La oferta se inició a razón del 3 % del PV, según el peso alcanzado por los bovinos en los pesajes del mes de noviembre.

Para determinar el consumo se utilizó una prueba de oferta – rechazo. Durante la primera semana, esta medición se efectuó en días alternos para hallar el promedio de consumo y establecer una oferta del 15 % por encima del estimado. Todas las semanas se hicieron verificaciones para garantizar el cumplimiento de esta norma. Al finalizar cada mes, se calculó el promedio del consumo. Para compatibilizar las unidades de los consumos con las utilizadas en los forrajes, los valores del heno se transformaron a kg de MS $100 \text{ kg PV}^{-1} \text{ animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Suplementación mineral. La sal mineralizada utilizada en las investigaciones correspondientes a la Etapa 2 provino de la casa comercial Solla–Itagüi, Colombia. Se enviaron muestras al laboratorio del Instituto Colombiano Agropecuario, para la verificación de las concentraciones de sus componentes. Los ingredientes certificados fueron: Ca (9 %), NaCl (55 %), P (4 %), Fe (0,04 %), Mg (0,5 %), S (0,6 %), Zn (0,7 %), Cu (0,3 %), I (0,015 %), Co (0,005 %), Se (0,0075 %) y humedad (5 %).

Para su oferta se utilizaron saladeros plásticos. A la entrada de los animales a los cuartones, se les suministraba 2 kg de sal, y a la salida, al cuarto día, se pesaba lo que no habían consumido, para determinar por diferencia, el consumo del grupo.

Para calcular el consumo de sal promedio ($\text{g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$), se sumó la cantidad ingerida durante el mes y se dividió entre el número de animales y el número de días.

Consumo= Cantidad de sal ingerida (g)

10 (animales) x 4 (días).

2.4.3. Análisis estadístico

El diseño empleado fue completamente al azar. Para el análisis de los datos del periodo poco lluvioso se utilizó un modelo mixto, con medidas repetidas en el tiempo, según el procedimiento Proc Mixed del SAS® (2013). Se probaron las estructuras de varianza-covarianza (simetría compuesta, componentes de la varianza, Toeplitz, autoregresiva de orden 1 y no estructurada) para disminuir las fuentes de variación dentro del error.

Para seleccionar el modelo con la matriz de varianza-covarianza de mejor ajuste a los datos, se utilizaron los criterios de información Akaike, Akaike corregido e información bayesiana, para lo cual se consideró el valor más pequeño. En este caso, la de mejor ajuste fue la Toeplitz.

Las medias se compararon mediante la dócima de rango medios de Tukey (1953) y de Kramer (1956), para $p < 0,05$. Dentro del modelo, se consideraron como efectos: los tratamientos, con y sin adición de suplementación mineral; los meses de realización de los muestreos; y la posible interacción entre tratamientos por meses. Como efecto aleatorio se tuvo en cuenta los animales, anidado dentro de los meses.

La expresión general del modelo fue:

Donde:

Y_{ijk} =variable respuesta esperada en estudio

μ = media común a todas las observaciones

a_i = efecto fijo del i -ésimo tratamiento ($i=1, \dots, 8$)

b_j = efecto aleatorio del j -ésimo tiempo ($j= 14,21$ y 28)

(ab)ij = efecto fijo del i-ésimo tratamiento en interacción con el efecto aleatorio del j-ésimo tiempo (ij=1, ...,24)

Eijk = error aleatorio asociado a todas las observaciones

Para el análisis estadístico de las siguientes investigaciones, periodo lluvioso del sistema con *B. pertusa* y en ambos periodos para el sistema silvopastoril, se empleó el paquete estadístico IBMSPSS Statitics versión 22.

Se realizó un análisis de covarianza en el cual el peso vivo inicial de los animales se consideró como covariable. Previo a ello se comprobaron los supuestos de normalidad mediante test de Kolmogorov-Smirnov y de homogeneidad de varianza mediante el test del Levene. Las diferencias entre las medias se determinaron mediante el test de Tukey con un nivel de significación de 0,05 %.

2.5. Mediciones experimentales

2.5.1. Evaluaciones en los forrajes

Disponibilidad de forrajes (kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹): Para estimar la disponibilidad de materia seca (MS) de las gramíneas se utilizó la metodología descrita por Martínez y col. (1990), la cual incluye como factor de referencia, la altura promedio de 80 observaciones aleatorias. En todos los experimentos, las determinaciones fueron realizadas, en correspondencia a la rotación, el día anterior a la entrada de los animales en los cuartones. La disponibilidad se estimó de forma mensual a partir de los valores promedios hallados en los muestreos realizados durante cada mes. Como los estudios se efectuaron en función de los periodos pluviométricos del año, para obtener las disponibilidades representativas de cada época, se efectuó una ponderación promedio de los resultados, mensuales.

Las cifras se expresaron, según las necesidades de las evaluaciones, en Kilogramos de materia seca por hectárea por rotación, kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹ o en Kilogramos de materia seca por 100 kg de peso vivo por día, kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹.

Disponibilidad de las plantas arbóreas: La disponibilidad de *L. leucocephala* se evaluó, de manera aleatoria, en el 10 % de la población de plantas presentes en los cuartones correspondientes a los sistemas silvopastoriles, incluyendo plantas de diferentes alturas, según la metodología descrita por Lamela (1998). Los resultados obtenidos fueron procesados siguiendo los mismos principios utilizados para las gramíneas.

Composición bromatológica: En las gramíneas, las muestras utilizadas para determinar la composición bromatológica provinieron de las estimaciones de la disponibilidad al inicio y al final de cada mes. El pasto se cortó a partir de los primeros 10 cm de altura, mediante la simulación del bocado que hace el animal sobre el forraje (González, 2020). En las etapas experimentales, se tomaron cinco muestras representativas de 500 g.

La frecuencia de muestreo en las plantas arbóreas fue similar, pero en este caso la simulación del ramoneo incluyó como partes de las plantas, las hojas y los tallos tiernos de hasta 3 mm de diámetro y hasta una altura no mayor de 2 m (Lamela, 1998).

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de CORPOICA Bogotá, para determinar su composición bromatológica, según los procedimientos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 1989): materia seca (MS), proteína bruta (PB), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y cinc (Zn).

2.5.2. Evaluaciones en los animales

Determinación del peso vivo: Con la finalidad de monitorear el comportamiento individual de los animales, durante los periodos experimentales y conocer cómo eran cubiertos los requerimientos nutricionales, todos fueron pesados mensualmente de forma individual, previo ayuno de 12 horas. Se utilizó una báscula mecánica portátil marca Prometálico®, Modelo CUI 1500-E, con capacidad de $1\ 500 \pm 0,01$ kg.

Las ganancias de peso fueron calculadas a partir de las diferencias de peso vivo halladas al inicio y final de cada periodo evaluativo, mientras que la ganancia media diaria (GMD) de cada tratamiento, expresada en g animal⁻¹ día⁻¹, fue calculada de dos formas, a partir de un promedio de los cambios de los pesos vivos dentro de cada mes y uno al final del periodo experimental.

Evaluación de las ofertas de forraje: Teniendo en cuenta que los animales solo dispusieron de forraje y que, para garantizar la satisfacción de sus requerimientos de MS, es imprescindible un nivel de oferta que les permita seleccionar las partes de mejor calidad, en las pesquisas se efectuaron estimaciones que permitieran, determinar si los recursos forrajeros puesto a la disposición de los animales eran capaces de cubrir sus necesidades. Para ello se aplicaron los criterios de Reinoso y Soto (2006) quienes establecen un indicador denominado Nivel de Oferta Forrajera (NOF), el cual se obtiene mediante la fórmula siguiente:

NOF= Disponibilidad de MS

Capacidad máxima de ingestión de MS

Para efectuar los cálculos se tuvieron en cuenta los criterios siguientes:

- a) Transformar los valores de disponibilidad a kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹.
- b) Utilizar como capacidad máxima de ingestión de MS, (CI), las establecidas por el programa CALRAC® versión 1.0 (1996) para bovinos de carne, teniendo en cuenta que eran animales alimentados solo a base de pastos y transformar los valores a sus equivalentes en kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹.
- c) Evaluar los potenciales de satisfacción de los requerimientos de MS a partir de los valores obtenidos en esta relación.

Reinoso y Soto (2012) consideran que la disponibilidad no limita el desempeño productivo de los bovinos de carne en pastoreo, cuando la relación es superior a 1,5.

Requerimientos nutricionales: Se determinaron mensualmente, a través de balances alimentarios retrospectivos, teniendo en cuenta los pesos vivos y los promedios de las ganancias medias diarias (GMD) en cada mes. Los requerimientos de PB, Ca y P se determinaron con el empleo del programa CALRAC[®] versión 1.0 (1996); y el resto de los macros y microminerales, de acuerdo con lo establecido por la National Research Council (NRC, 2000).

En los cálculos se adoptó como principio que cuando los resultados mostraran ganancias de peso, los requerimientos de energía metabolizable (EM) estaban cubiertos y sus valores fueron determinados de forma retrospectiva mediante el programa CALRAC[®]. Los datos se transformaron a MJ, mediante la multiplicación de los valores en Mcal por 4.14.

Detección del déficit de minerales: El razonamiento utilizado para estimar los minerales carenciales fue determinar, según la cantidad de MS ingerida, las cantidades que aportaban los pastos y restar a esta cifra, los valores indicados como óptimos en las tablas de requerimientos, en función del PV y de las ganancias medias diarias mensuales.

En los tratamientos que incluyeron la sal mineralizada, a los aportes de los pastos (en cifras finales) se les sumó la cantidad adicional de cada elemento, de acuerdo con el consumo del suplemento (Méndez y col., 2016).

Igualmente, los balances nutricionales permitieron definir el grado de satisfacción alcanzado con la incorporación de la sal mineralizada. Para determinar la efectividad de la incorporación de los minerales en las dietas, se adoptaron los criterios propuestos por Nunes-Carvalho (2021), quienes consideran que la manera más expedita de conocer cuándo los animales presentan un déficit subclínico de minerales es la determinación de los incrementos productivos; lo que estimula la incorporación de una suplementación integral con estos elementos en las dietas.

2.6. Factibilidad económica

Los resultados económicos se calcularon a partir de los gastos fijos y variables de cada investigación, los cuales se transformaron a dólares norteamericanos (USD), a una tasa de cambio: 1,00 USD= \$ 2 873,00 pesos colombianos. En los costos fijos se incluyeron, como inversiones, la construcción de cercas, las estructuras para dar sombra a los terneros, el establecimiento de las praderas y el salario del personal a cargo de la explotación; y, como costos variables, el mantenimiento de los potreros y las cercas, el uso de sal mineralizada y la atención veterinaria.

En el establecimiento de las praderas se consideró que los gastos serían amortizados durante un tiempo útil de diez años; mientras que, la construcción de las cercas se valoró en cinco años.

Los costos totales incluyeron la suma de los gastos fijos y variables.

El ingreso bruto fue determinado mediante la resta del valor de venta, según el peso vivo de los animales, en el momento que finalizaba la investigación menos el costo al inicio. En las transacciones de compra y venta de los animales, el precio fue siempre igual, \$ 1,39 USD por kg de peso vivo.

Las respuestas económicas de los sistemas fueron determinadas mediante la división del ingreso bruto entre los costos totales. Los costos del kilogramo de carne fueron determinadas dividiendo la cantidad de carne en pie producida entre el ingreso neto de cada investigación.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en dos explotaciones ganaderas en la región del Valle del Cesar

Las investigaciones que se realizan en explotaciones ganaderas tienen entre sus ventajas que los resultados responden a la realidad productiva y que permiten, al apreciar las situaciones que enfrentan los propietarios en el manejo de sus explotaciones, trazar estrategias para mejorar los indicadores productivos (Arce, 2020).

Resultados

Finca La Providencia

La tabla 3.1 muestra la composición bromatológica promedio del pastizal (*B. pertusa*) según la época del año (los valores por meses aparecen en el Anexo 4). En el PLL, los contenidos de EM, PB, S y MN mostraron cifras superiores con respecto al PPLL. Mientras que, la MS, P, K, Cu y Zn manifestaron menores valores. Sin embargo, el Ca, Mg, Na y Fe no mostraron grandes cambios entre las épocas.

Las épocas del año tuvieron una marcada influencia en la disponibilidad promedio de materia seca. Este indicador fue 1,4 veces superior en el PLL con respecto al PPLL (tabla 3.2).

Tabla 3.1. Composición bromatológica de *B. pertusa*, finca La Providencia.

Índice	Periodo lluvioso		Periodo poco lluvioso	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
EM, MJ kg ⁻¹ MS	8,76	0,18	7,15	0,44
MS, %	25,22	0,64	28,23	0,72
PB, %	8,70	0,74	7,50	0,29
P, %	0,29	0,05	0,29	0,07
K, %	1,56	0,58	1,40	0,58
Ca, %	0,36	0,05	0,35	0,06
Mg, %	0,22	0,04	0,25	0,06
Na, %	0,05	0,02	0,06	0,02
S, %	0,62	0,15	0,45	0,24
Fe, mg kg ⁻¹ MS	226,60	48,08	245,25	128,34
Cu, mg kg ⁻¹ MS	6,60	1,14	6,00	3,16
Mn, mg kg ⁻¹ MS	58,60	1,52	61,50	8,35
Zn, mg kg ⁻¹ MS	25,00	2,45	26,50	5,07

Tabla 3.2. Disponibilidad de materia seca por época del año, finca La Providencia.

Periodo	Meses	Disponibilidad (kg de MS ha ⁻¹ rotación ⁻¹)	D.E.
Lluvioso	Junio	1 023,4	88,5
	Julio	1 028,8	98,9
	Agosto	1 348,2	94,3
	Septiembre	1 380,6	52,6
	Octubre	1 477,6	137,6
	Noviembre	1 100,2	94,3
	Promedio	1 226,5	247,1
Poco lluvioso	Diciembre	1 095,5	72,2
	Enero	930,3	4,3
	Febrero	541,1	11,0
	Promedio	855,6	284,7

La tabla 3.3 muestra que hubo incrementos en los pesos vivos y en las ganancias medias diarias, aunque con marcados contrastes en ambos indicadores según los periodos del año, con las mayores respuestas durante la época de lluvia.

La homogenización de los promedios mensuales de peso vivo señala que los valores en el PLL, son 3,8 veces más altos y las ganancias medias diarias 4,4 con respecto a los alcanzados en el PPLL (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Comportamiento de las ganancias peso, finca La Providencia.

Periodo	Mes	PV, kg	D.E.	GMD, kg animal ⁻¹ día ⁻¹	D.E.	
Lluvioso	Inicio	191,9	25,1			
	Junio	201,4	26,1	0,528	0,132	
	Julio	220,6	28,5	0,640	0,264	
	Agosto	235,9	34,5	0,546	0,343	
	Septiembre	246,0	38,8	0,414	0,380	
	Octubre	255,7	43,5	0,335	0,294	
	Noviembre	261,1	44,3	0,174	0,133	
	Incremento	Periodo	Mensual	Periodo		
	Promedio	69,2	11,5	0,440	0,305	
Poco lluvioso	Diciembre	268,9	49,4	0,269	0,256	
	Enero	271,8	48,7	0,091	0,068	
	Febrero	270,1	48,7	-0,061	0,116	
		Incremento	Periodo	Mensual	Periodo	
		Promedio	9,0	3,0	0,100	0,211
Total de la investigación						
	Incremento	Periodo	Mensual	Investigación		
	Promedio	78,2	8,7	0,326	0,320	

La producción de carne en pie, homogenizada a sus equivalentes por hectárea y meses, señala que en el PLL se produce el 88,5 % del total (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Producción promedio de carne en pie, finca La Providencia.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Lluvioso	2 352,8	235,3	39,2	88,5
Poco lluvioso	306,0	30,6	10,1	11,5
Total	2 658,8	265,9	29,5	100,0

Las diferencias en los cambios de los pesos vivos por efecto de la época también se reflejaron en la carga, UGM ha⁻¹, con incrementos 7,4 veces mayores en el PLL con respecto al PPLL (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Efecto de la época del año sobre la carga (UGM ha⁻¹), finca La Providencia.

Periodo lluvioso			Periodo poco lluvioso		
Junio	Noviembre	Incremento	Diciembre	Febrero	Incremento
1,45	1,97	0,52	1,97	2,04	0,07

En el PLL, los niveles de oferta forrajera fueron suficientes para que los animales satisficieran sus requerimientos de MS y seleccionaran el alimento que consumían (tabla 3.6). Sin embargo, a partir de diciembre comenzaron a tener limitaciones en este indicador las ofertas hasta alcanzar valores críticos en enero.

Las investigaciones señalaron que existía una relación entre la disponibilidad (kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹) y las ganancias diarias de peso. El mejor ajuste se encontró con una ecuación polinómica de tercer orden, que presentó un coeficiente de determinación (R²) de 0,86 y una R² Aj de 0,73 (figura 3.1).

La representación gráfica de la ecuación expuso que según la disponibilidad aumentaba, mayores eran las ganancias de peso y que cuando sus valores estaban por debajo de 3 kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹, ocurrían pérdidas.

Tabla 3.6. Evolución de los niveles de oferta forrajera según la época del año, finca La Providencia.

Periodo	Mes	Disponibilidad Capacidad de ingestión		NOF
		kg de MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹		
Lluvioso	Junio	5,0	2,7	1,8
	Julio	5,0	2,6	1,9
	Agosto	5,4	2,6	2,1
	Septiembre	5,5	2,6	2,2
	Octubre	5,5	2,5	2,2
	Noviembre	5,1	2,5	2,0
	Promedio	5,2	2,6	2,0
	Diciembre	3,9	2,5	1,5
Poco lluvioso	Enero	3,2	2,5	1,3
	Febrero	2,1	2,5	0,8
	Promedio	3,1	2,5	1,2

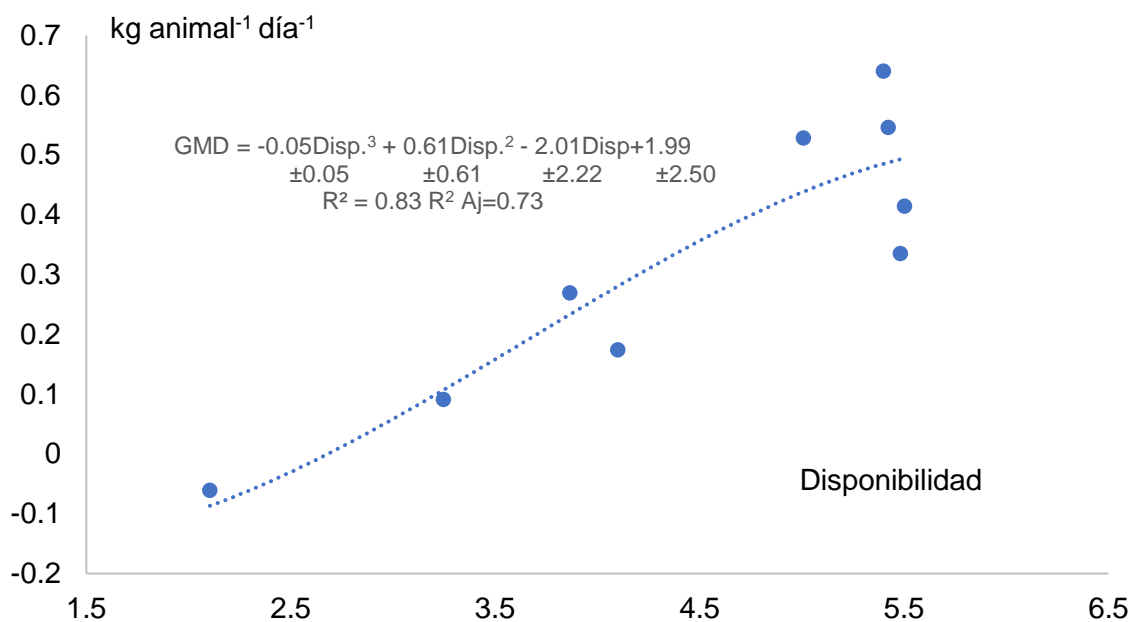


Fig. 3.1. Relación entre la disponibilidad de MS y las ganancias medias diarias de peso vivo, finca La Providencia.

Los balances alimentarios señalaron que, durante el período lluvioso, el pasto no cubrió los requerimientos de Na, Cu y Zn (tabla 3.7) (Ver anexo 5). El P fue deficitario en cinco meses y el Ca en tres. No se hallaron déficit en los nutrientes, EM, PB, K, Mg, S, Fe y Mn (Ver Anexo 4). En el periodo poco lluvioso, el Na siempre fue deficitario, PB, P, Cu y Zn en dos meses, el Ca y EM en un mes. No se hallaron déficit en el resto de los nutrientes evaluados.

Tabla 3.7. Déficit de nutrientes según la época del año, finca La Providencia, animal día⁻¹.

Periodo	Nutriente	EM, MJ	PB, g	P, g	Ca, g	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Lluvioso	Meses			5	3	6	6	6
	Promedio			1,0	0,9	3,1	20,5	37,3
	D.E.			0,3	0,8	0,3	6,5	22,2
	Mínimo			0,6	0,4	2,7	13,0	13,0
	Máximo			1,3	1,8	3,4	32,0	72,0
Poco lluvioso	Meses	1	2	2	1	3	2	2
	Promedio	0,4	6,5	2,4	1,3	2,7	43,5	10,5
	D.E.	0,0	4,9	0,5	0,0	0,7	5,7	4,9
	Mínimo	0,4	3	2,0	1,3	2,0	40,0	7,0
	Máximo	0,4	10	2,7	1,3	3,4	48,0	14,0

La comparación de las carencias entre las épocas señaló que, en el PLL, ocurren las mayores cuantías para el Na y Zn y las menores para el P, Ca y Cu. Los rangos en que oscilaron los déficits, señalan como más crítico el PPLL por presentar dos nutrientes adicionales con respecto al PLL, EM y PB y cifras superiores en el P y Cu, sin embargo, los animales requirieron menos Ca y Zn.

Finca La Unión

La composición bromatológica promedio del pastizal (*B. pertusa*) según la época del año se muestra en la tabla 3.8 (los valores por meses aparecen en el Anexo 4). El PLL, indujo mayores contenidos de EM, PB, S y Mn, no así para los nutrientes MS, P, K, Cu

y Zn que mostraron menores valores, mientras que el P, Ca, Na y Zn no revelaron cambios de importancia por efecto de los periodos pluviométricos.

Tabla 3.8. Composición bromatológica de *B. pertusa*, finca La Unión.

Indicador	Periodo lluvioso		Periodo poco lluvioso	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
EM, MJ kg ⁻¹ MS	9,04	0,10	7,52	0,18
MS, %	27,13	0,83	29,42	0,19
PB, %	8,35	0,28	7,30	0,35
P, %	0,21	0,03	0,27	0,05
K, %	1,08	0,15	1,20	0,26
Ca, %	0,42	0,04	0,4	0,03
Mg, %	0,23	0,05	0,27	0,06
Na, %	0,06	0,01	0,07	0,02
S, %	0,37	0,08	0,33	0,12
Fe, mg kg ⁻¹ MS	194,33	39,16	196,00	31,18
Cu, mg kg ⁻¹ MS	6,50	1,64	9,33	0,58
Mn, mg kg ⁻¹ MS	76,67	14,79	60,67	11,55
Zn, mg kg ⁻¹ MS	27,83	2,79	30,00	1,73

La disponibilidad de materia seca, kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹, presentó tasas menores en los rendimientos durante el PPLL con respecto al PLL, 1,3 veces (tabla 3.9).

La tabla 3.10, señala que las épocas del año influenciaron en los incrementos de peso. Los aumentos promedios mensuales en el PLL resultaron 2,6 veces más elevados y las ganancias medias diarias 3,0 superiores, con respecto al PPL. El cálculo general de la investigación arrojó que los animales aumentaron de peso, aunque con valores negativos en febrero.

Tabla 3.9. Disponibilidad de materia seca por época, finca la Unión.

Periodo	Meses	Disponibilidad (kg de MS ha ⁻¹ rotación ⁻¹)	D.E.
Lluvioso	Junio	818,7	151,6
	Julio	947,7	11,6
	Agosto	839,9	42,8
	Septiembre	819,2	3,6
	Octubre	923,6	8,9
	Noviembre	806,8	4,4
	Promedio	859,3	60,6
Poco lluvioso	Diciembre	845,7	5,1
	Enero	743,7	17,5
	Febrero	428,4	5,2
	Promedio	672,6	217,5

Tabla 3.10. Comportamiento de las ganancias de peso, finca La Unión.

Periodo	Mes	PV, kg	D.E.	GMD, kg animal ⁻¹ día ⁻¹	D.E.
Lluvioso	Inicio	115,9	16,1		
	Junio	142,3	21,3	0,876	0,298
	Julio	159,3	23,0	0,572	0,310
	Agosto	172,4	26,5	0,476	0,267
	Septiembre	176,2	28,0	0,089	0,077
	Octubre	180,2	29,0	0,135	0,154
	Noviembre	186,2	28,1	0,202	0,159
	Incremento	Periodo	Mensual	Periodo	
	Promedio	70,3	11,7	0,392	0,306
	Poco lluvioso	Diciembre	196,4	29,3	0,341
Enero		204,1	29,6	0,256	0,194
Febrero		199,7	28,4	-0,148	0,176
Incremento		Periodo	Mensual	Periodo	
Promedio		13,5	4,5	0,150	0,261
Total de la investigación					
Incremento	Periodo	Mensual	Investigación		
Promedio	83,8	9,3	0,311	0,300	

Las reducciones en el aumento del peso vivo durante el PPLL hicieron que el 83,9 % de la carne en pie se produjera en PLL y que se afectara la producción general de la finca (tabla 3.11).

Tabla 3.11. Producción promedio de carne en pie, finca La Unión.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Lluvioso	1 406,0	234,3	39,1	83,9
Poco lluvioso	270,0	45,0	15,0	16,1
Total	1 676,0	279,3	31,0	100,0

Las mayores respuestas productivas en el PLL incidieron en la carga, UGM ha⁻¹, con incrementos 3,1 veces superiores con respecto al PPLL (tabla 3.12).

Tabla 3.12. Efecto de la época del año sobre la carga (UGM ha⁻¹), finca La Unión.

Periodo lluvioso			Periodo poco lluvioso		
Junio	Noviembre	Incremento	Diciembre	Febrero	Incremento
0,86	1,36	0,50	1,36	1,52	0,16

Los niveles de oferta forrajera señalaron que durante el PLL no hubo limitantes para que los BMD pudieran cubrir sus requerimientos de materia seca y seleccionar el pasto que consumían, no así en el PPLL, donde ocurrió una disminución progresiva hasta convertirse en crítica a partir de enero (tabla 3.13).

Las investigaciones arrojaron que existía un vínculo entre la disponibilidad (kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹) y las ganancias diarias de peso (figura 3.2) y que esta relación podía ser descrita a través de una ecuación polinómica de tercer grado, con un coeficiente de determinación (R²) de 0,81 y una R² Aj de 0,69. La modelación de la ecuación reflejó que ocurren incrementos en las ganancias según la disponibilidad aumenta, y que cifras por debajo de 3 kg de MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹, no garantizan que los animales ganen peso.

