

**NIVELES DE SUPLEMENTACIÓN PROTEÍCO-ENERGÉTICA Y SU EFECTO EN EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE LOS
COMPONENTES NUTRICIONALES DE LA DIETA OFERTADA A BOVINOS DE LA
RAZA CHINO SANTANDEREANO**

**BIBIANA ANDREA BENAVIDES POVEDA
JHONNY STEVEEN PERALTA CASTIBLANCO**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
FUSAGASUGÁ, COLOMBIA**

2020

**NIVELES DE SUPLEMENTACIÓN PROTEÍCO- ENERGÉTICA Y SU EFECTO EN EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE LOS
COMPONENTES NUTRICIONALES DE LA DIETA OFERTADA A BOVINOS DE LA
RAZA CHINO SANTANDEREANO**

**BIBIANA ANDREA BENAVIDES POVEDA
JHONNY STEVEEN PERALTA CASTIBLANCO**

**Trabajo de grado opción investigación presentado como requisito parcial para optar al
título de: Zootecnista.**

**DIRECTOR:
MSc. EDWIN DAVIER CORREA ROJAS
CODIRECTOR:
PhD. DAVID ESTEBAN CONTRERAS MARQUEZ**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Nutrición animal y bioestadística**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
FUSAGASUGÁ**

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADOS

Gema Lucia Zambrano

Jairo Enrique Granados

Fusagasugá (12/05/2020)

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por iluminarme cada instante de mi vida; a mis padres Víctor Raúl Benavides y Ana Lucila Poveda por brindarme su apoyo incondicional dedicación y esfuerzo para seguir adelante en mi carrera, por darme lo mejor en cada momento, forjando valores para mi crecimiento personal y profesional, este triunfo es para ellos; a mis hermanos, a mis profesores y colegas y en especial a mi compañero Jhonny Peralta por todo su apoyo a lo largo de este proceso.

Bibiana Andrea Benavides P.

Dedico este logro a mis padres, hermanos y familia, quienes siempre apoyaron y tuvieron esperanza en mis capacidades; a mis compañeros y colegas, con quienes compartí estos años en la universidad. Asimismo, quiero dedicar este trabajo a todos los docentes que hicieron parte de este proceso de formación académica, quienes mediante su dialéctica y del mejor modo compartieron su conocimiento y vivencias que generaron un gran impacto en el pensamiento moral que aplicaré durante el ejercicio de esta bella profesión... Dedicado especialmente a mi abuelo.

Jhonny Steveen Peralta C.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La Facultad de Ciencias Agropecuarias y el programa de Zootecnia, así como a la decana Vilma Moreno y el coordinador del programa Jhon Alexander Moreno.

A los profesores MSc. Edwin Davier Correa Rojas y PhD. David Esteban Contreras Marquez, docentes de la Universidad de Cundinamarca, por permitirnos realizar este trabajo de grado bajo su dirección, por su apoyo incondicional, su confianza y su capacidad para guiarnos en todo este largo proceso.

Los docentes MSc. Jairo Enrique Granados y PhD. Gema Lucia Zambrano quienes en calidad de jurados compartieron sus conocimientos a fin de mejorar este documento, dando su visto bueno para su ejecución y desarrollo.

Las instalaciones del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) y estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia por iniciar el proceso de investigación y haber permitido llevar a cabo el trabajo de campo de este proyecto.

Al personal del laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Cundinamarca (UdeC) Jeison David Montoya Cruz, Luis Miguel Díaz, Erika Liliana Rodríguez y Alberto Suaréz Quiñones por permitirnos realizar los análisis bromatológicos de las muestras en sus instalaciones.

A cada una de las personas que de una u otra manera hicieron posible este proyecto nuestro más sincero agradecimiento, cada uno fue un pilar fundamental para culminar este proceso académico.

Tabla de Contenido

Resumen	12
Abstract	14
Introducción.....	16
1. Planteamiento del problema	18
2. Justificación.....	20
3. Objetivos.....	22
3.1. Objetivo General.....	22
3.2. Objetivos Específicos.....	22
4. Marco teórico.....	23
4.1. Historia de las razas criollas colombianas	23
4.2. Importancia de las razas criollas colombianas	23
4.3. Raza Chino Santandereano.....	24
4.3.1. Origen	24
4.3.2. Características Zootécnicas.....	24
4.3.3. Características reproductivas	27
4.4. Situación actual de la raza Chino Santandereano	27
4.5. Definición de consumo de alimento	29
4.5.1. Mecanismos de regulación del consumo	30
4.6. Definición de digestibilidad.	33
4.6.1. Métodos de determinación de la digestibilidad.....	33
4.7. Estadístico de prueba	37
4.7.1. Contrastes ortogonales.....	37
4.7.2. Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS)	37

5. Materiales y métodos.....	40
5.1. Sitio de estudio	40
5.2. Diseño experimental y tratamientos	41
5.3. Procedimientos experimentales y toma de muestras	42
5.4. Análisis químico	44
5.5. Análisis estadístico	46
6. Resultados y discusión	48
6.1. Composición de las materias primas	48
6.2. Consumo de nutrientes.....	49
6.3. Digestibilidad de nutrientes.....	53
6.4. Desempeño	58
6.5. Correlaciones entre las variables evaluadas	62
Consideraciones finales	73
Conclusiones	75
Recomendaciones	76
Bibliografía	77
ANEXOS	85

Lista de tablas

Tabla 1. Tratamientos experimentales aplicados a bovinos Chino Santandereano.	41
Tabla 2. Niveles de inclusión de las materias primas dentro de la dieta suplementar y total ofertada a bovinos “Chino Santandereano”.....	42
Tabla 3. Contrastes ortogonales de los tratamientos.	46
Tabla 4. Composición nutricional del heno y suplemento que conforman la dieta ofertada a bovinos Chino Santandereano en estabulación.....	48
Tabla 5. Consumo diario de los componentes nutricionales presentes en la dieta ofrecida a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación.	50
Tabla 6. Digestibilidad de los componentes nutricionales en dietas ofrecidas a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación.....	54
Tabla 7. Desempeño con base a dietas ofrecidas a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación con diferentes niveles de inclusión de suplemento.	58
Tabla 8. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca de heno. Fuente (Los autores).	69
Tabla 9. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca de suplemento. Fuente (Los autores).	70
Tabla 10. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca total. Fuente (Los autores).	71
Tabla 11. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el desempeño. Fuente (Los autores).	72

Lista de figuras

Figura 1. Macho Chino Santandereano. Fuente: (Yeisson Robles).	26
Figura 2