Tabla 3.13. Evolución de los niveles de oferta forrajera según la época del año, finca La Unión.

Periodo	Mes	Disponibilidad Capacidad de ingestión		NOF
		kg de MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹		
Lluvioso	Junio	6,0	3,0	2,0
	Julio	6,0	2,9	2,1
	Agosto	4,9	2,8	1,7
	Septiembre	4,8	2,8	1,7
	Octubre	5,1	2,8	1,8
	Noviembre	4,4	2,8	1,6
	Promedio	5,2	2,9	1,8
Poco lluvioso	Diciembre	4,3	2,7	1,6
	Enero	3,6	2,7	1,4
	Febrero	2,3	2,6	0,9
	Promedio	3,4	2,7	1,3

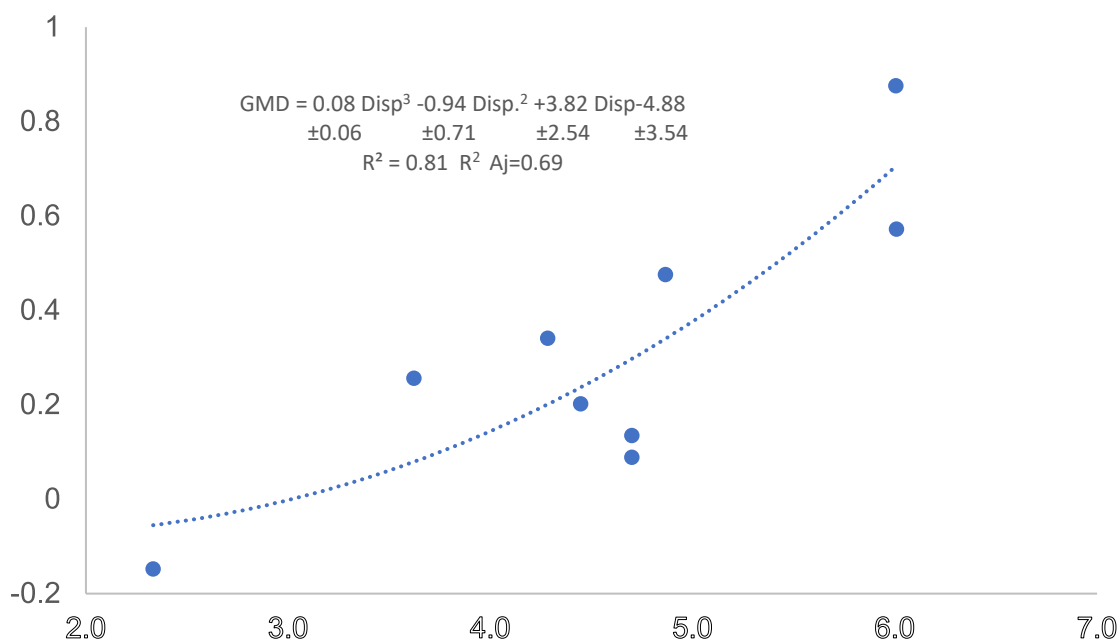


Fig. 3.2. Relación entre la disponibilidad de MS y las ganancias medias diarias de peso vivo, finca La Unión.

Los balances alimentarios mostraron que, en el PLL, los animales no suplieron sus necesidades de P, Na y Cu, con los aportes que recibieron del pasto, que estas limitaciones estuvieron presentes en cinco meses para el Zn y en cuatro para el Ca (tabla 3.7). (Ver anexo 5). No se encontraron limitaciones en la EM, PB, K, Mg, S, Fe y Mn.

En el periodo poco lluvioso, los minerales Na y Zn siempre permanecieron deficitarios, el Cu en dos meses y la EM, PB, P y Ca en un mes, No se detectaron desbalances en los otros nutrientes. En el PLL las cifras de los déficits fueron mayores para el Na y el Cu, menores en el P y Ca y similares en el Zn. Los rangos en que oscilaron los valores fueron mayores en el Na, Cu y Zn, y menores para P y Ca.

Tabla 3.14. Déficit de nutrientes según la época del año, finca La Unión, animal día⁻¹.

Periodo	Nutriente	EM, MJ	PB, g	P, g	Ca, g	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Lluvioso	Meses			6	4	6	6	5
	Promedio			1,4	0,9	2,5	17,2	15,4
	D.E.			0,4	0,5	0,2	9,0	12,3
	Mínimo			1,0	0,4	2,2	8,0	5,0
	Máximo			2,0	1,5	2,8	32,0	31,0
Poco lluvioso	Meses	1	1	1	1	3	2	3
	Promedio	1,3	8	2,7	1,6	2,0	5,0	14,7
	D.E.	0,0	0,0	0	0	0,3	0,0	7,2
	Mínimo	1,3	8	2,7	1,6	1,6	5,0	10,0
	Máximo	1,3	8	2,7	1,6	2,2	5,0	23,0

Relación entre la disponibilidad de forraje y la pluviometría

Los resultados señalaron que la disponibilidad de los forrajes está vinculada con el régimen de lluvia y que es factible de ser descrita mediante una ecuación de correlación entre la disponibilidad de forraje (kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹) y las precipitaciones (mm).

El mejor ajuste fue obtenido mediante una ecuación polinómica de tercer orden, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,79 y un coeficiente de correlación ajustado (R^2_{Aj}) de 0,60. La modelación de la curva señaló que la disponibilidad disminuye de forma crítica cuando las precipitaciones son inferiores a los 100 mm, con valores relativamente estables entre 150 y 450 mm y tendencia a aumentar a partir de 500 mm (figura 3.3).

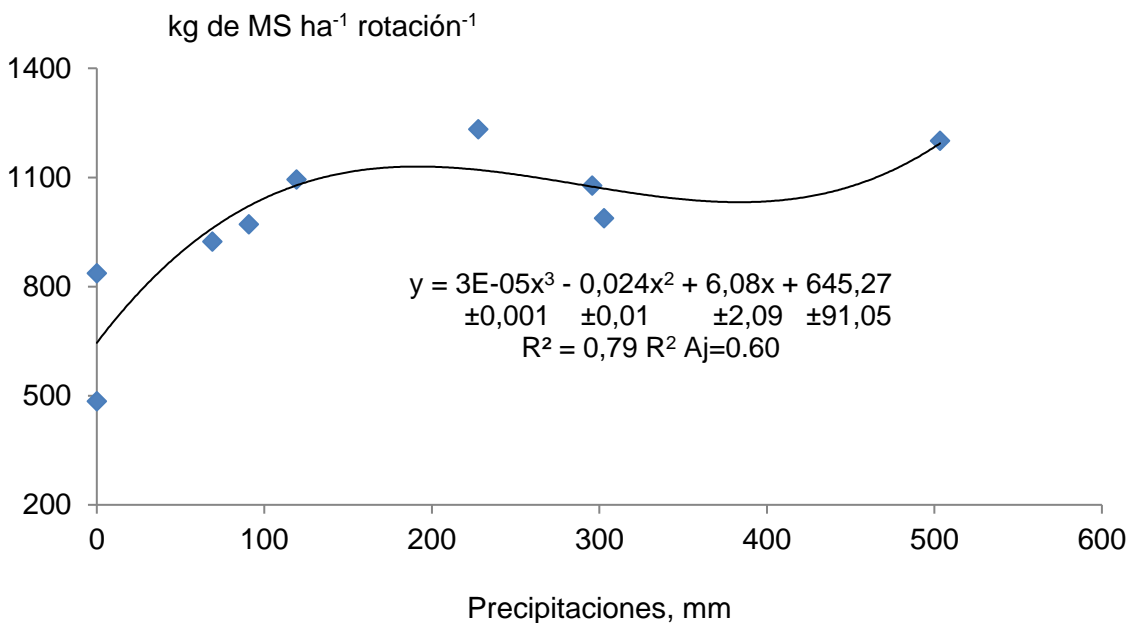


Fig. 3.3. Correlación entre la disponibilidad de MS y las precipitaciones.

Discusión

En las explotaciones ganaderas, donde los pastos constituyen el único alimento, las producciones zootécnicas están condicionadas a los aportes nutricionales que reciban, en cantidad y calidad, de los mismos y de los niveles de oferta forrajera que les permita cubrir sus potenciales de consumo de forraje. Este esquema de manejo tiene particular relevancia para los bovinos machos en desarrollo en el Valle del Cesar, porque constituye el sistema bajo el cual efectúan su crianza de esta categoría.

Los estudios pusieron de manifiesto la vinculación que presenta en la Región, la composición bromatológica de la *B. pertusa*, con los períodos del año. En el PLL los porcentajes de MS son menores con respecto al PPLL, no así los contenidos de EM y PB los cuales presentaron tendencias a ser superiores.

Un comportamiento similar fue reportado por Tapia-Coronado y col. (2019), al evaluar doce materiales genéticos forrajeros para las sábanas secas del Caribe Colombiano, que incluían *B. pertusa*. Según los autores, la época fue uno de los principales factores que afectaron la calidad nutritiva del forraje, porque como durante el periodo poco lluvioso los suelos presentan una baja humedad, los procesos metabólicos están limitados y en especial, la biosíntesis de nuevas moléculas. Esto ocasiona aumentos en los constituyentes fibrosos y una disminución en la digestibilidad y el consumo de los pastos.

Esta investigación puso de manifiesto que, en la Región, la *B. pertusa* no registra diferencias notables en la composición mineral por efecto de la época, no es adecuado descartar, la posibilidad que ocurran variaciones en algunos elementos, por efecto de las características de los suelos donde las plantas se desarrollaren (Roncallo, 2012).

Como las necesidades nutricionales de los pastos y los animales no siempre coinciden, es posible que los bovinos sometidos a este régimen alimentario no cubran, de manera total o parcial, sus requerimientos alimentarios, y que para lograr que expresen todo su potencial productivo, se haga imprescindible apelar, en función del elemento deficitario, a la suplementación.

De acuerdo con los criterios sobre los contenidos de minerales en los forrajes tropicales desarrollados por Balarezo y col. (2017), en esta evaluación, la *B. pertusa* presentó porcentajes bajos de P, Ca y Na, valores deficientes de Cu y marginales de Zn.

En la zona tropical, uno de los factores que más limita el desenvolvimiento productivo de los sistemas ganaderos es la estacionalidad que presenta la disponibilidad de materia seca, la cual muestra cifras favorables durante la época lluviosa y valores insuficientes en los periodos secos que ocasionan limitaciones productivas en los animales (Córdova-Izquierdo, 2017). En igual sentido, también ocurren diferencias dentro de una misma Región, por efecto de las condiciones físico-químicas y de fertilidad de los suelos (Portela-Pérez y Brito-Martínez, 2018).

Los resultados además de corroborar estos preceptos, mejores rendimientos en los suelos franco-arcilloso con respecto arenosos, alertó de cuán importante son estos principios para obtener ganancias productivas adecuadas. Estudios realizados en el Caribe Colombiano han demostrado la variabilidad que hay en la disponibilidad dentro de una misma región, así Roncallo y col. (2019), obtuvieron como promedio cifras superiores a las halladas en esta investigación, 2,0 t de MS ha⁻¹, mientras que Gaviria y col. (2012) alcanzaron índices similares.

Aun cuando la *B. pertusa*, por su amplio rango de adaptación a los suelos y sus rendimientos de materia seca en el período lluvioso, es un recurso fitogenético favorable para los sistemas ganaderos en el Valle del Cesar, su utilización durante el período poco lluvioso requiere de estrategias alimentarias dirigidas a cubrir la falta de disponibilidad de materia seca.

Los desbalances en la oferta forrajera han sido objeto de estudio por varios investigadores pues como los déficits de forraje reducen las ganancias de peso, ocurren disminuciones en la productividad, por unidad de área (Tapia-Coronado y col. ,2019).

Este comportamiento fue confirmado durante las valoraciones, ellas demostraron que la producción de pasto sustenta los incrementos de peso en el PLL y que a partir del PPLL, que comienza en diciembre, las reducciones en la oferta y en la calidad de los forrajes, repercute en este indicador.

Las vinculaciones entre la disponibilidad de forraje y las ganancias de peso también fueron corroboradas por Iglesias y col. (2014) cuando evaluaron en la etapa inicial, diferentes genotipos bovinos en Cuba.

Mejía y col. (2013) han estimado que, durante el periodo seco, en el Caribe Colombiano, los rendimientos en los forrajes disminuyen entre el 30 y el 60 %, y las pérdidas de peso, entre el 20 y el 40 kg animal⁻¹. Bajo estas condiciones, los índices zootécnicos resultan deficientes, con producciones de carne menores a 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ y edades al sacrificio mayores a 3 años.

Los datos obtenidos por Rivera y col. (2021) reflejan esta realidad y sientan el criterio que, para mejorar la productibilidad en la región Caribe, es necesario introducir tecnologías, complementos alimentarios y/o sistemas con mayores potenciales nutricionales, como es caso de los silvopastoriles.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el manejo de los BMD es cómo evolucionan en el tiempo las UGM⁻¹ en las explotaciones, porque ellas condicionan, entre otros aspectos, las demandas de forrajes.

Las épocas del año tienen un marcado efecto sobre este indicador con incrementos superiores, durante el PLL con respecto al PPLL. Sin embargo, las evaluaciones señalaron la necesidad de tener en cuenta otras condicionantes, como la edad, los pesos y UGM iniciales, porque con sus incrementos, la productividad por animal disminuye (Torregroza y col., 2015).

San Julián y col. (2015) señalan que las ganancias de peso no siempre mantienen su magnitud durante el año ya sea por cambios hacia condiciones nutricionales menos favorables, carencias de elementos fundamentales o porque las situaciones que originaron las ganancias desaparecieron. Es por eso que Iglesias y col. (2014) y Salcedo-Díaz (2019). consideran como aspecto vital que los pastos ofertados siempre estén disponibles en cantidad y calidad para que, mediante el uso eficiente de los

mismos, los animales puedan expresar sus potenciales productivos. Cuando estas condiciones no se cumplen, hay aumentos en el tiempo necesario para que los animales en crecimiento alcancen el peso de sacrificio (Iraola y col., 2013).

La incorporación a los análisis los niveles de oferta forrajera, permitió disponer de una visión más homogénea y abarcadora de las problemáticas productivas que enfrentan los BMD en el Valle del Cesar. Este indicador aportó criterios sobre la situación en que se encontraban la disponibilidad en los pastoreos y sus potencialidades para que pudiera satisfacer los requerimientos de MS.

Los resultados mostraron que es preciso garantizar una disponibilidad, en kg de MS $100 \text{ kg PV}^{-1} \text{ día}^{-1}$, por encima de 3,0 para evitar pérdidas de peso y que el valor óptimo se encuentra alrededor de 5,0.

Uno de los aspectos cardinales logrado, por las repercusiones nutricionales y de manejo que implican para las explotaciones ganaderas del Valle del Cesar, fue identificar los nutrientes deficitarios según la época del año, e incluso conocer los que resultaban de forma permanente.

El hecho que con independencia que los BMD pudieran cubrir o no sus capacidades de ingestión de forrajes, cinco minerales no pudieran ser cubiertos con los aportes bromatológicos de la *B. pertusa*. Bajo las condiciones del PPLL, a estas limitaciones se le incorporaran los requerimientos no cubiertos de la EM y la PB. Estos resultados alertan que para culminar el ciclo productivo de los BMD y garantizar una mejor respuesta productiva en la región, es imprescindible incluir en las dietas, suplementos que garanticen la cobertura de todos los requerimientos nutricionales.

En este sentido, Iraola y col. (2019), han insistido en la importancia de utilizar la suplementación como alternativa tecnológica para aumentar el desempeño animal, aspectos que serán abordados en el próximo capítulo de la Tesis.

3.2. Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en sistemas de pastoreo de gramíneas y silvopastoreo suplementados con minerales

3.2.1. Sistemas de pastoreo de *B. pertusa* durante el período poco lluvioso

Las desviaciones estándar de los componentes bromatológicos de *B. pertusa* y del heno indicaron que los valores estuvieron cercanos a las medias (tabla 3.15). En el Anexo 6 se muestran los valores por meses.

Tabla 3.15. Composición bromatológica de *B. pertusa* y del heno en el PPLL.

Indicador	<i>B. pertusa</i>				Heno	
	Con minerales		Sin minerales		Media	DE
	Media	DE	Media	DE		
EM, Mj. Kg MS ⁻¹	8,89	0,69	8,52	0,71	9,03	0,47
PB, % MS	10,76	0,72	10,16	1,10	8,37	0,38
Ca, % MS	0,45	0,13	0,47	0,12	0,29	0,03
P, % MS	0,25	0,03	0,24	0,02	0,17	0,02
K, % MS	1,65	0,47	1,31	0,53	1,31	0,06
Na, % MS	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Mg, % MS	0,21	0,12	0,20	0,10	0,21	0,02
S, % MS	0,20	0,12	0,21	0,10	0,20	0,01
Fe, mg kg ⁻¹ MS	185,26	67,52	186,69	65,27	204,00	7,55
Cu, mg kg ⁻¹ MS	8,52	1,39	9,95	1,75	7,00	2,00
Mn, mg kg ⁻¹ MS	44,76	16,18	49,85	24,29	25,33	1,53
Zn, mg kg ⁻¹ MS	28,33	18,09	26,64	2,65	23,33	2,52

En ambos tratamientos los porcentajes de PB, Ca y P oscilaron dentro de los señalados para este pasto por Piñeros y col. (2011) y Cajas-Girón y col. (2012). Sin embargo, con respecto a los valores informados por Chamorro y col. (2005), a excepción del Na que resultaron similares, los porcentajes de Ca, P, Mg, K y S, fueron inferiores mientras que los de Fe, Mn, Cu y Zn alcanzaron valores superiores.

Según los rangos sugeridos para los pastos tropicales por McDowell y Arthington (2005), la *B. pertusa* presentó concentraciones elevadas de Ca, K y Mg, y bajas, de P y Na. En los microelementos, el contenido de Fe fue adecuado; el de Mn, elevado; el de Zn, marginal; y el de Cu, deficiente.

Los henos presentaron mayores concentraciones de EM pero no de PB, Ca, P, K, Cu y Zn, mayores en el Fe y similares en el Na, Mg y S con respecto a los forrajes presentes en los pastoreo. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la calidad de los forrajes que les dieron origen. En el Valle del Cesar es práctica común confeccionar los henos en fardos enrollados de grandes dimensiones, a partir de áreas no asistidas, que tuvieron un receso de pastoreo hasta su cosecha al inicio del PPLL.

Al aplicar a los henos los criterios evaluativos de los pastos, se halló que los porcentajes de P, Ca y Na fueron bajos; mientras que los de K y Mg, altos. El contenido de Fe fue adecuado; el de Mn, inferior al óptimo; el de Cu, deficiente; y el de Zn, marginal.

Sin embargo, antes de emitir criterios, sobre las diferencias o similitudes que existan entre las investigaciones, es imprescindible tener en cuenta que las condiciones de suelo y clima bajos las cuales se desarrollaran los pastos, hacen variar las concentraciones de los minerales, por lo que es necesario en cada investigación, determinar la composición bromatológica específica (Avella-Peña, 2018).

Los BMD de ambos tratamientos estuvieron en igualdad de condiciones alimentarias, porque la disponibilidad de materia seca en los pastoreos no presentó diferencias significativas (tabla 3.16). Este indicador mostró descensos sostenidos desde octubre hasta diciembre y reducciones importantes, a partir de enero, comportamientos que ratifican la dependencia estacional de los sistemas asociados a la *B. pertusa*. Cajas-Girón y col. (2012), consideran que este factor, por las repercusiones que tiene sobre la productividad animal, incentiva la búsqueda de soluciones.

Tabla 3.16. Disponibilidad de materia seca de *B. pertusa* en el PPLL.

Meses	kg de MS ha ⁻¹ rotación ⁻¹		EE (±)	Valor P
	Con minerales	Sin minerales		
Inicio	1 299,3	1 288,9	27,23	0,14
Octubre	1 242,4	1 164,7	38,10	0,19
Noviembre	1 190,6	1 046,2	33,02	0,62
Diciembre	1 160,2	1 010,3	13,61	0,34
Enero	860,7	850,4	42,35	0,72
Febrero	740,9	730,2	39,02	0,65
Marzo	730,5	725,2	37,92	0,66

Cuando la disponibilidad es la adecuada, los bovinos pueden expresar mejor su potencial productivo, no solo porque tienen la posibilidad de seleccionar los componentes estructurales más nutritivos del pasto, sino también porque como no realizan sobrepastoreo, la persistencia de los pastizales está garantizada (FAO, 2022).

Según Salcedo-Díaz (2019) durante los periodos del año con escasas precipitaciones, en los sistemas que solo dependen de los pastos, la baja disponibilidad de los forrajes lastra las posibilidades de obtener mayores ganancias de peso.

La incorporación de heno a voluntad, desde diciembre, antes que ocurrieran las drásticas reducciones de forraje en los pastoreos, permitió que los animales pudieran garantizar sus requerimientos de materia seca en la misma medida que se reducían las disponibilidades de la gramínea. Además, permitió corroborar la importancia incorporar un suplemento voluminoso en este periodo del año (tabla 3.17).

Tabla 3.17. Consumo de heno y su equivalencia por cada 100 kg⁻¹ PV.

Mes	D	E	F	M	D	E	F	M
	Con minerales				Sin minerales			
Sistema	animal día ⁻¹							
Kg de MS	1,43	2,02	2,69	3,75	1,28	1,93	2,29	3,28
Kg ⁻¹ de MS 100 kg ⁻¹ PV	0,84	1,12	1,36	1,77	0,79	1,13	1,38	1,65

En la tabla 3.18 muestra el incremento del PV. Al inició, los grupos no presentaron diferencias significativas y mantuvieron esta condición hasta octubre. A partir de ese mes, los incrementos fueron significativamente superiores ($p < 0,0001$) en los bovinos que recibieron suplemento mineral. La incorporación del heno ejerció una influencia importante en estos resultados, ya que evitó que no ocurrieran pérdidas de peso cuando la disponibilidad de forraje no garantizaba cubrir los requerimientos de MS.

Tabla 3.18. Comportamiento del peso vivo en los sistemas con *B. pertusa* en el PPLL.

Mes	Peso vivo (kg)	
	Con minerales	Sin Minerales
Inicio	132,4 ^h	132,5 ^h
Octubre	149,7 ^g	146,5 ^g
Noviembre	158,4 ^f	150,9 ^g
Diciembre	170,5 ^e	161,9 ^f
Enero	180,4 ^d	174,7 ^e
Febrero	197,9 ^b	190,7 ^c
Marzo	211, 3 ^a	198,6 ^b
EE (±): 3,455		$p < 0,0001$

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El grupo con suplemento mineral tuvo un incremento promedio superior al 19,4 % con respecto al que no recibió las sales, 78,9 vs. 66,1 kg (tabla 3.19). Las ganancias medias diarias mostraron diferencias significativas ($p < 0,0095$). La inclusión del suplemento mineral representó un incremento del 19,3 %.

La inclusión de los minerales en el manejo, promovió incrementos del 19,4 % en la producción de carne en pie, resultados que se mantuvieron por hectárea, y por mes (tabla 3.20).

Estos resultados demostraron que la combinación del pastoreo con el suministro de heno y minerales es determinante para garantizar que los BMD incrementen sus ganancias de peso. Además, ratificaron lo importante que es no solo satisfacer los

requerimientos de MS para evitar el sobrepastoreo sino también los beneficios productivos que promueven los minerales (FCV-UNNE, 2016).

Tabla 3.19. Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en los sistemas de *B. pertusa* en el PPLL.

Indicador	Con minerales	Sin minerales	ES (\pm)	Sig
Peso vivo inicial, kg	132,4	132,5		
Peso vivo final, kg	211,3	198,6	3,5	p=0,0001
Incremento de peso, kg animal ⁻¹	78,9	66,1		
GMD PPLL, g animal ⁻¹ día ⁻¹	438,3	367,3	14.2	P=0,0095

Tabla 3.20. Producción de carne en pie en los sistemas de *B. pertusa* en el PPLL.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Con minerales	789	394,5	65,8	
Sin minerales	661	330,5	55,1	
Diferencia	128	64,0	10,7	19,4

Los mayores pesos vivos de los BMD en el tratamiento con minerales indujeron que durante todo el periodo presentara valores superiores en la UGM ha⁻¹ (tabla 3.21).

Tabla 3.21. Evolución de las UGM ha⁻¹ en los sistemas con *B. pertusa* en el PPLL.

Sistema	UGM ha ⁻¹						
	Inicio	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Con Minerales	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
Sin Minerales	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2

La tabla 3.22 muestra como a través de la oferta del heno a voluntad los animales logran satisfacer sus requerimientos de materia seca, mediante el incremento de la ingestión de este suplemento según disminuye la disponibilidad de forraje en los pastoreos y que bajo estas condiciones de autorregulación del consumo los NOF están

dentro del rango establecido como adecuado para que la oferta de forraje no sea limitante (Reategui y col. 2019).

Tabla 3.22. Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en los sistemas con *B. pertusa* en el PPLL.

Sistema	Mes	kg de MS 100 kg PV ⁻¹				
		CI	Disponibilidad	Heno	Total	NOF
Con minerales	Octubre	2,99	5,35		5,35	1,8
	Noviembre	2,92	4,52		4,52	1,5
	Diciembre	2,86	4,19	0,84	5,03	1,8
	Enero	2,78	3,08	1,12	4,20	1,5
	Febrero	2,72	2,90	1,36	4,26	1,6
	Marzo	2,66	2,23	1,77	4,00	1,5
Sin minerales	Octubre	3,02	5,13		5,13	1,7
	Noviembre	2,98	4,60		4,60	1,5
	Diciembre	2,90	4,20	0,79	4,99	1,7
	Enero	2,93	3,14	1,13	4,27	1,5
	Febrero	2,75	2,98	1,38	4,36	1,6
	Marzo	2,70	2,38	1,65	4,03	1,5

El consumo promedio diario de sal mineralizada presentó variaciones significativas ($p < 0,001$) entre los meses (tabla 3.23), con valores entre 29,0 y 48,78 g animal⁻¹ día⁻¹. El mayor valor se obtuvo en enero y el menor en noviembre; mientras que, diciembre y marzo difirieron de febrero, pero no de octubre.

Tabla 3.23. Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en los sistemas de *B. pertusa* en el PPLL.

Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	ES (±)	Sig.
Octubre	37,81 ^{bc}	Enero	48,78 ^d		
Noviembre	29,00 ^a	Febrero	35,03 ^b	2,30	$p < 0,001$
Diciembre	39,38 ^c	Marzo	40,75 ^c		

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los consumos se encuentran dentro del rango de 50 g, sugerido por González (2018) como valor medio para bovinos en desarrollo, cuando se incluye sal mineralizada integrales en las dietas, aunque este autor especifica que las cantidades varían de acuerdo con el nivel de producción y la calidad de la dieta ofrecida.

Los balances nutricionales probaron que en el tratamiento sin minerales los animales presentaron déficit durante todo el periodo en el P, Na y Zn, en el Cu cuatro meses y en el Ca tres (tabla 3.24) Mn (ver Anexo 7). Las limitaciones no oscilaron dentro de rangos muy amplios, pero pusieron de manifiesto que *B. pertusa* por sí sola no es capaz de cubrir los requerimientos de estos elementos.

Tabla 3.24. Déficit de minerales en los sistemas con *B. pertusa* durante el PPLL, animal día⁻¹.

Mineral	Ca, g	P, g	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Meses	3	6	6	4	6
Promedio	1,4	2,3	3,2	10,3	15,8
D.E.	0,4	1,4	0,3	1,5	9,9
Mínimo	0,9	0,8	2,7	9	5
Máximo	1,7	4,2	3,6	12	32

Para comprender de una manera integral las mejores respuestas productivas que induce la complementación con minerales es necesario vincularlos a las funciones fisiológicas donde intervienen. El Ca y el P están presentes en la formación de los huesos, el Na, regula el equilibrio ácido-base del plasma sanguíneo, interviene en la toma de nutrientes a nivel celular y en la transmisión de los impulsos nerviosos (Pittaluga, 2009; NRC, 2016; Giacomel y col., 2022).

Las carencias Cu, provocan reducciones en el desempeño productivo de los animales porque cuanto está en déficit, hay reducciones en las actividades enzimáticas donde interviene. El Zn es esencial en un grupo de enzimas que activan los procesos relacionados con el metabolismo de los carbohidratos, las proteínas y los ácidos

nucleicos, y con el funcionamiento del sistema inmune y sus estados carenciales afectan el desarrollo de los bovinos (Bauer y col., 2009).

Según la NRC (2000) además de la reducción de la producción, las deficiencias de minerales en los animales, provocan otras afectaciones de salud por las diversas funciones que ellos cumplen dentro de su fisiología.

Las carencias de calcio afectan aspectos fisiológicos que incluyen estructuras óseas, coagulación sanguínea, contracción muscular, permeabilidad celular, regulación cardíaca, transmisión de impulsos nerviosos, secreción de algunas hormonas, actividad enzimática y calidad de la carne, entre otras.

El fósforo participa en la estructura ósea, producción de energía, desarrollo de la pared celular, actividad microbiana en el rumen. El sodio contribuye al mantenimiento de las funciones vitales, como son el equilibrio ácido-básico, transmisión del impulso nervioso, mantenimiento de la presión osmótica y funcionamiento del musculo cardíaco.

El magnesio es un cofactor en más de 300 enzimas, interviene en el metabolismo energético y la síntesis de proteína, en la conducción nerviosa y el funcionamiento de los músculos. El cobre cumple funciones en procesos fisiológicos, componentes de enzimas, transporte del hierro, producción de melanina y reducción de los neutrófilos.

El Cinc tiene una importante función en los procesos de inmunidad; la deficiencia de este elemento está asociada a morbilidad y mortalidad de los animales porque su insuficiencia implica reducciones en los linfocitos sanguíneos, y en las células somáticas en la leche.

A partir de los resultados alcanzados se demostró que, para obtener de los BMD respuestas productivas adecuados durante el PPLL, es necesario incorporar un alimento voluminoso adicional y suplementar con sales mineralizadas. Aunque en el Valle del Cesar, para esta categoría bovina este manejo no es una práctica frecuente, las investigaciones corroboraron la necesidad de cambiar los procedimientos y concepciones actuales (Cameron, 2013 y Valadares, 2016).

3.2.2. Sistemas de pastoreo de *B. pertusa* durante el período lluvioso

En la tabla 3.25 se presenta el promedio de la composición bromatológica de *B. pertusa*. Las desviaciones estándar de los nutrientes indicaron que los valores estuvieron cercanos a las medias, con resultados muy similares en ambos tratamientos. Los datos bromatológicos desglosados por meses se muestran en el Anexo 8.

Tabla 3.25. Composición bromatológica de *B. pertusa* en el PLL.

Indicador	<i>B. pertusa</i>			
	Con minerales		Sin minerales	
	Media	DE	Media	DE
EM, MJ kg MS ⁻¹	9,89	1,34	9,51	1,31
PB, % MS	10,78	1,31	10,28	1,01
Ca, % MS	0,35	0,02	0,35	0,03
P, % MS	0,24	0,03	0,25	0,02
K, % MS	1,21	0,12	1,16	0,10
Na, % MS	0,02	0,01	0,02	0,01
Mg, % MS	0,27	0,02	0,26	0,02
S, % MS	0,21	0,02	0,21	0,02
Fe, mg kg ⁻¹ MS	216,00	20,00	216,00	17,19
Cu, mg kg ⁻¹ MS	8,40	0,89	8,60	2,30
Mn, mg kg ⁻¹ MS	30,80	6,61	28,20	3,90
Zn, mg kg ⁻¹ MS	28,40	3,51	26,80	2,49

Los valores de los nutrientes se mantuvieron dentro de los rangos señalados para los pastos tropicales; y las bajas dispersiones halladas quizás se debieron a que, durante la investigación, el pasto de ambos tratamientos estuvo sometido a condiciones similares de manejo y clima (Barahona, 2014).

Con la incorporación de los animales, la disponibilidad de MS presentó disminuciones, en ambos tratamientos, hasta julio y aumentos sostenidos a partir de agosto (tabla 3.26). Aunque se hallaron diferencias significativas en agosto y septiembre, un análisis integral de las cifras obtenidas no manifiesta los animales de uno u otro tratamiento hayan tenido ventajas en la disponibilidad.

Tabla 3.26. Disponibilidad de materia seca de *B. pertusa* en el PLL.

Meses	kg de MS ha ⁻¹ rotación ⁻¹		EE ±	Valor P
	Con minerales	Sin minerales		
Inicio	2 204,75	2 265,50	18,79	0,80
Junio	2 139,75	2 159,25	53,24	0,06
Julio	1 634,25	1 731,25	35,10	0,10
Agosto	1 890,50	1 925,75	7,63	0,01
Septiembre	2 065,50	2 044,25	7,63	0,01
Octubre	2 002,00	1 960,75	8,74	0,02
Promedio	1 989,50	2 014,46	42,24	0,65

En la tabla 3.27 señala un incremento progresivo de los pesos vivo durante el periodo con cifras superiores en el tratamiento suplementado con minerales.

Tabla 3.27. Comportamiento del peso vivo en los sistemas con *B. pertusa* en el PLL.

Mes	PV, kg	D.E	PV, kg	D.E
	Con minerales		Sin minerales	
Inicial	153,9	7,5	154,0	8,6
Junio	180,2	9,3	174,9	8,6
Julio	189,1	11,0	182,0	9,8
Agosto	205,5	12,2	195,1	10,7
Septiembre	222,2	16,3	218,0	12,9
Octubre	242,6	17,8	227,6	11,5

Los análisis de covarianza de los pesos vivos iniciales y finales de ambos tratamientos, señalaron que no hubo diferencias significativas entre ellos al comienzo de las investigaciones, pero si al final del periodo (tabla 3.28). Los animales suplementados mostraron incrementos de pesos superiores en un 20,5 % con respecto a los no suplementados 88,7 vs. 73,6 kg.

Las GDM mostraron diferencias significativas ($p < 0,001$), con los mejores resultados para los animales suplementados. Estos valores son superiores a los reportados por FEDEGAN (2018a), para la región Caribe Colombiana, cuyas estadísticas indican un promedio inferior a 400 g animal⁻¹ día⁻¹.

Tabla 3.28. Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en los sistemas de *B. pertusa* en el PLL.

Indicador	Con minerales	Sin minerales	EE (\pm)	Sig
Peso vivo inicial, kg	153,9	154,0		0,719
Peso vivo final, kg	242,6	227,6	10,2	P=0,001
Incremento de peso, kg animal ⁻¹	88,7	73,6		
GMD PLL, g animal ⁻¹ día ⁻¹	607,6	491,5	9,3	P=0,001

La importancia de la suplementación mineral quedó ratificada, al comparar los resultados de la investigación con los obtenidos por Cajas-Girón y col. (2012), quienes hallaron cifras similares a los del tratamiento sin suplementar, pero inferiores a los del suplementado.

Es importante recalcar como la introducción de los minerales en el manejo proporciona beneficios productivos adicionales a las explotaciones, equivalentes a incrementos del 20,5 % con respecto a su no empleo (tabla 3.29).

Tabla 3.29. Producción de carne en pie en los sistemas de *B. pertusa* en el PLL.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Con minerales	887,0	443,5	88,7	
Sin minerales	736,0	368,0	73,6	
Diferencia	151,0	75,5	15,1	20,5

Los mayores aumentos en los pesos vivos por la acción de la incorporación de los minerales que se reflejaron en las UGM ha⁻¹. Ellas tuvieron iguales valores en ambos sistemas desde el inicio de las evaluaciones hasta agosto donde el tratamiento que incluía minerales alcanzó cifras superiores por el resto del periodo (tabla 3.30).

Tabla 3.30. Evolución de las UGM ha⁻¹ en los sistemas con *B. pertusa* durante el PLL.

Sistema	UGM ha ⁻¹					
	Inicio	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Con Minerales	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,6
Sin Minerales	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4

Estas respuestas ponen de manifiesto una característica de la suplementación mineral donde los efectos positivos de su empleo se alcanzan en la consecución del tiempo y no de inmediato como sucede con otras suplementaciones.

Según Mora y col. (2017), los valores mensuales de biomasa por encima de 2 000 kg MS/ha con la *B. pertusa*, son considerados el valor mínimo para que el consumo, con cargas por encima de 2,3 UGM ha⁻¹, no causen daños a los sistemas en pastoreo y esta condición se cumplió en esta fase.

Ambos tratamientos, los niveles de oferta forrajera alcanzaron cifras por encima de 1,5 lo que permite inferir que los animales estuvieron posibilidades de realizar una adecuada selección del pasto que tuvieron a su disposición (tabla 3.31).

Tabla 3.31. Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en los sistemas con *B. pertusa* en el PLL.

Sistema	Mes	CI	Disponibilidad	NOF
		kg de MS 100 kg PV ⁻¹		
Con minerales	Junio	2,8	7,7	2,8
	Julio	2,7	5,5	2,0
	Agosto	2,7	5,9	2,2
	Septiembre	2,6	5,9	2,3
	Octubre	2,6	5,3	2,0
Sin minerales	Junio	2,8	8,0	2,9
	Julio	2,8	6,0	2,1
	Agosto	2,7	6,3	2,3
	Septiembre	2,7	6,3	2,3
	Octubre	2,6	5,6	2,2

De acuerdo a los estudios efectuados por Piña y Olivares (2012), la disponibilidad de forraje es uno de los indicadores que más influencia ejerce en el consumo de los bovinos y bien empleada, permite además de incrementar la eficiencia de utilización del forraje, garantizar la persistencia de los pastizales.

El promedio de consumo diario de sal mineralizada osciló entre 34,26 y 50,37 g/animal/día (tabla 3.32), con diferencias significativas ($p < 0,001$) entre los meses. El mayor valor se encontró en octubre, seguido –en orden descendente– por septiembre y junio; mientras que los menores se obtuvieron en julio y agosto, sin diferencias entre ellos.

De acuerdo a los criterios emitidos por SOMEX (2013), las oscilaciones que ocurren durante el año en el consumo de las sales, están determinadas por las necesidades de minerales que presenten los rumiantes para satisfacer sus requerimientos.

Los consumos coinciden con los rangos hallados por la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN, 2018a).

Esta institución considera que el adecuado suministro de sal mineralizada es una de las prácticas que proporcionan resultados más rápidos y positivos en la productividad del hato bovino; no solo porque provee los minerales que los forrajes no ofrecen en cantidad y calidad, sino también porque garantiza el funcionamiento fisiológico que requieren los animales.

Tabla 3.32. Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en los sistemas de *B. pertusa* en el PLL.

Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	ES ±	Sig.
Junio	39,11 ^{bc}	Septiembre	41,44 ^b		
Julio	34,26 ^c	Octubre	50,37 ^a	0,28	$p < 0,01$
Agosto	35,39 ^c				

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los balances nutricionales, tabla 3.33 (ver Anexo 9), demostraron que el tratamiento sin suplementación mineral presentó déficit en tres minerales, Na, Cu y Zn y que el resto de los elementos, eran cubierto por la gramínea. Las carencias de Na estuvieron presente en todos los meses, en un rango entre 2,82 y 3,61 g animal⁻¹ día⁻¹, las de Zn en cuatro, con insuficiencias entre 16 y 36 mg animal⁻¹ día⁻¹ y las de Cu en tres, con limitaciones entre 16 y 36 mg animal⁻¹ día⁻¹. De los minerales carenciales detectados, solo coincidieron tres en ambas épocas.

Bretschneider (2018), le confiere mucha importancia a los cambios que sobre la composición química de los pastos inducen los regímenes pluviométricos y alerta que, durante el PLL, como los animales aumentan más rápido de peso, los requerimientos pueden ser más elevados.

Shisia y col. (2013) cuando alimentaron terneros en desarrollo con *P. clandestinum* y *Ch. gayana*, en Kenya, constataron que la inclusión de minerales incrementaba los rendimientos productivos en esta categoría animal.

Tabla 3.33. Déficit de minerales en los sistemas con *B. pertusa* durante el PLL, animal día⁻¹.

Minerales	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Meses	5	3	4
Promedio	3,12	16,33	21,75
D.E.	0,31	4,51	9,54
Mínimo	2,82	12	16
Máximo	3,61	21	36

Los resultados confirman que estas respuestas son de carácter permanente y la necesidad de implementar esta estrategia de alimentación. La forma más eficiente de aportar los minerales es por vía oral, ya que, antes de ser incorporados a los procesos fisiológicos, durante su tránsito por el rumen, son utilizados por los microorganismos en su metabolismo y desarrollo (Bavera, 2000; Giacomel y col., 2022).

Las respuestas obtenidas revelan la factibilidad de incrementar los índices productivos de los BMD, cuando mediante los aportes del pasto y el suplemento mineral, son satisfechos sus requerimientos nutricionales.

Sin embargo, esta no la única opción desarrollada en Colombia para incrementar la producción ganadera, como es el caso específico de los sistemas silvopastoriles. Sin embargo, a pesar de las múltiples ventajas que les son reconocidas, en el Valle del Cesar las ventajas de su implementación y como interactúa sobre las respuestas productivas de los BMD la suplementación con sales mineralizadas, han sido poco estudiada (Murgueito y col. 2019) y fue bajo estas premisas, que se desarrollaron las investigaciones siguientes.

3.2.3. Sistema silvopastoril durante el periodo poco lluvioso

En la composición bromatológica se encontró diferencias entre las especies, excepto en el K, el Fe y el Cu. En el caso de *M. maximus*, predominaron el P, el Na, el Mn y el Zn; y en *L. leucocephala* se obtuvieron los mayores porcentajes en la PB, el Ca, el Mg, el S. Las desviaciones estándar indicaron que las variaciones entre las medias fueron pequeñas (tabla 3.34). En el Anexo 10 se muestran los resultados por meses.

La disponibilidad de materia seca de las especies forrajeras en el sistema silvopastoril presentó una tendencia a disminuir con el avance del PPLL. Es importante resaltar que, dentro de los meses evaluados, no hubo diferencias significativas en los pastos que conformaron el sistema (tabla 3.35).

Por otra parte, la disponibilidad total de materia seca tampoco presentó diferencias significativas dentro de los meses y mantuvo la propensión a disminuir según transcurrió el PPLL (tabla 3.36).

Cuando en el PPLL la disponibilidad y la calidad de los forrajes disminuyen, la presencia de *L. leucocephala* constituye una de las mejores opciones, no solo porque incrementa la oferta de alimento, sino también porque incorpora a la dieta elementos

nutritivos que permiten atenuar la estacionalidad productiva de la ganadería tropical (Fernández, 2019).

Tabla 3.34. Composición bromatológica de las especies forrajeras en el sistema silvopastoril en el PPLL.

Indicador	Con minerales				Sin minerales			
	<i>M. maximus</i>		<i>Leucaena</i>		<i>M. maximus</i>		<i>Leucaena</i>	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
EM, MJ KgMS ⁻¹	9,33	0,45	7,5	0,22	9,13	0,14	7,60	0,52
PB, % MS	9,13	0,50	24,02	3,35	8,51	0,57	25,32	2,86
Ca, % MS	0,39	0,01	1,14	0,15	0,38	0,02	1,64	0,74
P, % MS	0,29	0,02	0,22	0,07	0,29	0,02	0,27	0,08
K, % MS	1,65	0,14	1,23	0,13	1,39	0,12	1,25	0,16
Na, % MS	0,22	0,02	0,33	0,01	0,22	0,01	0,32	0,02
Mg, % MS	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01
S, % MS	0,18	0,01	0,23	0,05	0,18	0,01	0,26	0,04
Fe, mg kg ⁻¹ MS	128	5,97	124	22,9	126	6,68	124	16,37
Cu, mg kg ⁻¹ MS	11	2,34	11	1,38	10	2,00	10	1,55
Mn, mg kg ⁻¹ MS	65	9,35	50	15,0	78	9,66	59	20,08
Zn, mg kg ⁻¹ MS	25	2,50	19	1,8	24	4,26	20	6,50

Tabla 3.35. Disponibilidad de materia seca de los pastos en el SSP durante el PPLL.

Mes	<i>Megathyrsus maximus</i>				<i>Leucaena Leucocephala</i>			
	Con	Sin	EE	Sig	Con	Sin	EE	Sig
	Minerales	Minerales	(±)		Minerales	Minerales	(±)	
	kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹				kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹			
Oct.	1 381,9	1 296,5	30,7	p=0,180	222,8	201,8	6,4	p=0,105
Nov.	1 253,0	1 237,0	39,0	p=0,855	170,6	171,4	4,3	p=0,938
Dic.	1 209,0	1 128,3	29,5	p=0,189	162,6	158,9	1,6	p=0,289
En.	1 152,0	1 083,7	29,4	p=0,276	121,4	120,7	2,7	p=0,901
Feb.	1 001,6	1 009,6	20,5	p=0,862	151,9	154,3	1,6	p=0,514
Mrz.	1 008,6	1 001,9	8,9	p=0,736	132,9	128,0	2,0	p=0,346

Tabla 3.36. Disponibilidad total de materia seca en el SSP durante el PPLL.

Mes	<i>Megathyrus maximus + Leucaena Leucocephala</i>		EE (±)	Sig
	Con Minerales	Sin Minerales		
	kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹			
Octubre	1 604,7	1 598,3	34,0	p=0,1221
Noviembre	1 423,6	1 388,3	40,5	p=0,6965
Diciembre	1 371,6	1 259,7	32,7	p=0,0835
Enero	1 273,4	1 204,4	29,6	p=0,2752
Febrero	1 153,5	1 163,8	19,9	p=0,8168
Marzo	1 141,5	1 129,9	23,5	p=0,5211

La tabla 3.37 muestra el comportamiento del peso vivo en los animales. Al inicio de la evaluación, los grupos presentaron valores similares y fueron incrementando sus pesos de manera sostenida a lo largo de la evaluación, aunque con mayores cifras en los animales suplementados (tabla 3.38). La D.E y los valores mínimos y máximos manifiestan que los animales de ambos tratamientos, presentaron una elevada dispersión.

Tabla 3.37. Comportamiento del peso vivo en el SSP durante el PPLL.

Mes	Con minerales				Sin minerales			
	PV (kg)	D.E.	Mín. (kg)	Máx. (kg)	PV (kg)	D.E.	Mín. (kg)	Máx. (kg)
Inicio	132,8	9,8	117	148	132,6	10,4	113	152
Octubre	149,5	9,8	130	164	146,8	11,0	125	168
Noviembre	158,3	10,2	139	173	155,4	10,2	136	176
Diciembre	173,7	11,8	154	191	165,6	9,4	147	182
Enero	184,5	12,0	167	203	179,3	9,3	159	194
Febrero	205,9	14,5	180	230	195,8	10,6	176	209
Marzo	219,5	15,6	196	250	209,8	16,1	179	229

Un análisis de covarianza de los pesos vivos iniciales y finales de ambos tratamientos, señala que no hubo diferencias significativas al comienzo de las investigaciones, pero si entre los valores finales (tabla 3.38).

Tabla 3.38. Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en el SSP durante el PPLL.

Indicador	Con minerales	Sin minerales	EE (\pm)	Sig
Peso vivo inicial, kg	132,8	132,6	9,8	0,135
Peso vivo final, kg	219,5	209,8	16,4	0,001
Incremento de peso, kg animal ⁻¹	86,7	77,2		
GMD PPLL, g animal ⁻¹ día ⁻¹	479,5	428,9	3,24	0,013

Los BMD suplementados tuvieron un incremento productivo del 12,3 %, 86,7 vs. 77,2 kg. Un aumento del peso vivo similar, durante el PPLL, fue reportado por López-Vigoa y col. (2017). Según estos autores, los sistemas silvopastoriles son superiores a los sistemas de gramíneas en monocultivo porque proporcionan durante todo el año, una mayor estabilidad nutricional en los forrajes, en cantidad y calidad.

La incorporación de minerales tuvo una influencia significativa ($p < 0,004$) en las GMD, equivalentes a 21,2 % respecto al tratamiento testigo. La introducción de los minerales indujo 286,0 kg adicionales de carne en pie en el periodo, 47,5 por hectárea y 8,0 kg en la producción mensual, equivalentes a incrementos del 12,3 % con respecto a su no empleo (tabla 3.39).

Tabla 3.39. Producción de carne en pie en el SSP durante el PPLL.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Con minerales	2 601	433,5	72,3	
Sin minerales	2 316	386,0	64,3	
Diferencia	286	47,5	8,0	12,3

Las UGM ha⁻¹ mostraron un incremento sostenido durante la evaluación, aunque la inclusión de los minerales, al originar mayores ganancias de peso, tuvieron un reflejo en los valores obtenidos. Este indicador presentó a partir de enero cifras por encima de 2,0 UGM ha⁻¹ cifra considerada como adecuada por Iglesias y col. (2015; 2017) para la

producción de carne en sistemas silvopastoriles, a partir de este mes, las cargas fueron superiores principalmente, en el tratamiento con minerales.

Tabla 3.40. Evolución de las UGM ha⁻¹ en el SSP durante el PPLL.

Meses	Inicio	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Con minerales	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4
Sin Minerales	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3

Al transformar las capacidades de ingestión de los BMD y las disponibilidades de *M. maximus* y *L. leucocephala* a kg MS 100 kg PV⁻¹ animal⁻¹ día⁻¹, los valores mostraron que las ofertas y los NOF por meses fueron similares en ambos tratamientos y que este indicador disminuyó en correspondencia con el comportamiento de las precipitaciones (Tabla 3.41). En el transcurso de la época, hubo una disminución de los NOF, pero sin implicar que fuera necesario la inclusión de la suplementación voluminosa como parte del manejo de los animales.

Tabla 3.41. Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en el SSP para el PPLL.

Periodo	Mes	CI	<i>M. maximus</i> <i>L. leucocephala</i>		Total	NOF
			kg de MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹			
Con minerales	Octubre	3,0	6,0	1,0	7,0	2,3
	Noviembre	2,9	5,3	0,7	6,0	2,1
	Diciembre	2,8	4,5	0,6	5,1	1,8
	Enero	2,7	4,0	0,4	4,5	1,6
	Febrero	2,7	3,5	0,5	4,0	1,5
	Marzo	2,6	3,0	0,4	3,4	1,3
Sin minerales	Octubre	3,0	5,7	0,9	6,6	2,2
	Noviembre	2,9	5,1	0,7	5,8	2,0
	Diciembre	2,9	4,4	0,6	5,0	1,7
	Enero	2,8	3,9	0,4	4,3	1,5
	Febrero	2,7	3,3	0,5	3,8	1,4
	Marzo	2,7	3,1	0,4	3,5	1,3

Los BMD tuvieron NOF similares en ambos tratamientos por lo que este factor no privilegió a ningún de ellos y es factible considerar que las respuestas productivas generadas son consecuencias de la incorporación del suplemento mineral al manejo.

El consumo mostró diferencias significativas ($p < 0,002$) entre los meses. Los mayores ocurrieron en febrero y marzo y el menor, en noviembre, con cifras intermedias en el resto de los meses (tabla 3.42).

Tabla 3.42. Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en el SSP en el PPLL.

Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹
Octubre	37,81 ^b	Enero	35,0 ^c
Noviembre	29,00 ^d	Febrero	40,8 ^a
Diciembre	39,38 ^{ab}	Marzo	40,6 ^a
EE (±): 0,015		$p < 0,002$	

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los balances nutricionales señalaron que el no empleo de suplementación mineral implicó que los requerimientos de Na, Cu y Zn no fueran satisfechos durante el PPLL (tabla 3.43). El déficit de Na osciló entre 1,5 y 2,8 g animal⁻¹ día⁻¹ y los microelementos, en mg animal⁻¹ día⁻¹, entre 1 y 6 para el Cu y el Zn entre 19 y 66 (ver Anexo 10).

Tabla 3.43. Déficit de minerales en el SSP para el PPLL, animal día⁻¹.

Mineral	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Meses	6	6	6
Promedio	2,2	3,5	30,2
D.E.	0,4	1,8	18,4
Mínimo	1,5	1,0	19,0
Máximo	2,8	6	66

Las evaluaciones corroboraron las ventajas de los sistemas silvopastoriles sobre los sistemas con gramíneas en las condiciones de baja pluviometría, no solo porque los

NOF demostraron que no era imprescindible, para que los BMN no perdieran peso, incorporar un suplemento voluminoso de procedencia externa en el manejo. Sin embargo, también quedó evidenciado, que la adición de los minerales a las dietas era clave para potencial, en el Valle del Cesar, las ganancias de peso en esta categoría bovina.

Como continuación de las investigaciones desarrolladas y de los resultados obtenidos, los objetivos del próximo acápite fueron determinar cuáles eran las respuestas productivas de los BMD en un sistema silvopastoril durante el PLL.

3.2.4. Sistemas silvopastoriles durante el período lluvioso

La composición bromatológica de los forrajes que estuvo vinculada a la especie. El *M. maximus* presentó mayores porcentajes de P, Na, S, Mn y Zn y la leguminosa mostró valores superiores en la PB, el Ca, el S y el Cu; mientras que ambos forrajes presentaron concentraciones similares en el Mg, el K y el Fe. Las desviaciones estándar indicaron que las dispersiones fueron pequeñas (tabla 3.44). El Anexo 12 muestra los resultados por meses.

La disponibilidad de materia seca en el *M. maximus* osciló entre 1 799,3 y 1 579 kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹. La menor disponibilidad fue en julio y las mayores fueron en octubre. En la *L. leucocephala*, la disponibilidad osciló entre 288,1 y 119,6 kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹, con disminuciones sostenidas desde el inicio hasta el final del periodo; sin embargo, los forrajes no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 3.45).

La disponibilidad total osciló entre 2 088,0 y 1 749,3 kg de MS ha⁻¹ rotación⁻¹. El aporte promedio de la leguminosa fue de 9,2 %, y osciló entre 5,7 y 13,3 %. Estos porcentajes son inferiores a los obtenidos por López-Vigoa y col. (2017) quienes reportaron valores de 10 a 25 %, pero con una densidad mayor de leucaena (1 000 árboles ha⁻¹).

Tabla 3.44. Composición bromatológica de las especies forrajeras en el sistema silvopastoril en el PLL.

Indicador	Con minerales				Sin minerales			
	<i>M. maximus</i>		<i>Leucaena</i>		<i>M. maximus</i>		<i>Leucaena</i>	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
EM, MJ/Kg MS	10,28	0,30	8,12	0,11	10,11	0,09	8,42	0,25
PB, % MS	10,28	1,17	21,9	1,64	10,16	1,32	22,25	4,61
Ca, % MS	0,32	0,02	1,17	0,01	0,34	0,13	1,17	0,12
P, % MS	0,26	0,03	0,17	0,02	0,35	0,07	0,17	0,04
K, % MS	0,18	0,04	0,18	0,03	0,19	0,02	0,28	0,03
Na, % MS	1,14	0,11	1,38	0,22	1,30	0,15	1,31	0,21
Mg, % MS	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
S, % MS	0,30	0,02	0,37	0,02	0,24	0,07	0,32	0,03
Fe, mg kg ⁻¹ MS	119,0	86,0	147,2	32,0	136,8	10,71	134	16,29
Cu, mg kg ⁻¹ MS	4,4	1,14	6,2	0,84	9,4	0,89	9,8	1,10
Mn, mg kg ⁻¹ MS	40,2	4,09	31,6	8,26	38,2	6,22	39,2	9,04
Zn, mg kg ⁻¹ MS	26,0	1,00	18,2	2,05	27,0	2,55	21,6	2,51

Tabla 3.45. Disponibilidad de materia seca de los pastos en el SSP durante el PLL.

Mes	<i>Megathyrus maximus</i>				<i>Leucaena Leucocephala</i>			
	Con	Sin	EE (±)	Sig	Con	Sin	EE (±)	Sig
	Minerales	Minerales			Minerales	Minerales		
	kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹				kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹			
Jn	1 640,0	1 625,5	0,2	p=0,684	222,8	223,0	3,5	p=0,975
Jl	1 579,0	1 590,0	14,8	p=0,729	170,5	168,3	1,3	p=0,447
Ag	1 778,3	1 748,0	12,7	p=0,262	162,5	159,5	1,3	p=0,278
Sept	1 686,8	1 639,3	18,8	p=0,232	151,0	148,8	0,7	p=0,122
Oct	1 783,5	1 769,5	8,1	p=0,430	121,0	119,8	1,3	p=0,660

Tabla 3.46. Disponibilidad total de materia seca en el SSP durante el PLL.

<i>Megathyrus maximus + Leucaena Leucocephala</i>				
Mes	Con Minerales	Sin Minerales	EE (±)	Sig
	kg de MS ha ⁻¹ rotacion ⁻¹			
Junio	1 862,8	1 848,5	17,7	p=0,719
Julio	1 749,3	1 758,5	15,0	p=0,784
Agosto	1 940,8	1 907,5	12,7	p=0,213
Septiembre	1 837,8	1 788,0	19,1	p=0,215
Octubre	1 904,5	1 889,3	7,7	p=0,363

El comportamiento del peso vivo fue ascendente durante la evaluación, con tendencia a ser superiores en el tratamiento con minerales a partir de Agosto (tabla 3.47). Los valores de la desviación estándar señalaron dispersiones altas con respecto a las medias halladas.

Tabla 3.47. Comportamiento del peso vivo en el SSP durante el PLL.

Mes	Con minerales				Sin minerales			
	PV (kg)	D.E.	Mín. (kg)	Máx. (kg)	PV (kg)	D.E.	Mín. (kg)	Máx. (kg)
Inicio	154,3	6,9	147	169	154,0	6,6	147	164
Junio	182,4	6,8	175	196	182,2	7,2	174	192
Julio	191,7	7,7	182	206	189,4	7,7	180	203
Agosto	209,9	10,5	195	233	204,7	8,2	195	220
Septiembre	229,6	10,5	215	252	219,2	7,6	210	234
Octubre	248,4	15,1	229	283	236,9	10,0	221	256

De acuerdo a las derivaciones encontradas en los análisis estadísticos efectuados por covarianza, las diferencias significativas entre los pesos iniciales y finales de los tratamientos solo existieron cuando concluyó el periodo de evaluación y fueron a favor del grupo que recibió minerales (tabla 3.48).

Los bovinos suplementados incrementaron como promedio 103,6 kg, mientras que en el tratamiento testigo el aumento fue de 82,9 kg, La incorporación de los minerales en el manejo representó un incremento en las ganancias del 20,7 %.

Tabla 3.48. Comportamiento del peso vivo y la ganancia media diaria en el SSP durante el PLL.

Indicador	Con minerales	Sin minerales	EE±	Sig
Peso vivo inicial, kg	154,3	154,0	6,6	P=0,925
Peso vivo final, kg	258,2	236,9	13,8	P=0,004
Incremento de peso, kg. animal ⁻¹	103,6	82,9		
GMD, g animal ⁻¹ día ⁻¹	628,8	560,0	8,26	P=0,001

El promedio de las GPD fue superior en el tratamiento con suplementación respecto al testigo, con un incremento del 12,3 %. Este valor fue superior al obtenido en Venezuela (486 g/a/día) por Riveros (2017), al evaluar bovinos de carne en sistemas silvopastoriles intensivos.

La suplementación con minerales repercutió en un incremento de carne en pie por hectárea con respecto a no utilización, durante el periodo, en 517,5 kg y por hectárea en 103,5 kg y por mes de 21.1 kg equivalentes a un aumento del 25,0 % (tabla 3.49).

Tabla 3.49. Producción de carne en pie en el SSP durante el PLL.

Periodo	Producción de carne en pie			% del total
	Periodo, kg	kg/ha	Mensual, kg ha ⁻¹	
Con minerales	2 590,0	518,0	103,6	
Sin minerales	2 072,5	414,5	82,5	
Diferencia	517,5	103,5	21,1	25,0

Durante el transcurso del periodo, UGM ha⁻¹ aumentaron sus cifras en concordancia con los cambios que ocurrían en los pesos vivos, sin diferencias apreciables entre los tratamientos, pero a partir de septiembre, el grupo suplementado experimentó un incremento que mantuvo hasta el final de la evaluación (tabla 3.50).

Tabla 3.50. Evolución de las UGM ha⁻¹ en el SSP durante el PLL.

Sistema	Inicio	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Con minerales	1,7	2,0	2,1	2,3	2,6	2,8
Sin minerales	1,7	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6

La homogenización de la capacidad de ingestión de los BMD y las disponibilidades de los forrajes a kg de MS 100 kg PV⁻¹ animal⁻¹ día⁻¹, demostraron que, en lo referente a los niveles de oferta forrajera, los BMD estuvieron en condiciones muy similares y que durante el periodo este indicador no constituyó una limitante (tabla 3.51).

Tabla 3.51. Comportamiento de los niveles de oferta forrajera en el SSP para el PLL.

Periodo	Mes	CI	<i>M. maximus</i> <i>L. leucocephala</i>		Total	NOF
			kg de MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹			
Con minerales	Junio	2,8	6,0	0,8	6,8	2,4
	Julio	2,7	5,3	0,6	5,9	2,2
	Agosto	2,6	5,5	0,5	6,0	2,3
	Septiembre	2,6	4,9	0,4	5,3	2,1
	Octubre	2,6	4,6	0,3	5,0	1,9
Sin minerales	Junio	2,8	5,9	0,8	6,8	2,4
	Julio	2,7	5,4	0,6	6,0	2,2
	Agosto	2,7	5,5	0,5	6,0	2,2
	Septiembre	2,6	5,0	0,5	5,4	2,1
	Octubre	2,6	4,8	0,3	5,2	2,0

El consumo de sal mineralizada presentó diferencias significativas ($p < 0,015$) entre los meses. La mayor ingestión se produjo en junio y la menor, en julio; a partir de este mes hubo un incremento sostenido hasta el final del periodo (tabla 3.52).

Tabla 3.52. Consumo promedio de sal mineralizada por los animales en el SSP en el PLL.

Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	Mes	Consumo g animal ⁻¹ día ⁻¹	EE (±)	Sig.
Junio	54,11 ^a	Septiembre	45,89 ^c	0,28	p<0,015
Julio	32,67 ^e	Octubre	50,09 ^b		
Agosto	38,68 ^d	Marzo	40,6 ^a		

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas (p<0,05).

Los balances nutricionales demostraron que cuando no se suplementó, el Na y el Zn resultaron deficitarios durante todos los meses y el Cu en tres (Tabla 3.53, Anexo 13). Las carencias de Na oscilaron entre 2,3 y 3,4 g animal⁻¹ día⁻¹, el Cu y el Zn entre 1 y 10, y 15 y 24 mg animal⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Los otros elementos nutricionales fueron cubiertos por los alimentos ingeridos. La suplementación con minerales permitió solucionar estos déficits.

Tabla 3.53. Déficit de minerales en el SSP durante el PLL, animal⁻¹ día⁻¹.

Mineral	Na, g	Cu, mg	Zn, mg
Meses	5	3	5
Promedio	2,9	5,7	20,0
D.E.	0,4	4,5	3,7
Mínimo	2,3	1	15
Máximo	3,4	10	24

Los resultados pusieron de manifiesto la importancia y las ventajas productivas que representan para el Valle del Cesar introducir los sistemas silvopastoriles en la crianza de los BMD. Los índices obtenidos fueron los mejores de toda la investigación, pero también ratificaron que en la región hay déficit de minerales y que cuando son cubiertos, las ganancias de peso aumentan.

3.3. Factibilidad bio-económica de las alternativas evaluadas

3.3.1. Valoración bio-económica de las fincas La Unión y La Providencia

En la investigación no se consideró el costo de establecimiento de la pradera, ya que *B. pertusa* se ha establecido en las áreas ganaderas de la región Caribe por un proceso de colonización natural. Las inversiones incluyeron el cercado de las áreas, la construcción de cuarterones, la infraestructura de abastecimiento de agua y las labores de control de malezas.

Finca La Providencia

La tabla 3.54 muestra los costos totales de la finca. Dentro de los costos fijos, los mayores porcentajes correspondieron a la compra de los animales, con poca incidencia de los otros renglones, al igual que los incluidos en los costos variables.

Tabla 3.54. Costos totales de la finca La Providencia (USD).

Costos	Componente de los costos	La Providencia	% del costo total
Costos fijos	Compra de animales	9 069,19	82,28
	Establecimiento	992,35	9,81
	Salario	502,35	4,56
	Subtotal	10 568,62	96,65
Costos variables	Manejo de potreros	132,40	1,20
	Mantenimiento de potreros	79,05	0,72
	Gastos veterinarios	79,56	0,72
	Mantenimiento de cercas	77,95	0,71
	Subtotal	368,96	3,35
Total		10 937,58	100,00

El análisis integral de los costos señala que la parte más importante del capital fue utilizado en la compra de los animales y en el mantenimiento de la infraestructura, y que solo una pequeña fracción fue empleada para mejorar los aspectos nutricionales y de salud del rebaño.

Los ingresos superaron los costos, por lo que permitió recuperar el capital invertido y la relación beneficio/costo demuestra que la crianza de los BMD fue sostenible desde el punto de vista económico (tabla 3.55).

Tabla 3.55. Análisis económico de la finca La Providencia.

Indicador	La Providencia (USD)
Costos totales	10 937,58
Ingresos	12 764,93
Ingreso neto	1 742,62
Beneficio/costo	1,17

Finca La Unión

La tabla 3.56 muestra los costos totales de la finca. La compra de los animales constituyó el activo con mayor porcentaje dentro de los gastos incurridos, con poca incidencia en los otros reglones, igual comportamiento presentaron los incluidos en los costos variables.

La evaluación general de los costos muestra que el capital que no fue utilizado en la compra de los animales, fue empleado en sostener la infraestructura de la explotación, y que las cifras destinadas a optimizar los aspectos nutricionales y de salud del rebaño fueron limitadas.

Tabla 3.56. Costos totales de la finca La Unión (USD).

Costos	Componente de los costos	La Unión	% del costo total
Costos fijos	Compra de animales	3 222,02	69,47
	Establecimiento	642,51	13,85
	Salario	486,50	10,49
	Subtotal	4 351,03	93,81
Costos variables	Manejo de potreros	92,50	1,99
	Mantenimiento de potreros	60,02	1,29
	Gastos veterinarios	68,35	1,47
	Mantenimiento de cercas	66,20	1,43
	Subtotal	287,07	6,19
Total		4 638,10	100,00

El análisis financiero señala que capital invertido fue recobrado, y que la crianza de los BMD fue sostenible, por presentar la relación beneficio/costo un valor superior a 1 (tabla 3.57).

Tabla 3.57. Análisis económico de la finca La Unión.

Indicador	La Unión (USD)
Costos totales	4 638,10
Ingresos	5 551,66
Ingreso neto	913,56
Beneficio/costo	1,20

En la relación beneficio/costo, las fincas presentaron respuestas económicas diferentes, las cuales pueden ser atribuidas a las particularidades individuales de cada una de ellas. La importancia de esta oscilación radica en que proporciona el rango de valores entre los cuales pueden oscilar, desde el punto de vista económico, las crianzas de los BMD, en el Valle del Cesar.

3.3.2. Valoración bio-económica del sistema de pastoreo con *B. pertusa*

Periodo Poco Lluvioso

La tabla 3.58 muestra los costos fijos, variables y totales de los tratamientos para el período poco lluvioso. Se puede apreciar que la compra de los animales constituyó el componente de mayor porcentaje en los indicadores económicos incluidos.

Tabla 3.58. Costo total del sistema con *B. pertusa* en el PPLL, USD.

Costos	Componentes de los costos	Con Minerales	% costo total	Sin Minerales	% costo total
Costos fijos	Compra animal	1 848,70	76,21	1 848,70	77,85
	Establecimiento	158,04	6,51	158,04	6,66
	Salario	200,00	8,24	200,00	8,42
	Subtotal	2 206,74	90,97	2 206,74	92,93
Costos Variables	Mantenimiento cercas	14,50	0,60	14,50	0,61
	Manejo potreros	17,50	0,72	17,50	0,74
	Mantenimiento potreros	10,50	0,43	10,50	0,44
	Gastos veterinarios	16,00	0,66	16,00	0,67
	Heno	124,78	5,14	109,33	4,60
	Sal mineralizada	35,80	1,48	0,00	0,00
	Subtotal	219,08	9,03	167,83	7,07
Total		2 425,82	100,00	2 374,57	100,00

La incorporación del heno tuvo una incidencia pequeña en los gastos, entre el 4,60 y el 5,14 % y la sal mineralizada solo representó el 1,48 % de los gastos totales.

El análisis económico mostró que ambos tratamientos son rentables desde el punto de vista económico y las relaciones beneficio/costo indicaron, la factibilidad de recuperar el capital invertido, pero también que la suplementación mineral acrecienta los ingresos netos y la relación beneficio/costo con respecto a su no utilización (tabla 3.59).

Tabla 3.59. Análisis económico del sistema con *B. pertusa* en el PPLL.

Indicador	Unidad	Con Minerales	Sin Minerales
Ingreso bruto	USD	2 937,07	2 760,54
Costos	USD	2 425,82	2 374,57
Ingresos netos	USD	511,25	385,97
Beneficio/Costo		1,21	1,16

Periodo Lluvioso

Dentro de los costos totales en el periodo lluvioso, los costos fijos contribuyeron con los mayores porcentajes y en ellos, la adquisición de los animales (tabla 3.60). El empleo de sal mineralizada solo implicó un incremento del 1,22 % en los costos totales.

Tabla 3.60. Costo total del sistema con *B. pertusa* en el PLL, USD.

Costos	Componentes de los costos	Con Minerales	% costo total	Sin Minerales	% costo total
	Compra animal	2 139,21	84,09	2 140,6	85,15
Costos fijos	Establecimiento	158,04	6,21	158,04	6,29
	Salario	166,67	6,55	166,67	6,63
	Subtotal	2 463,92	96,85	2 465,31	98,06
	Mantenimiento cercas	12,08	0,47	12,08	0,48
	Manejo potreros	14,58	0,57	14,58	0,58
Costos Variables	Mantenimiento potreros	8,75	0,34	8,75	0,35
	Gastos veterinarios	13,33	0,52	13,33	0,53
	Sal mineralizada	31,30	1,23	0	0,00
	Subtotal	80,04	3,15	48,74	1,94
Total		2 543,96	100,00	2 514,05	100,00

La evaluación económica de los tratamientos señala la rentabilidad de ambos y las relaciones beneficio/costo que el capital invertido fue recuperado, no obstante, estos indicadores son más favorables cuando la sal fue empleada en el manejo (tabla 3.61).

Tabla 3.61. Análisis económico del sistema con *B. pertusa* en el PLL.

Indicador	Unidad	Con Minerales	Sin Minerales
Ingreso bruto	USD	3 372,14	3 163,64
Costos	USD	2 543,96	2 514,05
Ingresos netos	USD	828,18	649,59
Beneficio/Costo		1,33	1,26

3.3.3. Valoración bio-económica del sistema silvopastoril

Periodo poco lluvioso

En los costos totales, no se encontraron variaciones importantes en los porcentajes de los indicadores económicos incluidos. Los costos fijos fueron los que mayor influencia ejercieron y dentro de estos, la compra de animales y el establecimiento del sistema. (tabla 3.62). Los costos variables tuvieron poca repercusión en los gastos totales y el suministro de sal solo implicó el 1,06 %.

Tabla 3.62. Costos totales del sistema silvopastoril en el PPLL, USD.

Costos	Componentes de los costos	Con Minerales	% costo total	Sin Minerales	% costo total
Costos fijos	Compra animal	2 144,77	83,97	2 140,6	84,76
	Establecimiento	160,19	6,27	160,19	6,34
	Salario	166,67	6,53	166,67	6,60
	Depreciación. bebederos y comederos	9,14	0,36	9,14	0,36
	Subtotal	2 480,77	97,13	2 476,6	98,07
Costos Variables	Mantenimiento cercas	12,08	0,47	12,08	0,48
	Manejo potreros	14,58	0,57	14,58	0,58
	Mantenimiento potreros	8,75	0,34	8,75	0,35
	Gastos veterinarios	13,33	0,52	13,33	0,53
	Sal mineralizada	24,62	0,96	0	0,00
	Subtotal	73,36	2,87	48,74	1,93
Total		2 554,13	100,00	2 525,34	100,00

Los indicadores financieros demostraron que el sistema fue rentable al presentar ingresos brutos valores mayores que los costos totales. Las relaciones beneficio/costo fueron positiva, y los mejores resultados se obtuvieron con el suministro de minerales (Tabla 3.63).

Tabla 3.63. Análisis económico del sistema silvopastoril en el PPLL.

Indicador	Unidad	Con Minerales	Sin Minerales
Ingreso bruto	USD	3 064,95	2 916,22
Costos	USD	2 335,06	2 300,67
Ingresos netos	USD	729,89	615,55
Beneficio/Costo		1,31	1,27

Periodo lluvioso

Los costos totales de los tratamientos no presentaron diferenciaciones importantes y mantuvieron porcentajes muy similares en los renglones económicos incluidos en los mismos. En los costos totales, los gastos ponderados fueron los costos fijos y, dentro de ellos, los referentes a la compra de animales y al establecimiento del sistema, tuvieron los mayores porcentajes (tabla 3.64).

Tabla 3.64. Costos totales del sistema silvopastoril en el PLL, USD.

Costos	Componentes de los costos	Con Minerales	% costo total	Sin Minerales	% costo total
	Compra animal	2 144,77	83,97	2 140,60	84,76
	Establecimiento	160,19	6,27	160,19	6,34
Costos fijos	Salario	166,67	6,53	166,67	6,60
	Depreciación. bebederos y comederos	9,14	0,36	9,14	0,36
	Subtotal	2 480,77	97,13	2 476,60	98,07
Costos Variables	Mantenimiento cercas	12,08	0,47	12,08	0,48
	Manejo potreros	14,58	0,57	14,58	0,58
	Mantenimiento potreros	8,75	0,34	8,75	0,35
	Gastos veterinarios	13,33	0,52	13,33	0,53
	Sal mineralizada	24,62	0,96	0	0,00
	Subtotal	73,36	2,87	48,74	1,93
Total		2 554,13	100,00	2 525,34	100,00

La repercusión en los gastos totales de los costos variables fue pequeña y la incorporación de la sal solo incrementó los gastos en 1,06 %.

El sistema resultó eficaz al presentar ingresos brutos mayores que los costos totales. Las relaciones beneficio/costo señalaron la factibilidad de recuperar las inversiones realizadas y que la inclusión de minerales en el manejo favorece este indicador (tabla 3.65).

Tabla 3.65. Análisis económico en el sistema silvopastoril en el PLL.

Indicador	Unidad	Con Minerales	Sin Minerales
Ingreso bruto	USD	3 588,98	3 292,91
Costos	USD	2 554,13	2 525,34
Ingresos netos	USD	1 034,85	767,57
Beneficio/Costo		1,41	1,30

3.3.4. Comparación de los sistemas de producción

El análisis de la relación beneficio/costo puso de manifiesto las ventajas económicas de los sistemas y de la suplementación mineral propuestas, con respecto a los procedimientos tradicionales aplicados en las explotaciones ganaderas del Valle del Cesar. De hecho, las relaciones beneficio/costos menos favorables fueron las correspondientes a La Providencia y a La Unión, las cuales respondieron a la integración de los dos periodos del año (tabla 3.66).

Tabla 3.66. Consolidado de los indicadores beneficio/ costo en los sistemas de evaluados.

Fincas	Relación B/C		
La Providencia	1,17		
La Unión	1,20		
Sistema	Tratamiento	PPLL	PLL
Monocultivo de <i>B. pertusa</i>	Sin minerales	1,16	1,26
	Con minerales	1,21	1,33
Sistema Silvopastoril	Sin minerales	1,27	1,30
	Con minerales	1,31	1,41

En el PPLL, se puso de manifiesto la importancia de garantizar en los sistemas con *B. pertusa*, que los BMD cubran sus requerimientos de materia seca y de minerales, ya que su inclusión representa un incremento del 4,3 % y como el Sistema Silvopastoril, además de responder de manera favorable a la inclusión de los minerales, un aumento del 3,1 %, lo supera en este indicador.

En el PLL, las repuestas zootécnicas del sistema con *B. pertusa* mejoraron y ratificaron los efectos favorables de los minerales, con un acrecentamiento de las respuestas económicas del 5,6 %. No obstante, ellas permanecieron por debajo de las halladas con el Sistema Silvopastoril, el cual presentó las respuestas económicas más favorable de las investigaciones efectuadas y aumentos del 8,5 % por el introducir los minerales en las dietas.

Estas respuestas condicionan que, para lograr mejorar los índices económicos en el Valle del Cesar, es imprescindible cubrir los déficits de materia seca en el PPLL en los sistemas con *B. pertusa*, los minerales todo el año e implementar los Sistemas Silvopastoriles, aspectos que constituyen las opciones determinantes en la rentabilidad (Mora y col., 2014)

Producción de carne

El análisis de la relación entre los ingresos neto de los sistemas y los kilogramos de carne en pie producida, señala que las producciones de carne en pie de las explotaciones, La Providencia y La Unión, fueron rentables (tabla 3.67),

En los sistemas con *B. pertusa* en el PPLL, la suplementación con minerales incrementó las ganancias por la venta de carne en 12,1 % y en el SSP en 5,0%, sin embargo, la comparación entre los sistemas señala que, el SSP sin minerales tuvo un ingreso superior en un 37,9 % con respecto a su equivalente en el sistema de *B. pertusa* y en tratamiento con minerales de un 29,2 %.

Estas respuestas positivas también se hallaron durante el PLL, donde cuando se incorporó minerales en el sistema con *B. pertusa*. las ganancias aumentaron en 5,7 % y en el SSP 7,5 %.

La comparación entre los sistemas indica que el SPP sin minerales fue superior en un 5,7% con respecto al sistema de *B. pertusa* y el tratamiento con minerales en un 7,2.

Antes de adoptar criterios sobre la efectividad de un sistema ganadero, es necesario estimar su progreso económico.

Tabla 3.67. Relación entre los ingresos netos y la carne en pie producida.

	Carne Total, kg	IN USD	IN/kg carne USD/kg	Carne Total, kg	IN USD	IN/kg carne USD/kg
La Providencia	2 659	1 827,35	0,69			
La Unión	1 676	913,56	0,55			
PPLL		<i>B. pertusa</i>			SPP	
Con minerales	789	511,25	0,65	867	729,89	0,84
Sin minerales	661	385,97	0,58	772	615,55	0,80
PLL		<i>B. pertusa</i>			SPP	
Con minerales	887	828,18	0,93	1 036	1 034,85	1,00
Sin minerales	736	649,59	0,88	829	767,57	0,93

USD, Dólar estadounidense

IN: Ingreso neto

Tosi (2018) señaló que, para evaluar el comportamiento de un sistema productivo, primeramente, es preciso establecer el número de años efectivos de utilización que permitirá la nueva inversión de capital (que en el presente estudio fueron los pastoreos); para, sobre esa base, realizar las estimaciones económicas en el periodo de investigación.

En este estudio el intervalo se estimó para diez años, teniendo en cuenta que la perdurabilidad de los sistemas estaba garantizada, porque cada año se les hacía mantenimiento tanto a las cercas como las áreas de pastoreo. Los costos de la implementación del SSP fueron superiores a los informados por Acero y Novoa (2014) en el Departamento del Meta (Colombia).

Estas diferencias se pueden atribuir a la tendencia del mercado a incrementar los precios de los ítems incluidos (materiales y mano de obra en el tiempo), puesto que al

año siguiente las que reportaron Yepes y Sarmiento (2016), y resultaron similares a las halladas en las condiciones de la presente investigación. No obstante, en general los gastos de implementación fueron superiores respecto a los de los sistemas en monocultivo.

Las diferencias en las respuestas productivas por el efecto de los sistemas de explotación, la suplementación mineral y la época del año ejercieron su influencia en la efectividad económica, con variaciones tanto dentro de los sistemas para la misma época como entre los sistemas (Paulas, 2018)

De acuerdo con lo planteado por Muñoz y Salguero (2020), y Torres y Pagnussatt, (2017) un proyecto es económicamente viable cuando el valor de la relación Beneficio/Costo es mayor, o por lo menos igual, a 1 (relación $B/C \geq 1$). Este indicador es considerado una herramienta muy útil para determinar la viabilidad de los sistemas, debido a que, mediante el valor que genera, es posible determinar si un proyecto es viable o si es necesario buscar otras alternativas de inversión (Torres, 2016).

Los resultados coincidieron con los obtenidos por Ochoa y Valerezo (2014), y Tovar (2020), donde los sistemas silvopastoriles proporcionaron mejores respuestas este indicador que los sistemas tradicionales.

En la presente investigación, este indicador se tuvo cuenta para determinar las ventajas que poseían los diferentes sistemas y tratamientos evaluados. De esta forma se pudo comprobar, a partir de los resultados, que las inversiones eran seguras, y sobre todo como a través del sistema silvopastoril con minerales era factible alcanzar las mejores respuestas y constituirse como la mejor opción para incrementar los ingresos en el Valle del Cesar (González, 2017).

CAPÍTULO 4. CONSIDERACIONES FINALES

Una de las limitaciones que tiene la ganadería basada en gramíneas es la dependencia que tienen de la pluviometría, las disminuciones en los rendimientos de biomasa durante los periodos seco, provoca inestabilidades productivas en los bovinos, que afectan la rentabilidad de las explotaciones (Tapia-Coronado y col., 2019).

Esta situación se presentó en los sistemas con *B. pertusa*, tanto en las fincas como en las áreas experimentales durante el PPLL, y quedó demostrada la necesidad de mantener un umbral conveniente en la disponibilidad de materia seca en los pastoreos; para evitar que las defoliaciones severas y frecuentes en el área, indujeran deterioros en los pastizales por el consumo a profundidad de los rebrotes (Mojica-Rodríguez y col., 2017).

Ante esta situación, el procedimiento adoptado fue ofertar heno a voluntad para que los animales además de completar sus requerimientos de MS y disminuyeran la presión de pastoreo.

Los SSP atenuaron las limitaciones alimentarias en ambas épocas, porque proporcionaron suficiente forraje para que los bovinos en desarrollo hicieran consumos y selecciones apropiadas. Los forrajes presentes en estos sistemas también aportaron nutrientes con mayores potenciales nutricionales lo que contribuyó a promover índices zootécnicos y económicos más positivos (Russo, 2015; Murgueitio y col., 2019).

Los resultados ratificaron que la inclusión de *L. leucocephala* en las dietas de los rumiantes constituye una de las mejores alternativas para incrementar la producción de carne en los sistemas ganaderos del trópico seco, no solo por sus aportes en MS sino

también porque al aumentar el flujo de nitrógeno en el sistema digestivo, soluciona parte de los déficit de un elemento determinante en el desarrollo de los microorganismos ruminales, además por su composición bioquímica, aportar proteínas de baja degradabilidad que son indispensables para el crecimiento de los animales (Sánchez-Santana y col., 2018 Zapata-Cadavid y Siva-Tapasco 2020).

Para caracterizar las deficiencias de minerales en los bovinos, los procedimientos que incluyen exámenes bioquímicos de los órganos y de la sangre, análisis químicos de las plantas y del agua que los animales consumen, las características del suelo, y las condiciones climáticas (Cseh, 2020; Greene, 2016).

Las concentraciones presentes en diferentes partes del organismo permiten establecer las deficiencias y/o excesos de minerales, pero muchas veces es necesario combinar varios análisis para obtener un diagnóstico correcto (Carbajal-Azcona, 2017).

Aunque estos resultados ofrecen criterios para identificar las potenciales carencias o excesos de minerales, los costos excesivos de los análisis y la engorrosa manipulación de los animales han provocado que en la actualidad se prefiera detectar las deficiencias mediante las mejoras productivas que se obtienen al suplementar con minerales (SOMEX 2013; NRC 2016).

Este fue el criterio adoptado en la presente investigación, sobre la base de las tablas de requerimiento de minerales establecida por la NRC (2000).

Los animales tienen la capacidad de regular sus necesidades de minerales, con un amplio margen de seguridad, mediante procesos de absorción y excreción/eliminación (Morales-Almaráz y col., 2021).

Los resultados de esta investigación coinciden con lo planteado por EMBRAPA (2015), que alertan que, cuando no se cubren las necesidades de macro- y oligoelementos en calidad y/o cantidad, ocurren deficiencias subclínicas que limitan las respuestas

productivas de los bovinos, las cuales, al no ser observadas como síntomas, resultan más graves porque provocan pérdidas económicas que no son percibidas por el productor.

Por otra parte, Silveira (2017) señala que la suplementación mineral está directamente relacionada con el desarrollo de los animales, ya que sus carencias limitan el potencial productivo, tornándose más susceptible a padecer enfermedades por afectaciones en las respuestas inmunológicas.

Gómez-Rendón y col. (2019) consideran que los minerales constituyen el tercer grupo de factores limitantes para la producción animal, porque cuando existen déficit, ocurren dificultades en los mecanismos fisiológicos que intervienen en la transformación y asimilación de los alimentos y nutrientes.

A diferencia de otras suplementaciones, los efectos beneficiosos que ejerce la incorporación de minerales en las ganancias de peso solo son detectados en el transcurso del tiempo. Autores como Coria (2020), consideran que los minerales constituyen un factor importante en las dietas y los incorporan cuando desarrollan modelaciones matemáticas para describir el crecimiento de los bovinos en pastoreo.

Coincidimos con Agronet. (2018) y Greene (2016) quienes señalan que las ventajas de suministrar por vía oral y de manera continua la suplementación mineral permite que estos elementos circulen por el tracto digestivo y que puedan ser utilizados y/o absorbido en el sitio más conveniente. Este procedimiento incrementa las actividades fisiológicas de los microorganismos ruminales, por lo que contribuyen a una fermentación ruminal más efectiva y por carácter transitivo, aumentos productivos en los terneros (Fernández, 2019).

Los incrementos productivos obtenidos con el empleo de minerales permitieron demostrar la importancia nutricional de estos elementos y dejar establecido que es una estrategia nutricional capaz de inducir una mejor utilización de los componentes nutricionales de los sistemas; y, sobre todo, que el aporte de estos elementos permite prevenir los problemas de crecimiento vinculados a trastornos metabólicos, subclínicos o clínicos, que no siempre son detectados en las explotaciones ganaderas (Morales-Almaráz y col., 2021; Giacomel y col., 2022).

Los animales cubren sus requerimientos de minerales a partir de los presentes en los alimentos consumidos, del nivel de aprovechamiento que hagan y de las sinergias y antagonismos que puedan ocurrir entre ellos, por lo que es importante realizar el balance de estos nutrientes para compensar las deficiencias que sean identificadas.

En los sistemas que utilizaron la *B. pertusa*, los minerales deficitarios fueron Ca, P, Na, Cu y Zn tanto en las fincas como en el tratamiento sin minerales del área experimental durante el periodo poco lluvioso. Estas coincidencias son importantes, porque indicaron que estos elementos son los que deben ser cubiertos en la región Caribe colombiana

Resultó relevante que, en el periodo lluvioso, en el sistema con la gramínea y en ambas épocas para el SSP existieran las mismas carencias de minerales (Na, Cu y Zn). La disminución de los minerales deficitarios, en el sistema en monocultivo, es posible relacionarla con cambios en la composición bromatológica del pasto; pero el hecho de que se repitieran en el SSP, donde intervienen dos forrajes diferentes, permite suponer que existen problemas en la incorporación de estos elementos en los follajes.

Este criterio se puede sustentar a partir de que los requerimientos de K, Mg, S, Fe y Mn siempre fueron cubiertos mediante la composición química de *B. pertusa* y por la combinación de *M. maximus* y *L. leucocephala*.

Los animales al regular el consumo la sal mineralizada a sus necesidades, hizo posible que ella cumpliera su función, de aportar los minerales deficitarios. Aspectos que estuvieron complementados a partir de las respuestas productivas halladas y por el hecho que nunca generaron intoxicaciones en los animales. Estos resultados tienen una relevancia importante porque por primera vez se definieron, los elementos que no pueden faltar en la suplementación mineral de las explotaciones ganaderas del Valle del Cesar.

Los resultados permitieron cumplir los objetivos de investigación propuestos en la Tesis, ya que a partir de los indicadores productivos hallados en las fincas y del estudio de los factores que limitaban el mejor desempeño de los BMD, se introdujeron soluciones que permitieron incrementar la productividad y la rentabilidad de los sistemas con *B. pertusa* y silvopastoriles con *M. maximus* y *L. leucocephala*,

Aunque las estrategias de alimentación aplicadas en esta investigación no constituyen una práctica frecuente en el Valle del Cesar con bovinos machos en desarrollo, los resultados demostraron la necesidad de cambiar los criterios tradicionales de manejo, con el fin de obtener mejores respuestas productivas y económicas (Cameron, 2013). Igualmente, se comprobó que las modificaciones introducidas son económicamente viables

CONCLUSIONES

1. En el Valle del Cesar los sistemas ganaderos a base de *B. pertusa* tienen como limitantes, no cubrir los requerimientos de P, Ca, Na, Cu y Zn durante el año y una baja disponibilidad de MS en el periodo poco lluvioso, lo que hace necesario efectuar suplementaciones alimentarias.
2. Para mejorar las respuestas productivas de los bovinos machos en desarrollo en la región del Cesar, es necesario:
 - ❖ Introducir de forma permanente la suplementación mineral, con independencia del sistema de pastoreo.
 - ❖ Cubrir los requerimientos de materia seca durante el periodo poco lluvioso en los sistemas con *B. pertusa*, durante el periodo poco lluvioso.
 - ❖ Promover la implementación de los sistemas silvopastoriles.
3. La suplementación mineral incrementa la rentabilidad de los sistemas y la mejor respuesta es con el sistema silvopastoril.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios que conduzcan a la formulación de sales minerales diferenciadas, en función de la composición bromatológica de los forrajes, los requerimientos nutricionales de los animales y la productividad de las explotaciones.
2. Evaluar si la incorporación conjunta de minerales y fuentes de energía estimulan una mayor productividad en los sistemas silvopastoriles.
3. Utilizar los resultados para la educación de pre y posgrado en la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, J. D. & Novoa, J. C. Comparación de costos de ganadería tradicional con sistemas ganaderos silvopastoriles, en el departamento del Meta (Colombia) Trabajo de grado para optar al título de Administrador de Empresas Agropecuarias. Bogotá D.C., Colombia: Universidad de la Salle. 42 p., 2014.
- Acosta, A.; Ankers, P. & Nicolli, F. *Livestock and no poverty*. In: Advancing the Livestock Sector towards the Sustainable Development Goals. Editor: A. Acosta. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-130883-7. p: 1-9, 2018.
- Adjolohoun, S.; Bindelle, J.; Adandedjan, C.; Toleba, S. S.; Houinato, M. & Sinsin, B. Variety and environmental effects on crude protein concentration and mineral composition of *Arachis pinto* (Kaprovicak & Gregory) in Benin (West Africa). *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 1 (03):24-28. 2013.
- Agronet. 4 cualidades de un suplemento mineral para bovinos. 2018. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/4-cualidades-de-un-suplemento-mineral-para-bovinos>
- Arce, Silvia. La innovación agroindustrial: componentes, tendencias y acciones. *Revista E-Agronegocios*. 6 (1). 2020. DOI: <https://doi.org/10.18845/rea.v6i1.4938>
- Argüello-Rangel, Jeraldyn; Mahecha-Ledesma, Liliana & Angulo-Arizala, J. Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías de trópico bajo colombiano. *Agron. Mesoam*. 30 (3):899-915. 2019. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35136>.
- Arosa-Carrera, C. R.; Vargas-Bacci, Martha L. & Barrera-Rojas, Luz M. Innovación en la cadena de suministro, desde la perspectiva del productor de carne bovina. *Revista ESPACIOS*. 40 (37):4. 2019.

- Avella-Peña, L. Análisis de la composición nutricional de *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria Toledo* en el Piedemonte Llanero. 2018. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1342&context=zootecnia>
- Balarezo, L. R.; García, J. R.; Noval, E.; Rosales, H. B.; Mora, S. R. & Vargas, S. Contenido mineral en suelo y pastos en rebaños bovinos lecheros de la región andina de Ecuador. *Revista Centro Agrícola*. 44 (3):56-64. 2017.
- Barahona, R.; Sánchez, M. S.; Murgueitio, E. & Chará, J. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia. *Revista Carta Fedegán*. 140:66-69. 2014.
- Barairbar-Norberg, Matilda. *The political economy of agrarian change in Latin America. Governance, Development, and Social Inclusion in Latin America*. ISBN 978-3-030-24585-6. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24586-3>
- Bauer, D.; Rush, I. & Rasby, R. Minerales y vitaminas en bovinos de carne. Capítulo 4. Sitio Argentino de Producción Animal. 2009. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar.
- Bavera, G. A. Métodos de suministro mineral al ganado en pastoreo. Suplementación mineral del bovino a pastoreo y referencias en engorde a corral. Capítulo 6, p: 109-117. Sitio Argentino de Producción Animal. 2000. Disponible en: <http://www.produccionanimal.com.ar>.
- Benaouda, M.; González-Ronquillo, M.; Molina, Luisa T. & Castelán-Ortega, O. A. Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8 (4):965-974. 2017.
- Benavides-Cruz, J. C.; Ricardo-Torres, D. & Castillo-Sierra, J. Productividad forrajera y calidad del suelo en lechería especializada bajo sistemas silvopastoriles en Trópico Alto de Colombia. *Revista Colombiana de Zootecnia*. 7 (12):14-17. 2021.

- Berzaghi, P.; Lotto, A.; Mancinelli, M. & Benozzo, F. Technical note: Rapid mineral determination in forrages by X-ray fluorescence. *Journal of Dairy Science*. 101 (11):9967-9970. 2018.
- Botero-Jaramillo, S. & Martínez-Toro, S. *Análisis productivo de dos modelos de suplementación a pastoreo para mitigar el impacto de la época seca en ganado de engorde en Montería, Colombia*. 2017. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Bretschneider, G. Suplementación de minerales en pastoreo. Libre elección, consumo variable. 2018. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_article_supl_minerales_pastoreo.pdf4pp.
- Buitrago, M. E.; Ospina-Daza, L. A. & Narváez-Solarte, W. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico Museo de Historia Natural Universidad de Caldas*, 22 (1):31-42. 2018. DOI: <http://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>
- Cajas-Girón, Y. S., Barragán Hernández, W. A., Arreaza-Tavera, C., Argüelles-Cárdenas, J., Amézquita-Collazos, E., Abuabara-Pérez, Y., Panza-Tapia, B., Lascano-Aguilar, C. Efecto sobre la producción de carne de la aplicación de tecnologías de renovación de praderas de *Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus en la Costa Norte Colombiana. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 13 (2):213-218. 2012. Disponible en: <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/259>
- CALRAC. Software para la alimentación de rumiantes. Versión 1.0. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 1996.
- Cameron, A. G. Indian Bluegrass (*Bothriochloa pertusa*). Agnote. No. E25. 2013. Disponible en: <http://www.nt.gov.au/Pasture/260.pdf>.
- Canul-Solis, J. R., Castillo-Sánchez, L. E., Escobedo-Mex, J. G., López, M. A. & Lara-y Lara, P. E. Rendimiento y calidad forrajera de *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* y *Cynodon nlemfuensis* en monocultivo y sistema agroforestal. *Revista Agrociencia*.

52 (6):853-862. 2018. Disponible en: <https://agrocienza-colpos.mx/index.php/agrocienza/article/view/1709>

Carbajal-Azcona, A. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. 2017. Disponible en: <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal/>

Caro-Daza, D. El campo del Cesar, dominado por la ganadería. 2019. Disponible en: <https://elpilon.com.co/el-campo-del-cesar-dominado-por-la-ganaderia/>

Carrera, R., Fierro, N., Capa, D., Jurius, I., Romero, M. Manejo adaptativo de ganadería sostenible es el ecosistema páramo. Módulo 5: Prácticas de ganadería sostenible. 2019. Disponible en: <https://isbn.cloud/9789942255075/curso-de-formacion-manejo-adaptativo-de-ganaderia-sostenible-en-el-ecosistema-paramo-modulo-5-pr/>

CEPAL, FAO, IICA. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018. San José, Costa Rica. 268 p. 2018. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42281-perspectivas-la-agricultura-desarrollo-rural-americas-mirada-america-latina>

Chamorro, D.; Carulla, J. E. & Cuesta, P. Degradación microbiana in situ de tejidos foliares de gramíneas y leguminosas y su relación con indicadores de calidad nutricional. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 6 (1):100-116. 2005.

Chara, J.; Reyes, E.; Peri, P.; Otte, J.; Arce, E. & Schneider, F. Sistemas silvopastoriles y su contribución al uso eficiente de los recursos y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Evidencia desde América Latina. CIPAV. FAO & Agri Benchmark, Cali, 60p. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/es/c/CA2792ES>

Contreras-Santo, J. L.; Martínez-Atencia, Judith & Falla-Guzman, Cindy K. Carbono acumulado en raíces de especies vegetales en sistemas silvopastoriles en el Norte de Colombia. *Ciencias Ambientales*. 55 (1):52-69. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.3>

Contreras-Santos, J. L.; Martínez-Atencia, Judith; Cadena-Torres, J. & Falla-Guzmán, Cindy K. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del caribe colombiano. *Agronomía Costarricense*. 44 (1):29-41. 2020.

- Córdova-Izquierdo, A., Ruiz-Lang, G., Guerra-Liera, J.E., Villa-Mancera, E.A., Juárez-Mosqueda, M. de L., Gómez-Vázquez, A., Sánchez-Aparicio, P., Bedolla-Cedeño, C. J., Olivares-Pérez, J. Importancia de los minerales en la reproducción y productividad de los bovinos. 2021. Disponible en: <https://bmeditores.mx/ganaderia/importancia-de-los-minerales-en-la-reproduccion-y-productividad-de-los-bovinos/>
- Coria, M. Nutrición mineral en ganadería. 2020. Disponible en: https://inta.gov.ar/sites/default/files/nutricion_mineral_en_ganaderia.pdf
- Cseh, S. Deficiencias Minerales en Bovinos para Carne Diagnóstico, Caracterización y control. 2020. Disponible en: <https://bmeditores.mx/ganaderia/deficiencias-minerales-en-bovinos-para-carne-diagnostico-caracterizacion-y-control/>
- Díaz, M. F.; Enciso, K.; Triana, Natalia; Muriel, Juliana & Burkart, S. Pagos por Servicios Ambientales para sistemas silvopastoriles en Colombia. CRP: Livestock and the Environment. CGIAR Research Program on Livestock. 54p. 2019.
- Díaz-Lezcano, Maura I.; Gamarra-Lezcano, Cynthia C.; Vera-De Ortiz, Mirtha L. & Santa Cruz-Estigarribia, Andrea V. Contenido de nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles de *Prosopis* spp. del Chaco Central paraguay. *Rev cubana ciencias forestales*. 9 (2):226-240. 2021. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000200226&lng=es&nrm=iso
- Doncel, M. A.; Chamorro, A. L. & Pérez, C. A. Actividad in vitro de bacterias endófitas promotoras de crecimiento asociadas con pasto colosoana en el municipio de Corozal, Sucre. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*. 8:351-360. 2016. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.391>.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Nutrição de bovinos de corte: Fundamentos e aplicações. 1ra ed. Brasília, Brasil: Embrapa Gado de Corte. 2015. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120040/1/Nutricao-Animal-livro-em-baixa.pdf>.

- Enciso, K. & Burkart, S. Evaluación económica de materiales forrajeros en Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 36p. 2019.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). *Low emissions development of the beef cattle sector in Uruguay – reducing enteric methane for food security and livelihoods*. Rome. ISBN 978-92-5-109610-9. 34p. 2017.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Soluciones ganaderas para el cambio climático. 2018. Disponible en: <https://www.fao.org/3/I8098ES/i8098es.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). *Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile. ISBN 978-92-5-131223-0. 56p. 2019. Disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). *Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe – Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas*. ISBN 978-92-5-134291-6. 34p. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb4415es>.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Ganado vacuno. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/cattle/es/>
- FAO/CEPAL. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: Reconstrucción con transformación: un balance de medio término. Boletín No. 17, 23p. 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11362/46914>
- FCV-UNNE. Introducción a la Producción Animal. Unidad temática 3: Sistema de Producción Animal. 2016. Disponible en: <https://ipafcv.files.wordpress.com/3-sistemas-de-pastoreo-carga-animal>

- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos). Fichas de caracterización departamental (en línea). Bogotá, Colombia. 2018a. Disponible en: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos). Ganadería colombiana, hoja de ruta: 2018 – 2022. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-8498-80-5. 126p. 2018b.
- Fernández, E. Valoración de los niveles sanguíneos de macro y microminerales, en bovinos para carne expuestos a exceso de ión fluoruro en la alimentación. Tesis para optar al título de Magister en Salud Animal. Facultad Ciencias Agrarias. UNMdP. Argentina, 99p. 2019.
- Galindo, J.; Gutiérrez, O.; Ramayo, M. & Leyva, L. Estatus mineral de las vacas y su relación con el sistema suelo-planta en una vaquería de la región oriental de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48 (3):241-245. 2014.
- García-Winder, M. *La ganadería en América Latina y el Caribe: una reflexión sobre sus perspectivas y desafíos*. En: R. Núñez Domínguez, R. Ramírez Valverde, S. Fernández Rivera, O. Araujo Febres, M. García Winder y T. E. Díaz Muñoz, eds. *La ganadería en América Latina y el Caribe: alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal*. bba Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados-Fundación COLPOS-Universidad de Chapingo-ALPA-FAO-IICA. ISBN: 978-607-715-305-4. 816p. 2015.
- Gaviria, X.; Sossa, C.; Montoya, C.; Chará, J. J.; Lopera, C.; Córdoba, P. & Barahona, R. Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. En: *Memorias. VII Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible*. At Belem, Brasil. 2012. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/262936613>
- Gaviria-Uribe, X.; Naranjo-Ramírez, J.; Bolívar-Vergara, D. & Barahona-Rosales, R. Consumo y digestibilidad en novillos cebuinos en un sistema silvopastoril intensivo. *Arch. Zootec*. 64 (245):21-27. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/1021071/az.v64i245.3>
- Giacomel, A.; Freitas, T. C. de; Costa, A. L. B. da; Sbardelotto, E. M.; Bergmann, E. & Debortoli, E. de C. Mineral supplementation for beef cattle – a meta-analysis.

- Research, Society and Development*, [S. I.], v. 11, n. 3, p. e39211326616, 2022.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26616>.
- Gibert, P. M. Minerales en Nutrición Animal. 2019. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/2019/07/03/minerales-en-nutricion-animal/>
- Goff, J. Mineral absorption mechanism, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J.Dairy Sci.* 101 (4):2763-2813. 2018.
- Gómez, J.; Del Campo, M. & González, M. Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. *Revista Colombiana de Ciencia Animal.* 11 (1). 2019. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.716>
- Gómez-Merino, F. C., Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I. Nutrición de cultivos. 2016. Disponible en: <https://isbn.cloud/9786077153245/nutricion-de-cultivos/>
- Gómez-Rendón, J.; Del Campo, M. & González-Tous, M. Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. 2019. Disponible en: <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/716/794>
- González, J. F. Estudio de viabilidad económica para una engorda de bovinos en corral en el sur del estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios.* 41. 2017. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/141/14153918008/html/index.html>
- Gotlieb, Y. & García-Girón, J. D. The role of land use conversion in shaping the land cover of the Central American Dry Corridor. *Land Use Policy.* 90:104351. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104351>
- Grajales-Lombana, H. A. Plan Estratégico Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Departamento del Cesar. 2016. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-cesar.pdf>
- Greene, L. W. Assessing the mineral supplementation needs in pasture-based beef operations in the Southeastern United States. *J. Anim. Sci.* 94 (12):5395-5400. 2016.

- Grossi, G.; Goglio, P.; Vitali, A. & Williams, A. G. Livestock and climate change: impact of live-stock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*. 9 (1):69-76. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>
- Guimaraes, C. G.; Pereira, R. C.; Ribeiro, G. K.; Machado, M. C.; Dos Santos & J. B. *Urochloa decumbens* grown different Eucalyptus clones in an integrated crop livestock forest system. *Revista Ciencia Agronómica*. 49 (3):512-518. 2018.
- Hernández-Malueños, L. G. *Los sistemas pecuarios: recursos, procesos y productos*. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. 105p. 2021.
- Hernández-Núñez, H. E.; Andrade, H. J.; Suárez-Salazar, J. C.; Sánchez, J. R.; Gutiérrez, D. R.; Gutiérrez-García, G. A.; *et al.* Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Rev. biol. Trop.* 69 (1):352-368. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i1.42959>
- Hilal, E.; Elkhairy, M. & Osman, A. The role of zinc, manganese and copper in rumen metabolism and immune function: A review Article. *Open Journal of Animal Sciences*. 6:304-324. 2016.
- Holdridge, L. R.; Grenke, W. C.; Hatheway, W. H.; Liang, T. & Tosi, J. A. Forest environments in tropical life zones: a pilot study. Pergamon Press. New York: Pergamon Press. Ltd. ISBN: 9780080163406, 747 p. 1971.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de asistencia técnica No. 47. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia, 236 p. 1989.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); UDCA (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales). Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia 2015. Bogotá D.C., Colombia. IDEAM - MADS. 62p. 2015.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, Departamento de Córdoba. Bogotá, Colombia. 502 p. 2009. Disponible en: https://www.academia.edu/35148249/Estudio_General_de_Suelos_y_Zonifi_caci%

- Iglesias, J. M.; García, L. & Toral, Odalys C. Comportamiento productivo de diferentes genotipos bovinos en una finca comercial. Ceba inicial. *Pastos y Forrajes*. 37 (4):420-425. 2014.
- Iglesias, J. M.; García, L. & Toral, Odalys C. Comportamiento productivo de diferentes genotipos bovinos en una finca comercial. Ceba final. *Pastos y Forrajes*. 38 (2):185-193, 2015
- Iglesias, J. M.; García, L. & Toral, Odalys C. Comportamiento productivo de diferentes genotipos bovinos en una finca comercial. Ceba inicial. *Pastos y Forrajes*. 37 (4):420-425. 2017.
- Iglesias, J.; Simón, L.; Hernández, I.; Castillo, E.; Ruíz, T.; Valdés, L. R.; et al. *Sistemas de producción basados en pastos, forrajes y leñosas forrajeras para la ceba vacuna*. Milagros Milera, ed. En: André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba. Matanzas, Cuba: EEPF *Indio Hatuey*. p: 548-558. 2011.
- Iraola, J.; Elías, A.; Gutiérrez, D.; García, Yenny; Fraga, L. M.; Vázquez, Arelis. Efecto de microorganismos beneficiosos activados en la finalización de toros en silvopastoreo con leucaena, complementados con caña de azúcar. *Revista Científica*. XXVII (6):403-410. 2017.
- Iraola, J.; García, Yenny & Hernández, J. L. Bovinos machos en pastoreo restringido complementados con caña de azúcar y maíz. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20 (1):41-46. 2016.
- Iraola, J.; Muñoz, E.; García, Yenny; Hernández, J. L., Tuero, O. & Moreira, E. Feeding behavior of male cattle under restricted grazing, supplemented with distiller maize grains during the dry period. *Cuban J. Agr. Sci*. 47 (3):255-261. 2013.
- Iraola, J.; Rodríguez, R.; Elías, A.; García, Yenny & Hernández, J. L. Live weight evaluation of grazing bulls, supplemented with Cenchrus, Moringa silage, a starchy source and VITAFERT®. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 53 (1):29-34. 2019.

- Jaramillo, O. & Severino, O. Composición química, valor nutritivo y cinética de degradación in-vitro del *Pennisetum purpureum* var. Ct-115 cosechada a tres intervalos de corte. Tesis presentada para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Temascaltepec. México: Universidad Autónoma del Estado de México. 109 p. 2015.
- Johnson, L. E. Carencia de yodo. 2021. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es-co/hogar/trastornos-nutricionales/minerales/carencia-de-yodo>
- Kramer, C. Y. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*. 12: 307-310. 1956.
- Mesa de Ganadería Sostenible. Erosión en Territorios Ganaderos. 2019. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- Lamela, L. Técnica de muestreo. Conferencia del curso de posgrado Manejo de los pastos y forrajes para la producción animal. Maestría en Pastos y Forrajes. EEPF *Indio Hatuey*. Matanzas, Cuba. 12 p. 1998.
- Larios, M. A. Calidad nutricional de tres forrajes tropicales cosechados a diferentes edades de corte en Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 36 p. 2016.
- Lindmeier, C. Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos. OMS. Organización Mundial de la Salud. 2017. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>
- López, O.; Olivera, Yuseika; Lamela, L.; Sánchez, Tania; Montejo, I. L.; Ronquillo, M. Efecto de la suplementación con concentrado en la fermentación in vitro de dietas para vacas lecheras en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 37 (4):426-434. 2014.
- López, O.; Ruíz, T. E.; Sánchez, Tania; Castillo, E.; Iglesias, J. M.; Lamela, L. *Potencialidades del silvopastoreo para la producción animal en Cuba*. R. Núñez Domínguez, R. Ramírez Valverde, S. Fernández Rivera, O. Araujo Febres, M.

- García Winder y T. E. Díaz Muñoz*, eds. En: La ganadería en América Latina y el Caribe: alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal. bba Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados-Fundación COLPOS-Universidad de Chapingo-ALPA-FAO-IICA. ISBN: 978-607-715-305-4. 816 p. 2015.
- López-Vigoa, O.; Sánchez-Santana, Tania; Iglesias-Gómez, J. M.; Lamela-López, L.; Soca-Pérez, Mildrey; Arece-García, J. & Milera-Rodríguez, Milagros C. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. 40 (2):83-95. 2017.
- Magrin, Graciela O. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. 80p. 2015.
- Mahecha, L.; Murgueitio, M.; Angulo, J.; Olivera, M.; Zapata, A.; Cuartas, C.; Naranjo, J. & Murgueitio, E. Desempeño animal y características de la canal de dos grupos raciales de bovinos doblepropósito pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 24 (3):470. 2011.
- Malik, T.; Mir, S. & Pal, R. Chelated versus Inorganic Zinc supplementation in Ruminants. *Nutrition & Food Science*. 4 (2):1-3. 2017.
- Martínez, J.; Milera, Milagros; Remy, V.; Yepes, I. & Hernández, J. Un método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*. 13 (1):101-110. 1990.
- Martínez, J.; Osorio, V. N. & Garrido, P. J. Efectividad de hongos micorrizo-arbusculares nativos en suelos con diferentes usos agropecuarios. *Rev MVZ Cordoba*. 24 (2):7256-7261. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1703>.
- Maurig, M. V. & Bernardis, A. C. Producción de biomasa de *Brachiaria (Brachiaria brizantha)* cv. Marandú en dos sistemas silvopastoriles de Pino (*Pinus elliottii*) en Corrientes Argentina. *Chil.J. agric.anim. Sci*. 33 (2). 2017.

- McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D.; Morgan, C. A.; Sinclair, L. A. & Wilkinson, R. G. *Nutrición animal*. 7^{ta} ed. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. ISBN: 978-84-200-1169-1. 672 p. 2013.
- McDowell, L. R. & Arthington, J. D. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. University of Florida. Gainesville. USA, IFAS, ISBN: 9780916287016. 92 p. 2005.
- Mejía, S.; Cuadrado, H. & Rivero, T. *Manejo agronómico de algunos cultivos forrajeros y técnicas para su conservación en la región Caribe colombiana*. Manual Técnico. 2 ed. Cereté, Colombia: CORPOICA. 77p. 2013.
- Mejía-Kerguelén, S.; Tapia-Coronado, J. J.; Atencio-Solano, L. M. & Cadena-Torres, J. Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol. *Pastos y Forrajes*. 42 (2):133-142. 2019.
- Mejías-Caba, A.; Stuart-Montalvo, J. & Chongo-García, B. Sistema de apoyo a la toma de decisiones en la producción de carne vacuna. *Revista de Producción Animal*. 33 (1). 2021. Disponible en: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3609>
- Méndez, F. A.; Cruz, A. A.; Vargas, J. J. & Lastra, C. A. Manual de formulación de mezclas minerales para las diferentes regiones agroecológicas del estado de Campeche. México. 2016. Disponible en: <http://siproduce.sifupro.org.mx>
- Ministerio de Agricultura de Colombia. 4 cualidades de un suplemento mineral para bovinos. 2018. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/4-cualidades-de-un-suplemento-mineral-para-bovinos.aspx>
- Mojica-Rodríguez, J. E.; Castro-Rincón, E.; Carulla-Fornaguera, J. & Lascano-Aguilar, C. E. Efecto de la edad de rebrote sobre el perfil de ácidos grasos en gramíneas tropicales. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 18 (2):217-232. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:623.
- Molano, M. L. *Caracterización nutricional de forrajes tropicales usando espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)*. Trabajo de tesis como requisito parcial para optar al

- título de Magister en Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2012.
- Molina, C. I.; Angarita, E. A.; Mayorga, O. L.; Chará, J. & Barahona-Rosales, R. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Liv. Sci.* 185:24-29. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- Mora, J.; Romero, J. & Zamora, L. Viabilidad financiera de modelos de manejo de rumiantes en sistemas silvopastoriles con y sin suplementación estratégica. *Agrofor. Neotrop.* 4:52-60. 2014.
- Mora, M. M. A.; Ríos, P. L.; Ríos, R. L. & Almario, C. J. Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región.* 17:1-12. 2017. DOI: <https://doi.org/10.25054/22161325.1212>
- Morales-Almaráz, E.; Vieyra-Alberto, R.; Domínguez-Vara, I. A.; López-González, F.; Arriaga-Jordán, C. M.; Sánchez-Torres, J. E. Perfil mineral sérico de vacas Holstein en lactación en sistemas mixtos de estabulación-pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (1):45-62. 2021. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.41333>
- Morales-Rozo, A.; Lizcano, D. J.; Montoya-Arango, S.; Velasquez-Suarez, A; Alvarez-Daza, E. & Acevedo-Charry, O. Diferencias en paisajes sonoros de sistemas silvopastoriles y potreros tradicionales del piedemonte llanero, Meta, Colombia. *Biota Colombiana.* 22 (1):74–95. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a05>
- Moreno, J. & Campo, L. Plant breeding as tool to challenge climatic changes in forage production. A review. *Revista Pastos.* 46 (2):25-43. 2016.
- Mottet, Anne; Haan, Cees de; Falcucci, Alessandra; Tempio, G.; Opio, Carolyn & Gerber, P. Livestock: On Our Plates or Eating at Our Table? A New Analysis of the Feed/Food Debate. *Global Food Security.* 14:1–8. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Muñoz, P. A., y Salguero, S. Viabilidad del Sistema Recolaps como Herramienta para la Reducción de Costos. 2020. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/31933/1/2021silvanasalguero.pdf>

- Muñoz, W. Suplementación estratégica a pastoreo en el trópico. Hacienda Santa Helena. Montería, Colombia: Nutryr S.A. del Caribe. 2017.
- Muñoz-González, J. C.; Huerta-Bravo, M.; Rangel-Santos, R.; Lara-Bueno, A. & De la Rosa-Arana, J. L. Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17:285-287. 2014.
- Murgueitio, E.; Chará, J., Barahona, R. & Rivera, J. E. Avances en ganadería sostenible con sistemas silvopastoriles en América Latina. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 53 (1):65-71. 2019.
- Murgueitio, E.; Chará, J.; Solarte, A. J.; Uribe, F.; Zapata, C. & Rivera, J. E. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 26:313-316. 2013.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient Requirements of Beef Cattle, Eighth Revised Edition*. Washington, DC: *The National Academies Press*. ISBN 978-0-309-31702-3. 494 p. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17226/19014>
- Navas, A. Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. *Rev. Med. Vet.* 34:55-65. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19052/mv.4255>
- Navia, J.; Muñoz, D. & Solarte, J. Caracterización biofísica y socioeconómica de fincas ganaderas de leche en el Municipio de Guachucal, Nariño. *Rev. Temas Agrar.* 20:113-129. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.21897/rta.v20i1.753>
- Nieto-Sierra, D. F.; Meneses-Buitrago, D. H.; Morales-Montero, Sonia P.; Hernández-Oviedo, F. & Castro-Rincón, E. Productive characteristics of forage crops for supplementation in milk production systems, Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 31 (1):177-192. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v31i1.36596>

- NRC (National Research Council). Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. rev. *National Academy Press*. Washington, USD. 210 p. 2000.
- NRC (National Research Council). Mineral tolerance of animals. Second revised Edition. Committee on minerals and toxic substances in Diets and water for animals. National Academic Press, Washington, USD. 510 p. 2005.
- NRC (National Research Council). (2016). Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. rev. National Academy Press. Washington. <https://www.nap.edu/catalog/19014/nutrient-requirements-of-beef-cattle-eighth-revised-edition>
- Nunes-Carvalho, F. A. Minerales en dieta de ganado lechero. 2021. Disponible en: <https://nutrimaxcr.com/minerales-dieta-ganado-lechero/>
- Núñez-Domínguez, R.; Ramírez-Valverde, R.; Fernández-Rivera, S.; Araujo-Febres, O.; García-Winder, M. & Díaz-Muñoz, T. E. *La ganadería en América Latina y el Caribe: alternativas para la producción competitiva, sustentable e incluyente de alimentos de origen animal*. (Editores). bba Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados-Fundación COLPOS-Universidad de Chapingo-ALPA-FAO-IICA. ISBN: 978-607-715-305-4: 11-12. 2015.
- Ochoa, G. D. & Valarezo, G. J. Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador. *CEDAMAZ*. 4:76-85. 2014.
- Patiño, R. M.; Gómez, R. & Navarro O. A. Calidad nutricional de Mombasa y Tanzania (*Megathyrus maximus*, Jacq.) manejados a diferentes frecuencias y alturas de corte en Sucre, Colombia. *Rev. CES Med. Zotec*. 13:17-30. 2017.
- Patiño, R.; Da Silva Filho, J. & Pérez, J. Modelos de predicción de exigencias minerales para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 3 (2):344-365. 2011. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.409>
- Patiño-Pardo R.; Pérez-Cardoso, R. & Pérez-Palencia, J. Efecto de la aplicación de diferentes tipos de abono sobre la producción y calidad nutricional del pasto colosuana *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus, en Sabanas de Sucre, Colombia.

- Livestock Research for Rural Development*. 25 (2):147. 2013.
<http://www.lrrd.org/lrrd25/8/Pati25147.htm>
- Patty-Quispe, M. H.; Loza-Murguía, M. G.; Achu-Nina, C.; Rojas-Pardo, A.; Chura-Limachi, F. & Quispe-Paxipati, C. H. Evaluación del efecto de suplemento de heno fortificado y concentrado en la producción de leche de bovinos (*Bos taurus* L.) durante la época seca en la comunidad Achaca-Tiahuanacu. Tihuanacu. *Journal of the Selva Andina Animal Science*. vol. 4, núm. 1, 2017. DOI:
<https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2017.040100013>
- Paulas, R. Cómo calcular el costo anual equivalente. 2018. Disponible en:
<https://www.cuidatudinero.com>
- Pedreira, M. & Berchielli, T. Minerais. Em: Nutricao de ruminantes. (2^{da} Eds. Telma, Berchielli; A., Vaz & Simone Gisele, de Oliveira). FUNEP. Jaboticabal: FUNEP, Brasil. ISBN: 85-87632-72-8: 333-353, 2011.
- Pérez-Cordero, A.; Chamorro-Anaya, L. & Doncel-Mestra, A. Bacterias endófitas promotoras de crecimiento aisladas de pasto colosoana, departamento de Sucre, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba*. 23 (2):6696-6709. 2018.
- Pezo, D. *Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Estado del arte*. Banco Interamericano de Desarrollo, monografía del BID, 685. Estados Unidos: FONTAGRO. 24p. 2019.
- Piña, L. & Olivares, A. Oferta y disponibilidad de forraje como factores en la selectividad y consumo de la pradera. Departamento de Producción Animal, Universidad de Chile. 2012. Disponible en: www.uchile.cl
- Piñeros, R.; Tobar, V. & Mora, J. Evaluación agronómica y zootécnica del pasto Colosoana (*Bothriochloa pertusa*) en el trópico seco del Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 4 (1):36-40. 2011.
- Pittaluga, O. Rol de los minerales en la producción de bovinos para carne en Uruguay. *Boletín Divulgación*. 96. 2009, INIA. ISBN: 978-9974-38-272-5. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIAANDES 1365, Piso 12. Montevideo-Uruguay. Disponible en: <http://www.inia.org.uy>

- Portela-Pérez, Vivian D. & Brito-Martínez, A. Respuesta agronómica, productividad y calidad nutricional del pasto colosoana (*Bothriochloa pertusa*) bajo diferentes fuentes de fertilización. Tesis para optar por el título de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tolima, Colombia: Universidad del Tolima. 2018.
- Rajkumar, M.; Sandhya, S.; Prasad, M. N. & Freitas, H. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnol Adv.* 30: 1562-1574. 2012.
- Ramírez, J. L.; Leonard, I.; Verdecia, D.; Pérez, Y.; Arseo, Y. & Álvarez, Y. Relación de dos minerales con la edad y los elementos del clima en un pasto tropical. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria.* 15 (5):1-8. 2014. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050514.html>
- Ramírez-Iglesias, Elizabeth; Cuenca, K. & Quizhpe, W. Manejo integrado de agroecosistemas en América Latina: Una opción para maximizar la producción resguardando la biodiversidad. *Revista TEKHNE.* 23:1. 2020.
- Ramos, N. & Cachena, L. Importancia del suelo en la producción mundial de alimentos, en la disminución de la pobreza y en la seguridad alimentaria. 2017. Disponible en: <https://www.unicen.edu.ar/content/importancia-del-suelo-en-la-produccion-mundial-de-alimentos-en-la-disminucion-de-la-pobreza-y-en-la-seguridad-alimentaria>
- Reategui, K., Aguirre, N., Oliva, R., Aguirre, E. Presión de pastoreo sobre la disponibilidad de forraje *Brachiaria decumbens*. 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172019000200011&script=sci_arttext
- Reinoso, Valeria & Soto, C. I. Cálculo y manejo en pastoreo controlado I: Nivel de oferta forrajera y utilización de la pastura. 2012. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/calculo-manejo-pastoreo-controlado-t29401.htm>
- Rivera, J. E.; Serna, L. P.; Solano, C.; Gómez, M.; Hernández, D. & Chará, J. Los sistemas de producción bovina en el departamento del Cesar, Colombia. Una estimación de las emisiones de GEI y sus alternativas de mitigación. *Livestock*

- Rivera-Herrera, J. E.; Molina-Botero, Isabel; Chará-Orozco, J.; Murgueitio-Restrepo, E. & Barahona-Rosales, R. Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*. 40 (3):171-183. 2017.
- Riveros, J. M. Productividad y bienestar animal de los sistemas silvopastoriles intensivos como estrategia productiva para una ganadería doble propósito sostenible. 2017. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/productividad-bienestar-animal-sistemas-t39992.htm>
- Rojas-Vargas, Erika P.; Silva-Agudelo, E. D.; Guillén-Motta, Ana Y.; Motta-Delgado, P. A. & Herrera-Valencia, W. Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura (Cien. Agri.)*. 16 (3):35-46. 2019. DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515>
- Roncallo, B.; Murillo, J.; Rodríguez, G.; Bonilla, Ruth Rebeca & Garrido, María Fernanda. Producción de forraje y respuesta animal en suelos del valle del Cesar en proceso de recuperación. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(1), 89-96. 2012.
- Roncallo, B.; Sierra, Andrea M. & Castro, E. 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 (1):71-78. 2012.
- Roncallo-Fandiño, B. A.; Soca-Pérez, Mildrey & Ojeda-García, F. Comportamiento productivo de bovinos machos en desarrollo en dos explotaciones ganaderas del valle del Cesar en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 43 (3):220-228. 2020.
- Rosero, R. & Posada, Sandra Lucía. Cálculo de sales minerales para vacunos en pastoreo. Fondo Editorial Biogénesis: ISBN: 978-958-8947-81-5. 2016.
- Russo, R. O. Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes*. 38 (2):157-161. 2015.

- Salcedo-Díaz, G. Utilización de Pastos y Forrajes. 2019. Disponible en: <https://axoncomunicacion.net/utilizacion-de-pastos-y-forrajes/>
- San Julián, R.; Alonso, J. & Dávila, P. *Efecto de diferentes ofertas de forraje del campo natural durante el pre y posparto de vacas primíparas sobre la respuesta productiva del ternero*. Tesis presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República. 2015.
- San Miguel, J. M., Perón, N., Suárez-Inclán, A. y Peralta, E. La Importancia de la Alimentación en el Ganado Vacuno. 2021. Disponible en: <https://www.blog.consentidovacuno.es/posts/la-importancia-de-la-alimentacion-en-el-ganado-vacuno.aspx>.
- Sánchez-Santana, Tania; Esperance-Castañeda, Y.; Lamela-López, L.; López-Vigoa, O. & Benítez-Álvarez, M. A. Efecto de la suplementación con un preparado de maíz y afrecho de trigo enriquecido con torula en la ceba de toros en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 39 (4):265-270. 2016.
- Sánchez-Santana, Tania; López-Vigoa, O.; Iglesias-Gómez, J.M.; Lamela-López, L. & Soca-Pérez, Mildrey. The potential of silvopastoral systems for cattle production in Cuba. *Elem Sci Anth*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.334>
- Shisia, K.; Ngure, V.; Nyambaka, H. & Oduor, F. Effect of pH and forage species on mineral concentrations in cattle breeds in major grazing areas of Uasin Gishu County, Kenya. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2 (12):247-254. 2013.
- Silveira, L. P. Suplementação mineral para bovinos. *Pubvet*. 11(5): 489-500. 2017.
- Soca, Mildrey; Simón, L.; Roque, E.; Roche, Yaima; Aguilar, A.; Soca, Maylin & Arece, J. *Efectos de los sistemas silvopastoriles en el control de los nematodos gastrointestinales de los bovinos en pastoreo*. En: Bienestar animal: Alternativas para la producción de los bovinos. Compiladores: J. E. Guerra-Liera, R. Barajas-Cruz, J. F. Inzunza-Castro, J. A. Saltijeral-Oaxaca, A. Córdova-Izquierdo. Editorial: UAS-Juan Pablos. México. ISBN: 978-607-737-117-5: 155-168. 2016.
- SOMEX. Suplementación mineral. Colombia. 2013. Disponible en: <http://www.somex.com.co>

- Sotelo, M.; Suárez, J.; Álvarez, F.; Castro, A.; Calderón, V. & Arango, J. Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico-Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable? Publicación No. 448. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 2017.
- Suber, M.; Gutiérrez-Beltrán, N.; Torres, C. F.; Turriago, J. D.; Arango, J.; Banegas, N. R.; Berndt, A.; *et al.* Mitigación con sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. Aportes para la incorporación en los sistemas de medición reporte y verificación bajo la bajo la CMUNCC. CCAFS Working Paper No. 254. Wageningen, The Netherlands. 53p. 2019. Disponible en: www.ccafs.cgiar.org
- Tapasco, J.; Martínez, J.; Calderón, S.; Romero, G.; Ordóñez, D. A.; Álvarez, A.; Sánchez-Aragón, L. & Ludeña, C. E. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero. Washington D.C. Banco Interamericano de Desarrollo, Monogr. N°. 254, 50p. 2015.
- Tapia-Coronado, J. J.; Atencio-Solano, Liliana M.; Mejía-Kerguelen, S. L.; Paternina-Paternina, Y. & Cadena-Torres, J. Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sábanas secas del caribe en Colombia. *Agronomía Costarricense*. 43 (2):45-60. 2019.
- Torregroza, L.; Reza, S.; Suárez, E.; Espinosa, M.; Cuadrado, H.; Pastrana, I Producción de carne en pasturas irrigadas y fertilizadas de *Brachiaria híbrido* cv. Mulato II en el valle del Sinú. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 16 (1):131-138. 2015.
- Torres, L. B.; Pagnussatt, T. B. & Severo, E. A. A Inovação Como Fonte Para Vantagem Competitiva Nas Organizações: Uma Revisão Sistemática Da Literatura. *Gestão Inovação e Tecnologias*. 7 (4):4028–4043. 2017. DOI: <https://doi.org/10.7198/geintec.v7.i4.1022>
- Torres, M. Tasa Interna de Retorno (TIR): definición, cálculo y ejemplos. 2016. Disponible en: <https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejemplos>
- Torres, S. P. A. & Delgado, D. F. F. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Revista Ciencia y Agricultura*.

- 15 (2):107-116. 2018. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6682873>
- Tosi, J. C. Costos de implantación de pasturas y verdes. EEA BALCARCE. 2018. Disponible en:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_costo_past_y_verd_03_2018.pdf
- Tovar, N. Sistemas tradicionales de producción ganadera en el municipio de Guasca Cundinamarca. 2020. Disponible en:
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/39049/netovara.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20sistemas%20tradicionales%20presentan%20poca%20forraje%20durante%20todo%20el%20a%C3%B1o>
- Tropical Forages. *Bothriochloa pertusa*. 2013. Disponible en:
http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Bothriochloa_pertusa.htm
- Valadares Filho, S. C.; Costa da Silva, L. F.; Gionbelli, M. P.; Rotta, P. P.; Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L. & Prados, L. F. Exigências nutricionais de Zebuínos puros e cruzados-BR-corte. Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, Minas Gerais, Brasil. 2016.
- Valdivieso, P. I.; Nahed, T. J.; Piñeiro, V. A.; Guevara, H. F.; Jiménez, F. G. & Grande, C. D. Potential for organic conversion and energy efficiency of conventional livestock production in a humid tropical region of Mexico. *Journal of Cleaner Production*. 241: 1-17. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118354>
- Vélez-Terranova, M. Estrategias tecnológicas para la intensificación de la productividad ganadera en condiciones de sabanas inundables en la orinoquía colombiana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 22:257-266. 2019.
- Villalobos-Villalobos, L. & Wing-Ching, J. R. Mechanical removal of senescent material for pasture recovery. *Agronomía Mesoamericana*. 30 (3):821-840. 2019. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.36625>
- Warly, L. L.; Suyitman, E. & Fallani, A. Nutrient Digestibility and apparent Bioavailability of minerals in beef cattle fed with different levels of concentrate and oil-palm fronds. *Pak. J. Nutr.* 16 (3):131-135. 2017.

- Yepes, Luz Andrea & Sarmiento, Luisa Fernanda. Estudio de la apropiación de Sistemas Silvopastoriles en la producción de leche bovina en el contexto del agronegocio lácteo del sur del Atlántico. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Agronegocios. Universidad de La Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Bogotá D.C., Colombia. 80p. 2016.
- Zapata-Cadavid, A. y Siva-Tapasco, B. E. Sistemas Sivopastoriles. Aspectos Teóricos y Prácticos. 2020. Disponible en: <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos.pdf>
- Zepeda-Cancino, R. M.; Toral, J. N. & Velasco-Zebadúa, María E. Evaluación de unidades ganaderas e índice de desarrollo de sistemas silvopastoriles. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 25 (1):57-74. 2021.
- Zuluagaa, A. F. & Etter, A. Áreas aptas para la actividad ganadera en Colombia. Análisis espacial de los impactos ambientales y niveles de productividad de la ganadería. Biodiversidad, Ficha: 403. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. 2017. Disponible en: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap4/403/index.html#seccion9>.



ANEXOS

ANEXO 1.

Requerimientos de minerales para ganado bovino en crecimiento.

Mineral	Req.	Máxima tolerancia	Mineral	Req.	Máxima tolerancia
Ca, %	0,27	n.i.	Co, mg kg MS	0,10	n.i.
P, %	0,15	n.i.	I, mg kg MS	0,2-0,3	n.i.
Mg, %	0,10	0,40	Fe, mg kg MS	50,00	1 000
K, %	0,60	3,00	Mn, mg kg MS	20,00	1 000
Na, %	0,06-0,08	n.i.	Se, mg kg MS	0,10	n.i.
S, %	0,15	0,40	Zn, mg kg MS	30,00	500
Cl, %	n.i.	n.i.	Mo, mg kg MS	n.i.	n.i.
Cu, mg.kg MS	10,00	100	Cr, mg kg MS	0,2-1	n.i.

n.i.: valor no determinado o no reconocido.

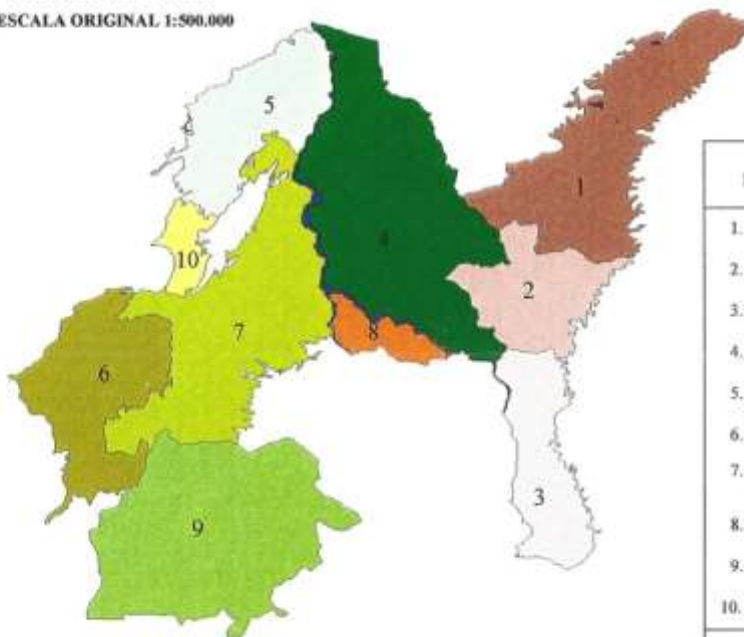
Req.: Requerimiento

ANEXO 2.


Mapa de la región en estudio.



REGION CARIBE
ESCALA ORIGINAL 1:500,000



MICROREGIONES	Area (Ha.)
1. Valle de Cesar	1.038.052
2. Sabanas de Cesar	507.457
3. Sur del Cesar	508.634
4. Bajo Magdalena	1.544.194
5. Faja Litoral	617.692
6. Valle del Sinú	763.493
7. Sabanas de Córdoba Sucre y Bolívar	1.242.230
8. Depresión Momposina	156.674
9. Bajo Cauca	1.337.167
10. Golfo de Morrosquillo	131.633

 Rio

ANEXO 3.

Caracterización de las fincas La Providencia y La Unión.

Característica	La Providencia	La Unión
Municipio	La Paz	Codazzi
Altitud (msnm)	124	109
Topografía	Plana	Plana
Fuentes de agua	Manantial, pozo profundo, pozo artesiano	Manantial, pozo artesiano, caño
Actividad ganadera	Doble Propósito	Doble Propósito
Área (ha)	70	520
Población ganadera total	306	665
Grupo genético	Predominio de la raza Brahman (cebú)	Predominio de la raza Brahman (cebú)
Alimentación vacas lactantes	Pastoreo. Gramíneas de corte (seca)	Pastoreo. Ensilaje y gramíneas de corte (seca)
Plan de salud	Vacunas aftosas, septicemia hemorrágica, edema maligno, carbón sintomático. Control de endo y de ecto parásitos.	Vacunas aftosas, septicemia hemorrágica, edema maligno, carbón sintomático. Control de endo y de ecto parásitos.
Infraestructura y equipos	Casa, corral con báscula, motobomba, hidrosilo, energía eléctrica	Casa, corral con báscula, tractor, planta eléctrica, tanque de enfriamiento de leche, energía eléctrica.
Morbilidad (%)	10	3
Mortalidad (%)	2	5
Área bovinos machos en desarrollo (ha)	10	6
Nº de potreros	11	5
Alimentación	Solo pastoreo Sin suplementación	Solo pastoreo Sin suplementación

ANEXO 3.

Caracterización de las fincas La Providencia y La Unión (Continuación).

Característica	La Providencia	La Unión
Sistema de pastoreo	Lluvia: rotacional observacional. Seca: continuo	Lluvia: rotacional observacional. Seca: continuo
Fertilización	No	No
Control de malezas	Sí	Sí
Suministro de sal	No	No
Otros suplementos	No	No
Obreros manejo de los terneros	2 (20 % de su tiempo)	2 (5 horas semanales)

ANEXO 4.

Composición bromatológica de *B. Pertusa*.

La Providencia

Mes	EM	MS	PB	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
	MJ kg MS ⁻¹	% MS							mg kg ⁻¹ MS				
Junio	8,6	25,4	8,2	0,29	1,5	0,4	0,2	0,05	0,6	235	7	60	26
Julio	9,0	25,9	9,9	0,25	1,1	0,3	0,2	0,04	0,4	213	6	59	26
Agosto	8,9	24,5	8,0	0,34	2,1	0,4	0,3	0,08	0,7	302	7	56	23
Septiembre	8,7	25,7	8,6	0,22	0,9	0,3	0,2	0,03	0,6	171	5	59	28
Octubre	8,6	24,6	8,8	0,33	2,2	0,4	0,2	0,05	0,8	212	8	59	22
Noviembre	7,6	27,2	7,3	0,32	2,0	0,4	0,3	0,07	0,7	208	7	57	19
Diciembre	7,4	28,4	7,7	0,23	0,9	0,3	0,2	0,07	0,2	191	3	58	30
Enero	7,0	27,2	7,8	0,24	0,9	0,3	0,3	0,04	0,3	148	4	57	29
Febrero	6,6	28,9	7,2	0,37	1,8	0,4	0,2	0,05	0,6	434	10	74	28

Finca La Unión

Mes	EM	MS	PB	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
	MJ kg MS ⁻¹	% MS							mg kg ⁻¹ MS				
Junio	11,6	26,1	14,1	0,24	1,2	0,5	0,3	0,06	0,3	255	8	78	29
Julio	9,6	26,9	11,3	0,24	1,2	0,4	0,3	0,07	0,4	223	7	69	30
Agosto	9,0	27,1	10,6	0,23	1,2	0,4	0,2	0,07	0,5	191	7	60	31
Septiembre	7,8	26,5	7,9	0,18	0,9	0,4	0,2	0,06	0,4	153	5	85	25
Octubre	7,6	28,1	8,1	0,16	0,9	0,4	0,2	0,06	0,3	157	4	101	24
Noviembre	7,4	28,2	8,6	0,23	1,1	0,4	0,2	0,06	0,3	187	8	67	28
Diciembre	8,2	29,3	9,4	0,30	1,4	0,5	0,3	0,08	0,4	178	9	54	31
Enero	7,7	29,4	8,8	0,30	1,3	0,4	0,3	0,08	0,4	178	9	54	31
Febrero	6,3	29,6	7,3	0,22	0,9	0,3	0,2	0,05	0,2	232	10	74	28

ANEXO 5.

Balance nutricional por meses de las fincas La Providencia y La Unión.

Finca La Providencia

Mes		EM	PB	P	Ca	K	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
		Mj	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹											
Junio	Requerimientos	50,9	570	14,7	21,2	32,7	5,5	4,4	8,2	273	55	109	164
	Aportes	50,9	572	15,8	21,8	81,8	10,9	1,6	9,8	1281	38	327	142
	Diferencias	0,0	2	1,1	0,6	49,1	5,4	-2,8	1,6	1008	-17	218	-22
Julio	Requerimientos	58,3	632	15,7	22,7	34,9	5,8	4,6	8,7	291	58	116	174
	Aportes	58,3	633	14,5	20,9	68,0	13,4	1,2	22,1	1238	35	343	151
	Diferencias	0,0	1	-1,2	-1,8	33,1	7,6	-3,4	13,4	947	-23	227	-23
Agosto	Requerimientos	57,5	620	16,4	23,7	36,5	6,1	4,9	9,1	304	61	122	182
	Aportes	57,5	620	15,8	25,5	124,6	12,8	1,8	14	1155	43	341	139
	Diferencias	0,0	0	-0,6	1,8	88,1	6,7	-3,1	4,9	851	-18	219	-43
Septiembre	Requerimientos	54,3	591	16,9	24,5	37,7	6,3	5	9,4	315	63	126	189
	Aportes	54,3	591	15,7	23,9	56,6	12,6	1,8	12	1076	32	371	176
	Diferencias	0,0	0	-1,2	-0,6	18,9	6,3	-3,2	2,6	761	-31	245	-13
Octubre	Requerimientos	53,0	578	17,5	25,3	38,9	6,5	5,2	9,7	324	65	130	194
	Aportes	53,0	590	16,2	27,2	140,6	14,2	1,9	13,9	1374	52	382	143
	Diferencias	0,0	12	-1,3	1,9	101,7	7,7	-3,3	4,2	1050	-13	252	-51
Noviembre	Requerimientos	47,9	531	17,7	25,3	39,4	6,6	5,3	9,9	329	66	131	197
	Aportes	47,9	532	17,1	24,9	133,4	12,5	2,6	13,8	1367	46	374,5	125
	Diferencias	0,0	1	-0,6	-0,4	94	5,9	-2,7	3,9	1038	-20	243,5	-72
Diciembre	Requerimientos	52,4	573	18,1	26,2	40,3	6,7	5,4	10,1	336	67	134	202
	Aportes	52,4	578	16,1	26,3	62,5	12,8	2,7	13,4	995	27	383	195
	Diferencias	0,0	5	-2,0	0,1	22,2	6,1	-2,7	3,3	659	-40	249	-7

ANEXO 5. Continuación

Mes		EM	PB	P	Ca	K	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
		Mj	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹											
Enero	Requerimientos	46,4	518	18,3	26,4	40,7	6,8	5,4	10,2	339	68	136	203
	Aportes	46,4	515	15,6	25,1	62,4	12,2	2,0	14,3	1294	20	393	203
	Diferencias	0,0	-3	-2,7	-1,3	21,7	5,4	-3,4	4,1	955	-48	257	0
Febrero	Requerimientos	42,8	483	18,1	26,2	40,3	6,7	5,4	10,1	336	67	134	201
	Aportes	42,4	473	18,1	28,2	118,1	11,4	3,4	12,1	1409	67	496	187
	Diferencias	-0,4	-10	0,0	2,03	77,8	4,7	-2,0	2,0	1073	0	362	-14

Finca La Unión

Mes		EM	PB	Ca	P	Mg	K	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
		Mj	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹											
Junio	Requerimientos	50,4	605	16,9	11,7	4,3	26,0	3,5	6,5	216	43	87	130
	Aportes	50,4	607	16,5	10,4	9,1	52,0	1,3	10,8	1104	35	337	125
	Diferencias	0	2	-0,4	-1,3	4,8	26,0	-2,2	4,3	888	-8	250	-5
Julio	Requerimientos	44,6	527	18,1	12,6	4,7	27,9	3,7	6,9	232	46	93	139
	Aportes	44,6	530	18,6	11,2	11,2	55,8	0,9	9,7	1036	33	320	139
	Diferencias	0	3	0,5	-1,4	6,5	27,9	-2,8	2,8	804	-13	227	0
Agosto	Requerimientos	44,5	517	19,2	13,3	4,9	29,6	3,9	7,4	246	49	99	148
	Aportes	44,5	520	18,2	11,3	12,3	59,2	1,4	11,8	941	34	296	143
	Diferencias	0	3	-1,0	-2,0	7,4	29,6	-2,5	4,4	695	-15	197	-5
Septiembre	Requerimientos	36,8	395	19,6	13,6	5,0	30,1	4,0	7,5	251	50	100	151
	Aportes	36,8	396	18,1	12,1	11,0	49,7	1,5	10,0	768	25	361	125
	Diferencias	0	1	-1,5	-1,5	6,0	19,6	-2,5	2,5	517	-25	261	-26

ANEXO 5. Continuación

Mes		EM	PB	Ca	P	Mg	K	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
		Mj	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹											
Octubre	Requerimientos	35,8	415	19,9	13,8	5,1	30,6	4,1	7,7	255	51	102	153
	Aportes	35,8	418	20,4	12,8	11,7	47,9	1,5	13,3	801	20	357	122
	Diferencias	0	3	0,5	-1,0	6,6	17,3	-2,6	5,6	546	-31	255	-31
Noviembre	Requerimientos	44,5	446	20,3	14,1	5,2	31,3	4,2	7,8	261	52	104	156
	Aportes	44,5	448	20,8	13,0	12,0	58,4	1,6	13,0	974	42	349	146
	Diferencias	0	2	0,5	-1,0	6,8	27,1	-2,6	5,2	713	-10	245	-10
Diciembre	Requerimientos	44,4	505	21,1	14,6	5,4	32,4	4,3	8,1	270	54	108	162
	Aportes	44,4	509	21,1	15,1	9,7	62,1	2,2	9,7	1042	49	319	151
	Diferencias	0	4	0,0	0,5	4,3	29,7	-2,2	1,6	772	-5	211	-11
Enero	Requerimientos	43,0	488	21,6	15,0	5,6	33,3	4,4	8,3	278	55	111	167
	Aportes	43,0	489	22,2	16,7	11,1	61,6	2,2	10,5	988	50	300	144
	Diferencias	0	1	0,6	1,7	5,6	28,3	-2,2	2,2	710	-5	189	-23
Febrero	Requerimientos	35,0	394	21,1	14,6	5,4	32,5	4,3	8,1	271	54	108	163
	Aportes	33,7	386	19,5	11,9	10,8	48,8	2,7	11,4	1257	54	363	152
	Diferencias	-1,3	-8	-1,6	-2,7	5,4	16,3	-1,6	3,3	986	0	255	-11

ANEXO 6.

Composición bromatológica de sistemas de pastoreo con gramíneas (*B. pertusa*). Período poco lluvioso.

Tratamiento: *B. pertusa* con minerales.

Indicador	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
EM, MJ Kg MS ⁻¹	9,61	7,86	8,57	8,72	9,70	8,85
PB, % MS	10,90	10,00	10,68	11,4	12,50	12,10
Ca, % MS	0,38	0,40	0,35	0,31	0,39	0,49
P, % MS	0,28	0,27	0,25	0,21	0,23	0,25
K, % MS	2,01	1,90	1,63	1,15	1,04	2,19
Na, % MS	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
Mg, % MS	0,24	0,29	0,27	0,32	0,06	0,06
S, % MS	0,23	0,20	0,18	0,22	0,19	0,20
Fe, mg kg ⁻¹ MS	136	133	152	171	133	156
Cu, mg kg ⁻¹ MS	9	10	8	10	8	7
Mn, mg kg ⁻¹ MS	28	29	34	63	60	54
Zn, mg kg ⁻¹ MS	25	24	29	30	24	23

Tratamiento: *B. pertusa* y heno sin minerales.

Indicador	O	N	D	E	F	M	D	E	F	M
	<i>B. pertusa</i>						Heno			
EM, MJ Kg MS ⁻¹	7,5	8,0	8,6	8,7	9,6	8,7	8,6	8,9	9,7	8,9
PB, % MS	10,5	10,2	10,6	10,5	11,6	11,9	8,3	8,3	8,8	8,8
Ca, % MS	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
P, % MS	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
K, % MS	1,9	1,8	1,6	0,9	0,8	0,8	1,2	1,4	1,3	1,3
Na, % MS	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
Mg, % MS	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
S, % MS	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Fe, mg kg ⁻¹ MS	131	140	155	297	234	163	206	186	115	111
Cu, mg kg ⁻¹ MS	12	11	8	10	11	8	8	5	9	7
Mn, mg kg ⁻¹ MS	27	31	36	83	77	45	26	25	27	24
Zn, mg kg ⁻¹ MS	22	26	30	28	27	27	24	23	21	26

ANEXO 7. Balance nutricional de bovinos machos en desarrollo en sistemas con *B. pertusa*.

Período poco lluvioso.

Tratamiento: *B. pertusa* con minerales.

Mes		MS kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg	
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹													
Octubre	Requerimientos	4,15	39,8	518	17,5	12,1	26,9	3,6	4,5	6,7	224	45	90	134	
	Aporte <i>B. pertusa</i>	4,15	39,8	520	17,0	12,5	90,1	0,9	10,8	10,3	609	40	125	112	
	Aporte Minerales	37,8			3,7	1,6		4,9	0,2	2,5		123		286	
	Diferencia		0,0	2,0	3,2	2,0	63,2	2,2	6,5	6,1	385	118	35	264	
Noviembre	Requerimientos	4,46	35,1	434	18,1	12,5	27,8	3,7	4,6	7,0	232	46	93	139	
	Aporte <i>B. pertusa</i>	4,46	35,1	463	16,2	11,6	88,0	0,9	13,4	9,3	616	46	134	111	
	Aporte Minerales (g)	29,0			2,5	1,1		3,3	0,1	1,7		83		193	
	Diferencia	0	0,0	29,0	0,6	0,2	60,2	0,5	8,9	4,0	384	83	41	165	
Diciembre	Requerimientos	4,87	41,7	488	18,9	13,2	29,2	3,9	4,9	7,3	244	49	97	146	
	Aporte <i>B. pertusa</i>	3,44	29,6	367	12,0	8,6	56,1	0,3	9,3	6,2	523	28	117	100	
	Aporte Heno	1,43	12,3	122	4,3	2,9	22,9	0,1	2,9	2,9	222	11	51	43	
	Aporte Minerales (g)	39,4			4,0	1,8		5,3	0,2	2,7		134		314	
	Diferencia		0,2	1,0	1,4	0,1	49,7	1,9	7,5	4,4	501	124	71	311	
Enero	Requerimientos	5,04	43,9	508	19,7	13,6	30,2	4,0	5,0	7,6	252	50	101	151	
	Aporte <i>B. pertusa</i>	3,02	27,2	344	10,6	8,2	34,7	0,3	9,7	6,6	516	30	190	91	
	Aporte Heno	2,02	16,7	168	6,1	4,0	28,3	0,4	4,0	4,0	376	10	51	46	
	Aporte Minerales (g)	48,8			3,3	1,5		4,4	0,2	2,2		146		342	
	Diferencia		0,0	4	0,3	0,1	32,8	1,1	8,9	5,3	640	136	140	328	
Febrero	Requerimientos	5,38	52,2	542	21,0	14,5	32,3	4,3	5,4	8,1	269	54	108	161	
	Aporte <i>B. pertusa</i>	2,69	26,1	336	10,5	6,2	28,0	0,5	7,0	5,1	358	22	161	65	
	Aporte Heno	2,69	26,1	210	8,1	6,7	35,0	0,5	5,4	5,4	309	24	73	56	
	Aporte Minerales (g)	35,0			3,9	1,7		5,2	0,2	2,6		105		245	
	Diferencia		0,0	4	1,5	0,1	30,7	2,0	7,2	5,0	398	97	126	205	

ANEXO 7. Continuación

Mes		MS kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Marzo	Requerimientos	5,63	49,8	556	22,0	14,2	33,8	4,5	5,6	8,5	282	56	113	169
	Aporte <i>B. pertusa</i>	1,88	16,6	224	11,3	3,8	15,0	0,6	1,9	1,9				
	Aporte Heno	3,75	34,5	454	18,4	9,4	82,1	0,8	3,8	7,5	585	26	203	86
	Aporte Minerales (g)	40,8			3,6	1,6		4,8	0,2	2,4		121		282
	Diferencia		1,3	122	11,3	0,5	63,4	1,7	0,2	3,3	303	91	90	199

Tratamiento: *B. pertusa* sin minerales.

Mes		MS kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Octubre	Requerimientos	4,4	31,0	477	17,2	11,9	26,5	3,5	4,4	6,6	221	44	88	133
	Aporte <i>B. pertusa</i>		33,1	477	15,5	11,1	72,0	0,4	11,9	8,0	672	35	150	128
	Diferencia		2,1	0	-1,7	-0,8	45,5	-3,1	7,5	1,3	451	-9	62	-5
Noviembre	Requerimientos	4,5	35,8	377	17,6	12,2	27,0	3,6	4,5	6,8	225	45	90	135
	Aporte <i>B. pertusa</i>		36,0	378	17,6	11,2	81,0	0,9	11,2	8,6	630	50	140	117
	Diferencia		0,2	1	0	-0,9	54,0	-2,7	6,7	1,8	405	5	50	-18
Diciembre	Requerimientos	4,7	38,8	465	18,3	12,7	28,2	3,8	4,7	7,05	235	47	94	141
	Aporte <i>B. pertusa</i>	3,4	29,1	360	17,4	11,3	75,2	0,3	10,8	9,40	729	38	169	102
	Aporte Heno	1,3	11,2	108	3,9	2,6	15,6	0,1	2,6	2,6	267,8	10,4	33,8	31
	Diferencia		1,5	3	-0,9	-1,4	47,0	-3,3	6,1	2,4	494	-9	75	-8
Enero	Requerimientos	4,9	43,9	470	19,3	13,4	29,7	4,0	5,0	7,4	248	50	99	149
	Aporte <i>B. pertusa</i>	3,0	27,0	311	18,9	6,5	26,3	0,2	8,6	11,5	879	30	246	82
	Aporte Heno	1,9	16,9	160	6,1	3,8	27,3	0,2	4,4	4,2	388	10	50	46
	Diferencia		0	1	5,8	-3,1	23,9	-3,6	8,0	8,3	1019	-11	196	-21

ANEXO 7. Continuación

Mes		MS kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Febrero	Requerimientos	5,5	45,5	558	20,5	14,2	31,5	4,2	5,2	7,9	263	53	105	158
	Aporte <i>B. pertusa</i>	3,2	30,7	325	15,8	6,3	21,8	0,8	1,8	3,2	615	29	203	70
	Aporte Heno	2,3	20,1	233	7,89	4,5	33,1	0,5	4,7	5,3	539	24	71	55
	Diferencia		5,3	0	3,16	-3,4	23,4	-2,9	1,3	0,5	891	0	169	-32
Febrero	Requerimientos	5,7	47,4	540	21,1	14,6	32,4	4,3	5,4	8,1	270	54	108	162
	Aporte <i>B. pertusa</i>	2,4	21,0	306	10,9	5,1	19,2	0,5	1,5	2,4	395	19	109	66
	Aporte Heno	3,3	28,5	269	8,5	5,3	29,2	0,3	7,2	6,2	692	23	79	85
	Diferencia		2,1	35	-1,6	-4,2	16,0	-3,5	3,3	0,6	818	-12	79	-11

ANEXO 8.

Composición bromatológica de sistemas de pastoreo con gramíneas (*B. pertusa*). Período lluvioso.

Tratamiento: *B. pertusa* con minerales.

Indicador	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
EM, MJ Kg MS ⁻¹	8,0	9,5	10,0	10,4	10,4
PB, % MS	13,35	9,28	10,82	10,95	10,97
Ca, % MS	0,25	0,20	0,26	0,24	0,27
P, % MS	0,32	0,35	0,34	0,37	0,38
K, % MS	1,24	1,17	1,09	1,14	1,39
Na, % MS	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Mg, % MS	0,26	0,28	0,30	0,26	0,26
S, % MS	0,23	0,24	0,20	0,19	0,19
Fe, mg kg ⁻¹ MS	220	207	234	233	186
Cu, mg kg ⁻¹ MS	7	8	10	8	7
Mn, mg kg ⁻¹ MS	30	21	39	30	34
Zn, mg kg ⁻¹ MS	32	19	32	24	23

Tratamiento: *B. pertusa* sin minerales.

Indicador	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
EM, MJ Kg MS ⁻¹	7,6	8,8	10,8	9,9	8,9
PB, % MS	13,4	12,8	10,2	9,8	10,7
Ca, % MS	0,24	0,21	0,25	0,26	0,27
P, % MS	0,31	0,34	0,36	0,38	0,38
K, % MS	1,24	1,15	0,99	1,23	1,19
Na, % MS	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03
Mg, % MS	0,29	0,25	0,24	0,27	0,26
S, % MS	0,23	0,21	0,22	0,22	0,18
Fe, mg kg ⁻¹ MS	214	213	229	234	190
Cu, mg kg ⁻¹ MS	11	6	7	11	8
Mn, mg kg ⁻¹ MS	24	26	34	27	30
Zn, mg kg ⁻¹ MS	30	23	27	27	27

ANEXO 9. Balance nutricional de bovinos machos en desarrollo en sistemas con *B. pertusa*.

Período lluvioso.

Tratamiento: *B. pertusa* con minerales.

Mes		Cl kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	Mg g	K g	Na g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Junio	Requerimientos	5,0	40,3	657	13,6	7,6	5,1	30,3	4,0	7,6	253	51	101	152
	Aporte <i>B. pertusa</i>		40,3	662	16,2	12,6	13,1	62,6	1,0	11,6	1111	40	152	162
	Aporte Minerales	39,1			3,6	1,6	0,2		4,7	2,3		12		27
	Total		40,3	662	19,8	14,2	13,3	62,6	5,7	13,9	1111	52	152	189
	Diferencia		0,0	5	6,1	6,7	8,2	32,3	1,7	6,4	859	1	51	38
Julio	Requerimientos	5,2	49,5	527	14,3	8,0	5,1	31,8	4,2	8,0	265	53	106	159
	Aporte <i>B. pertusa</i>		49,5	530	18,6	10,6	14,8	62,0	1,1	12,7	1097	42	111	149
	Aporte Minerales (g)	34,3			3,1	1,4	0,2		4,1	2,1		10		24
	Total		49,5	530	21,6	11,9	15,0	62,0	5,2	14,8	1097	53	111	173
	Diferencia		0,0	3	7,3	4,0	9,9	30,2	0,9	6,8	832	0	5	14
Agosto	Requerimientos	5,5	55,0	553	15,0	8,3	5,5	33,4	4,5	8,3	278	56	111	167
	Aporte <i>B. pertusa</i>		55,0	556	18,9	14,4	16,7	60,6	0,6	11,1	1301	56	217	178
	Aporte Minerales (g)	35,4	0,0		3,2	1,4	0,2		4,2	2,1		11		25
	Total		55,0	556	22,1	15,9	16,9	60,6	4,8	13,2	1301	66	217	203
	Diferencia			3	7,1	7,5	11,3	27,2	0,4	4,9	1023	11	106	36
Septiembre	Requerimientos	5,8	60,6	610	15,9	8,8	5,8	35,3	4,7	8,8	294	59	118	176
	Aporte <i>B. pertusa</i>		60,6	612	21,8	14,1	15,3	67,0	1,2	11,2	1370	47	176	147
	Aporte Heno	41,4			3,7	1,7	0,2		5,0	2,5		12		29
	Aporte Minerales (g)		60,6	612	25,5	15,8	15,5	67,0	6,2	13,6	1370	59	176	176
	Diferencia		0,0	2	9,6	7,0	9,7	31,8	1,5	4,8	1076	1	59	0
Octubre	Requerimientos	6,4	66,1	646	16,8	9,4	6,1	37,3	5,0	9,4	312	62	125	187
	Aporte <i>B. pertusa</i>		66,1	648	23,7	16,8	16,2	86,6	1,9	11,8	1159	50	212	156
	Aporte Heno	50,4			4,5	2,0	0,3		6,0	3,0		15		35
	Aporte Minerales (g)		66,1	648	28,2	18,8	16,5	86,6	7,9	14,9	1159	65	212	191
	Diferencia		0,0	2	11,3	9,5	10,3	49,2	2,9	5,5	847	3	87	4

ANEXO 9. Continuación

Tratamiento: *B. pertusa* sin minerales.

Mes		Cl	EM	PB	Ca	P	Mg	K	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	
		kg	MJ	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹													
Junio	Requerimientos	4,9	37,6	591	13,4	7,4	5,1	29,7	4,0	7,4	248	50	99	149	
	Aporte <i>B. pertusa</i>		37,6	594	15,4	11,9	14,4	61,4	1,0	11,4	1059	54	119	149	
	Diferencia		0,0	3	2,0	4,5	9,3	31,7	-3,0	4,0	812	5	20	0	
Julio	Requerimientos	5,1	44,7	494	13,9	7,7	5,2	31,0	4,1	7,7	258	52	103	155	
	Aporte <i>B. pertusa</i>		44,7	495	17,5	10,8	12,9	59,3	0,5	10,8	1099	31	134	119	
	Diferencia		0,0	1	3,6	3,1	7,7	28,4	-3,6	3,1	841	-21	31	-36	
Agosto	Requerimientos	5,3	57,3	508	14,5	8,1	5,5	32,2	4,3	8,1	269	54	107	161	
	Aporte <i>B. pertusa</i>		57,3	510	19,3	13,4	12,9	53,2	1,1	11,8	1230	38	183	145	
	Diferencia		0,0	2	4,8	5,4	7,4	20,9	-3,2	3,8	961	-16	75	-16	
Septiembre	Requerimientos	5,8	56,4	561	15,2	8,5	5,8	33,8	4,5	8,5	282	56	113	169	
	Aporte <i>B. pertusa</i>		56,4	562	21,4	14,6	15,2	69,3	1,7	12,4	1317	62	152	152	
	Diferencia		0,0	1	6,2	6,2	9,4	35,5	-2,8	3,9	1036	6	39	-17	
Octubre	Requerimientos	6,9	61,6	607	16,0	8,9	6,1	35,6	4,8	8,9	297	59	119	178	
	Aporte <i>B. pertusa</i>		61,6	612	22,6	16,0	15,4	70,7	1,8	10,7	1129	48	178	160	
	Diferencia		0,0	5	6,5	7,1	9,3	35,1	-3,0	1,8	832	-12	59	-18	

ANEXO 10.

Composición bromatológica del sistema silvopastoril.

Periodo poco lluvioso.

Tratamiento: SSP con minerales.

Indicador	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo	
	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.
EM, MJ Kg MS ⁻¹	9,6	7,2	9,5	7,4	8,9	7,7	9,9	7,5	9,4	7,6	8,7	7,8
PB, % MS	9,9	20,1	7,8	21,	9,2	22,2	8,2	28,3	9,0	26,1	7,5	26,4
Ca, % MS	0,4	1,1	0,4	1,2	0,4	1,0	0,4	1,4	0,4	1,1	0,4	1,1
P, % MS	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
K, % MS	1,8	1,2	1,7	1,4	1,7	1,3	1,4	1,2	1,7	1,1	1,6	1,2
Mg, % MS	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Na, % MS	0,1	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,05	0,01
S, % MS	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Fe, mg kg ⁻¹ MS	122	106	130	96	124	134	123	161	132	119	137	130
Cu, mg kg ⁻¹ MS	14	11	12	10	12	12	9	11	9	11	8	8
Mn, mg kg ⁻¹ MS	58	36	52	36	59	37	72	69	75	58	71	62
Zn, mg kg ⁻¹ MS	29	18	24	18	26	17	24	18	23	20	22	22

Tratamiento: SSP sin minerales.

Indicador	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo	
	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.
EM, MJ Kg MS ⁻¹	9,1	7,4	9,2	7,1	9,1	8,3	9,0	7,9	9,3	7,4	8,9	7,8
PB, % MS	9,5	20,3	7,7	24,6	7,8	27,5	8,2	28,3	9,2	24,8	8,5	26,4
Ca, % MS	0,4	2,8	0,3	1,8	0,4	2,1	0,4	1,0	0,4	1,1	0,4	1,0
P, % MS	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4
K, % MS	1,4	1,0	1,5	1,3	1,2	1,4	1,4	1,3	1,4	1,1	1,5	1,4
Mg, % MS	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Na, % MS	0,04	0,02	0,05	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02
S, % MS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Fe, mg kg ⁻¹ MS	118	93	131	120	123	131	124	127	137	140	125	131
Cu, mg kg ⁻¹ MS	8	12	9	11	9	11	10	9	9	9	9	8
Mn, mg kg ⁻¹ MS	79	40	85	50	86	45	60	96	76	59	83	62
Zn, mg kg ⁻¹ MS	16	10	23	18	26	20	26	30	27	18	27	22

Mm.= *Megathyrus maximus*

LI.= *Leucaena leucocephala*

ANEXO 10. Continuación

Porcentaje de la leucaena con respecto al consumo potencial en el SSP.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Consumo potencial	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6
Disponibilidad de la leucaena	0,4	0,6	0,2	0,3	0,3	0,2
Total	3,4	3,5	3,0	3,1	3,0	2,8
Porcentaje de leucaena	11,8	17,1	6,7	9,7	10,0	7,1

ANEXO 11. Balance nutricional de bovinos machos en desarrollo en sistemas silvopastoriles.

Periodo poco lluvioso.

Tratamiento: SSP con minerales.

Mes		Cl kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ¹ día ⁻¹												
Octubre	Requerimientos	4,46	41,55	506	12,1	6,7	4,5	26,9	3,6	6,7	224	45	90	134
	Aporte Mm.	3,93	37,77	371	15,0	10,9	7,1	67,9	1,9	6,4	458	53	218	109
	Aporte LI.	0,53	3,78	145	7,7	1,3	2,4	8,9	0,1	2,1	76	8	26	13
	Aporte Minerales	37,81			3,4	1,5	0,2					113		264
	Total	4,46	41,55	516	26,1	13,7	9,8	76,8	6,5	10,7	534	174	244	386
	Diferencia	0	0	10	14,0	7,0	5,3	49,9	2,9	4,0	310	129	154	252
Noviembre	Requerimientos	4,56	41,72	435	12,5	7,0	4,6	27,8	3,7	7,0	232	46	93	139
	Aporte Mm.	3,78	35,93	312	15,2	12,4	8,4	66,0	1,6	7,6	520	48	208	96
	Aporte LI.	0,78	5,79	132	7,6	1,3	2,1	8,8	0,1	1,3	61	6	23	11
	Aporte Minerales	29,00			2,6	1,2	0,2					87		203
	Total	4,56	41,72	444	25,4	14,8	10,7	74,8	5,1	10,6	581	141	231	310
	Diferencia	0	0	9	12,9	7,9	6,1	47,0	1,4	3,7	349	95	138	214
Diciembre	Requerimientos	4,85	42,58	529	13,3	7,4	4,9	29,6	3,9	7,4	247	49	99	148
	Aporte Mm.	4,52	40,05	393	16,6	12,8	9,4	73,4	1,3	7,7	530	51	252	121
	Aporte LI.	0,33	2,53	147	6,6	1,5	2,2	8,8	0,2	1,0	88	8	24	11
	Aporte Minerales	39,38			3,6	1,6	0,2					118		275
	Total	4,85	42,58	540	26,8	15,8	11,8	82,2	6,2	11,0	618	177	276	407
	Diferencia	0	0	11	13,5	8,4	6,9	52,7	2,23	3,66	371	128	177	193
Enero	Requerimientos	5,08	49,27	529	14,0	7,8	5,2	31,1	4,2	7,8	260	52	104	156
	Aporte Mm.	4,58	45,55	381	18,6	13,0	10,7	62,3	1,9	8,4	572	42	335	112
	Aporte LI.	0,49	3,71	153	10,1	0,9	2,1	6,2	0,2	1,5	87	6	27	10
	Aporte Minerales	48,78			4,4	2,0	0,2					146		342
	Total	5,08	49,27	534	33,1	15,9	13,0	68,5	7,87	12,7	659	194	362	464
	Diferencia	0	0	5	19,1	8,1	7,9	37,4	3,7	5,0	389	142	258	352

ANEXO 11. Continuación.

Mes		CI kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Febrero	Requerimientos	5,46	50,47	643	15,1	8,4	5,6	33,7	4,5	8,4	281	56	112	168
	Aporte Mm.	4,92	46,32	428	19,6	12,4	9,5	81,4	1,9	8,6	628	43	357	110
	Aporte LI.	0,55	4,15	222	9,1	1,7	2,6	8,9	0,2	1,7	101	9	49	17
	Aporte Minerales	35,03			3,2	1,4	0,2		4,2	2,1		105		125
	Total			650	31,9	15,5	12,3	90,3	6,3	12,4	729	157	406	252
	Diferencia			7	16,8	7,1	6,7	56,7	1,8	4,0	448	101	294	84
Marzo	Requerimientos	5,95	51,62	576	15,8	8,8	5,9	35,2	4,7	8,8	294	59	117	176
	Aporte Mm.	5,53	48,33	383	19,4	14,3	12,2	83,6	2,6	10,2	699	41	362	112
	Aporte LI.	0,42	3,29	203	8,5	2,8	2,5	9,2	0,1	1,8	100	6	48	17
	Aporte Minerales	40,75			3,7	1,6	0,2		4,9	2,5		122		285
	Total			586	31,5	18,7	14,9	92,8	7,5	14,5	799	169	410	414
	Diferencia			10	15,7	9,9	9,1	57,6	2,8	5,7	505	110	293	238

Tratamiento: SSP sin minerales.

Mes		CI kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	Mg g	K g	Na g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Octubre	Requerimientos	4,15	36,95	479	11,9	6,6	4,4	26,5	3,53	6,6	221	44	88	133
	Aporte Mm.	3,66	33,31	363	14,5	10,7	8,0	52,3	1,52	7,3	451	34	302	61
	Aporte LI.	0,49	3,64	122	16,9	1,0	1,7	5,9	0,12	1,3	56	7	24	6
	Total	4,15	36,95	485	31,4	11,7	9,7	58,2	1,64	8,6	507	41	326	67
	Diferencia			6	19,5	5,1	5,3	31,7	-1,89	1,9	286	-3	238	-66
Noviembre	Requerimientos	4,40	38,89	428	12,3	6,9	4,6	27,4	3,66	6,9	229	46	91	137
	Aporte Mm.	3,65	33,56	313	14,7	13,0	9,0	59	2,03	6,9	533	37	346	94
	Aporte LI.	0,75	5,34	123	9,0	1,5	1,7	6,7	0,1	1,2	60	6	25	9
	Total	4,40	38,89	436	23,7	14,5	10,6	65,7	2,13	8,1	593	43	371	103
	Diferencia			8	11,4	7,6	6,0	38,2	-1,54	1,2	364	-3	280	-34

ANEXO 11. Continuación.

Mes		Cl	EM	PB	Ca	P	Mg	K	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	
		kg	MJ	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹													
Diciembre	Requerimientos	4,53	40,83	461	12,9	7,2	4,8	28,7	3,82	7,2	239	48	96	143	
	Aporte Mm.	4,13	37,55	334	17,2	12,4	9,8	49,2	1,38	7,7	526	39	368	111	
	Aporte LI.	0,41	3,28	138	10,5	1,6	1,7	7,0	0,05	1,5	66	6	23	10	
	Total	4,53	40,83	472	27,7	13,9	11,5	56,2	1,43	9,2	592	45	391	121	
	Diferencia			11	14,8	6,7	6,8	27,5	-2,39	2,0	353	-3	295	-22	
Enero	Requerimientos	4,73	41,63	482	13,5	7,5	5,0	29,9	3,99	7,5	245	50	100	150	
	Aporte Mm.	4,27	38,01	378	17,5	12,0	10,1	65,5	1,84	7,8	572	46	277	120	
	Aporte LI.	0,46	3,62	108	3,9	1,0	1,3	4,9	0,11	1,1	48	3	37	11	
	Total	4,73	41,63	486	21,4	13,0	11,4	70,4	1,95	8,9	620	49	314	131	
	Diferencia			4	7,9	0,4	6,4	40,5	-2,04	1,4	375	-1	2	-19	
Febrero	Requerimientos	4,97	45,21	568	14,3	8,0	5,3	31,9	4,25	8,0	266	53	106	159	
	Aporte Mm.	4,47	41,59	441	19,2	13,0	11,1	68	1,92	8,6	656	43	364	129	
	Aporte LI.	0,50	3,61	129	5,8	1,0	1,7	5,9	0,10	1,5	73	5	31	9	
	Total	4,97	45,21	570	25	14,0	12,8	73,9	2,02	10,1	729	48	395	138	
	Diferencia			2	10,7	6,0	7,5	42	-2,25	2,2	463	-5	289	-21	
Marzo	Requerimientos	5,25	46,28	554	15,0	8,3	5,6	33,4	4,46	8,3	279	56	111	167	
	Aporte Mm.	4,87	43,37	434	17,9	14,8	11,2	76,7	1,53	10,2	639	46	424	138	
	Aporte LI.	0,37	2,91	121	4,6	1,9	1,5	6,3	0,09	1,01	60	4	29	10	
	Total	5,25	46,28	555	22,5	16,7	12,7	83	1,62	11,2	699	50	453	148	
	Diferencia			1	7,5	8,36	7,1	49,6	-2,80	2,9	420	-6		-19	

Mm.= *Megathyrus maximus*

LI.= *Leucaena leucocephala*

ANEXO 12.

Composición bromatológica del sistema silvopastoril.

Periodo poco lluvioso.

Tratamiento: SSP con minerales.

Indicador	Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.
EM, MJ Kg MS ⁻¹	10,03	8,02	10,22	8,08	10,61	8,28	10,64	8,13	10,00	8,11
PB, % MS	12,35	22,3	9,76	24,1	9,84	22,54	9,95	20,05	9,50	20,5
Ca, % MS	0,31	1,18	0,26	1,15	0,23	1,18	0,27	1,18	0,25	1,17
P, % MS	0,31	0,13	0,30	0,19	0,29	0,17	0,33	0,19	0,30	0,17
K, % MS	0,22	0,16	0,23	0,18	0,15	0,15	0,15	0,22	0,14	0,18
Mg, % MS	1,10	1,62	1,04	1,57	1,32	1,24	1,17	1,11	1,08	1,38
Na, % MS	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02
S, % MS	0,3	0,36	0,28	0,37	0,28	0,37	0,31	0,39	0,31	0,34
Fe, mg kg ⁻¹ MS	60	104	54	180	266	129	110	176	105	147
Cu, mg kg ⁻¹ MS	6	7	5	7	4	6	4	6	3	5
Mn, mg kg ⁻¹ MS	44	26	36	21	45	33	37	42	39	36
Zn, mg kg ⁻¹ MS	27	18	25	20	26	15	25	20	27	18

Tratamiento: SSP sin minerales.

Indicador	Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.	Mm.	LI.
EM, MJ Kg MS ⁻¹	10,08	8,21	10,00	8,42	10,10	8,59	10,25	8,74	10,10	8,15
PB, % MS	12,50	21,60	9,86	19,62	9,52	20,55	9,41	20,32	9,5	19,17
Ca, % MS	0,27	1,11	0,25	1,32	0,32	1,03	0,30	1,28	0,28	1,11
P, % MS	0,27	0,13	0,29	0,15	0,26	0,15	0,25	0,23	0,27	0,19
K, % MS	0,18	0,28	0,19	0,31	0,21	0,25	0,21	0,31	0,17	0,27
Mg, % MS	1,30	1,34	1,29	1,47	1,06	1,06	1,42	1,56	1,42	1,13
Na, % MS	0,03	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
S, % MS	0,27	0,31	0,26	0,36	0,34	0,35	0,17	0,31	0,18	0,29
Fe, mg kg ⁻¹ MS	146	108	140	149	147	144	124	129	127	140
Cu, mg kg ⁻¹ MS	10	9	8	9	10	11	10	11	9	9
Mn, mg kg ⁻¹ MS	39	28	37	36	48	35	31	48	36	49
Zn, mg kg ⁻¹ MS	24	20	27	24	31	23	26	23	27	18

Mm.= *Megathyrus maximus*

LI.= *Leucaena leucocephala*

ANEXO 12. Continuación

Porcentaje de la leucaena con respecto al consumo potencial en el SSP.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Consumo potencial	2,8	2,7	2,6	2,6	2,6
Disp. de la leucaena	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
Total	3,6	3,3	3,2	3,2	3,0
Porcentaje de leucaena	22,2	18,2	18,8	18,8	13,3

ANEXO 13. Balance nutricional de bovinos machos en desarrollo en sistemas silvopastoriles.

Periodo lluvioso.

Tratamiento: SSP con minerales.

Mes		CI kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	Mg g	K g	Na g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ¹ día ⁻¹												
Junio	Requerimientos	5,09	47,98	679	13,4	14,9	10,6	52,8	1,44	14,4	288	29	211	130
	Aporte Mm.	3,61	36,06	553	12,5	13,9	9,9	49,3	1,34	13,4	269	27	197	121
	Aporte Ll.	1,49	11,92	134	7,1	0,8	1,0	9,8	0,06	2,2	63	4	16	11
	Aporte Minerales				4,87	2,16	0,3		6,49	3,3		162		379
	Total	5,09	47,98	687	24,5	16,8	11,1	59,0	7,90	18,8	317	193	213	511
	Diferencia	0	0	8	11,1	2,0	0,5	6,2	6,46	4,5	29	165	1	381
Julio	Requerimientos	5,26	51,32	600	14,7	8,2	5,5	32,8	4,37	8,2	273	55	109	164
	Aporte Mm.	4,16	42,42	483	12,9	14,9	11,4	51,5	0,99	13,9	267	25	178	124
	Aporte Ll.	1,10	8,90	122	5,8	1,0	0,9	8,0	0,05	1,9	91	4	11	10
	Aporte Minerales				2,9	1,3	0,2		3,92	2,0		98		229
	Total	5,26	51,32	605	21,7	17,1	12,5	59,5	4,96	17,7	359	124	189	360
	Diferencia	0	0	5	6,9	8,9	7,0	26,7	0,59	9,5	86	69	80	196
Agosto	Requerimientos	5,61	57,01	614	15,7	8,7	5,8	34,8	4,64	8,7	290	58	116	174
	Aporte Mm.	4,56	48,33	530	12,4	15,6	8,1	71,1	1,62	15,1	1432	22	242	140
	Aporte Ll.	1,05	8,68	94	4,9	0,7	0,6	5,17	0,04	1,5	54	3	14	6
	Aporte Minerales				3,5	1,6	0,2		4,64	2,3		116		271
	Total	5,61	57,01	624	20,8	17,9	8,9	76,2	6,30	18,9	1486	140	256	417
	Diferencia	0	0	10	5,1	9,2	3,1	41,4	1,66	10,2	1196	82	140	243
Septiembre	Requerimientos	5,97	60,81	662	16,6	9,2	6,2	36,9	4,93	9,2	308	62	123	185
	Aporte Mm.	4,96	52,57	563	15,3	18,7	8,5	66,2	1,13	17,5	622	23	209	141
	Aporte Ll.	1,01	8,24	101	5,9	1,0	1,1	5,6	0,05	2,0	89	3	21	10
	Aporte Minerales				4,1	1,8	0,2		5,51	2,8		138		321
	Total	5,97	60,81	664	25,3	21,5	9,8	71,8	6,69	22,3	711	163	230	473
	Diferencia	0	0	2	8,7	12,2	3,7	34,8	1,76	13,0	403	102	107	288

ANEXO 13. Continuación.

Mes		Cl kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	K g	Na g	Mg g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Octubre	Requerimientos	6,71	65,62	670	17,6	9,8	6,5	39,1	5,22	9,8	326	65	130	196
	Aporte Mm.	5,93	59,27	570	15,0	22,2	8,4	64,8	1,80	18,6	630	18	234	162
	Aporte Ll.	0,78	6,35	107	6,1	0,9	0,9	7,2	0,10	1,8	76	3	19	9
	Aporte Minerales				4,5	2,0	0,3		6,01	3,0		150		351
	Total	6,71	65,62	677	25,6	25,1	9,6	71,9	7,91	23,4	706	171	253	522
	Diferencia	0	0	7	8,0	15,3	3,1	32,9	2,70	13,6	380	106	122	326

Tratamiento: SSP sin minerales.

Mes		Cl kg	EM MJ	PB g	Ca g	P g	Mg g	K g	Na g	S g	Fe mg	Cu mg	Mn mg	Zn mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Junio	Requerimientos	5,09	47,74	680	13,7	7,6	5,1	30,5	4,06	7,6	254	51	102	152
	Aporte Mm.	3,74	38,14	559	9,9	12,1	8,1	58,2	1,34	12,1	653	45	175	117
	Aporte Ll.	1,35	9,60	131	6,7	0,8	1,7	8,1	0,06	1,9	65	5	17	20
	Total	5,09	47,74	690	16,6	12,9	9,8	66,3	1,4	13,9	719	50	191	137
	Diferencia	0	0	10	2,8	5,3	4,7	35,8	-2,66	6,3	465	-1	90	-15
Julio	Requerimientos	5,22	48,26	572	14,6	8,1	5,2	32,4	4,32	8,1	270	54	108	162
	Aporte Mm.	4,13	41,34	482	11,2	14,2	9,3	63,0	1,95	12,7	684	39	181	132
	Aporte Ll.	1,09	6,92	101	6,8	0,8	1,6	7,6	0,05	1,9	77	5	19	12
	Total	5,22	48,26	583	18,1	14,9	10,8	70,6	2,01	14,6	761	44	199	144
	Diferencia	0	0	11	3,5	6,8	5,7	38,2	-2,32	6,5	491	-10	91	-18
Agosto	Requerimientos	5,51	49,98	563	14,9	8,3	5,5	33,1	4,42	8,3	276	55	110	166
	Aporte Mm.	4,48	45,26	486	16,3	20,4	10,7	54,1	1,53	17,4	751	52	245	136
	Aporte Ll.	1,03	4,72	85	4,3	0,6	1,0	4,4	0,04	1,5	60	5	14	10
	Total	5,51	49,98	571	20,6	21,2	11,8	58,5	1,57	18,8	810	56	260	146
	Diferencia	0	0	8	5,7	12,8	6,2	25,4	-2,84	10,5	534	-1	149	-20

ANEXO 13. Continuación.

Tratamiento: SSP sin minerales.

Mes		Cl	EM	PB	Ca	P	Mg	K	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn
		kg	MJ	g	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg
		Consumo animal ⁻¹ día ⁻¹												
Septiembre	Requerimientos	5,78	57,77	578	15,6	8,7	5,8	34,7	4,62	8,7	289	60	116	173
	Aporte Mm.	4,79	49,13	505	22,0	18,8	11,3	76,2	1,07	9,1	666	54	166	140
	Aporte Ll.	0,99	8,64	84	5,3	1,0	1,3	6,4	0,12	1,3	53	5	20	9
	Total	5,78	57,77	589	27,3	19,7	12,6	82,7	1,2	10,4	719	59	186	149
	Diferencia	0	0	11	11,7	11,1	6,8	47,9	-3,43	1,7	430	-1	71	-24
Octubre	Requerimientos	6,33	62,43	631	16,5	9,2	6,1	36,7	4,9	9,2	306	61	122	184
	Aporte Mm.	5,56	56,14	532	29,7	23,5	9,5	79,5	1,68	10,1	711	50	201	151
	Aporte Ll.	0,77	6,29	101	5,8	1,0	1,4	5,9	0,11	1,5	74	5	26	9
	Total	6,33	62,43	633	35,5	24,5	10,9	85,4	1,78	11,6	784	55	227	161
	Diferencia	0	0	2	18,9	15,3	4,8	48,7	-3,11	2,4	478	-6	105	-23

Mm.= *Megathysus maximus*

Ll.= *Leucaena leucocephala*

ANEXO 14.

Bases para el cálculo económico de las investigaciones.

Costos para la construcción de 1 000 m de cerca convencional.

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario, USD	Costo total, USD
Alambre	Rollo	12	62,65	751,83
Postes	Uno	667	2,09	1 392,27
Madrinas	Uno	50	6,96	348,07
Grapa	Kg	18	2,61	46,99
Mano de obra (postes)	Uno	667	0,52	348,24
Limpieza guardarraya	Metro	1 000	0,10	104,42
Total				3 078,84

*Características: 4 hilos de alambre de púa; postes a 1,5 m; Vida útil: 10 años.

Costo de 1 000 metros de cerca eléctrica.

Insumo	Cantidad	Costo, USD	Total, USD
Postes	100	2,09	208,84
Madrinas	10	6,96	69,61
Alambre	3 (rollos)	62,65	187,96
Tensores	20	2,44	48,73
Aisladores	220 (2,5 bolsas)	12,18	30,46
Clavos	220 (2,5 bolsas)	2,44	6,09
Portones	8	3,48	27,85
Mano de obra (postes)	100	0,52	52,21
Mano de obra (madrinas)	10	1,74	17,40
Limpieza de guardarraya	1 000 m	0,10	104,42
Equipo	1	696,14	696,14
Total			1 449,70

*Características: rollo calibre grueso; cada 10 m un poste; cada 100 m una madrina; clavos de acero; 3 hilos. Vida útil: 10 años.

ANEXO 14. *Continuación.*

Costo del establecimiento de un vivero para sembrar una hectárea de leucaena.

Insumo	Unidad	Cantidad	Precio, USD	Costo, USD
Bolsas	Una	1600	0,01	16,71
Sustrato	kg	800	0,04	34,81
Semilla	kg	0,5	13,92	6,96
Manejo del vivero	Horas/día	4	64,19	256,77
Rizobium	kg	1	13,92	13,92
Insecticida	L	1	17,40	17,40
Total				346,57
Costo de un árbol				0,22

Costo del establecimiento de una hectárea de un SSP con leucaena.

Insumo	Unidad	Cantidad	Costo unitario, USD	Costo total, USD
Análisis de suelo	1	1	27,85	27,85
Preparación del área	ha	1	121,82	121,82
Semilla de Tanzania	kg	6	11,14	66,84
Semilla de leucaena	Árbol	1 600	0,22	346,57
Siembra de la guinea	Jornales	3	8,54	25,62
Trasplante leucaena	Jornales	25	8,54	256,77
Control de malezas	Jornales	40	8,54	341,66
Control de plagas	Jornales	10	8,54	85,28
Total				1 272,42

Insumos utilizados en los sistemas.

Insumo	Unidad	Costo, USD
Heno	t	15,00
Sal mineralizada	kg	0,51

ANEXO 14. Continuación.

Costo de la construcción de las cercas.

	Metro	Costos	Depreciación	
			Año	Meses
La Providencia			1	9
Cerca convencional	4 000	12 315,36	1 231,54	923,65
Cerca eléctrica	1 000	788,37	78,84	59,13
Total		13 103,73	1 310,37	982,78
La Unión			1	9
Cerca convencional.	2 400	7 389,22	738,92	554,19
Cerca eléctrica	720	567,63	56,76	42,57
Total		7 956,84	795,68	596,76

	Metro	Costos	Depreciación	PPLL	PLL
				6 meses	5 meses
Sistema de pastoreo con gramíneas (<i>B. pertusa</i>)					
Cerca convencional	600	1 847,30	184,73	92,37	76,97
Cerca eléctrica	500	690,05	69,01	34,50	28,75
Total		2 537,35	253,74	126,87	105,72
Sistema silvopastoril					
Cerca convencional	600	1847,30	184,73	92,37	76,97
Cerca eléctrica	500	690,05	69,01	34,50	28,75
Total		2537,35	253,74	126,87	105,72

Se estima que las cercas convencionales o eléctricas tienen un periodo de utilidad de 10 años porque anualmente son reparadas.

ANEXO 15.

Compra y venta de los bovinos machos en desarrollo en las fincas La Unión y La Providencia.

La Providencia			
Peso inicial, kg	Compra, USD	Peso final, kg	Venta, USD
192	9 073,92	270.1	12 764.93
La Unión			
116	3 224,80	200	5 560,00

*Compa o venta de un kg de carne en pie igual a \$ 1,39 USD

ANEXO 16.

Compra y venta de los bovinos machos en desarrollo en los sistemas de gramíneas (*B. pertusa*).

Periodo		Peso inicial, kg	Compra, USD	Peso final, kg	Venta, USD
Poco lluvioso	Con minerales	133	1 848,70	220	3 058,00
	Sin minerales	133	1 848,70	210	2 919,00
Lluvioso	Con minerales	154	2 140,60	243	3 377,70
	Sin minerales	154	2 140,60	228	3 169,20

*Compra o venta de un kg de carne en pie igual a \$ 1,39 USD.

ANEXO 17.

Compra y venta de los bovinos machos en desarrollo en el sistema silvopastoril.

Periodo		Peso inicial, kg	Compra, USD	Peso final, kg	Venta, USD
Poco lluvioso	Con minerales	133	1 848,70	220	3 058,00
	Sin minerales	133	1 848,70	210	2 919,00
Lluvioso	Con minerales	154	2 140,60	258	3 586,20
	Sin minerales	154	2 140,60	237	3 294,30

*Compra o venta de un kg de carne en pie igual a \$ 1,39 USD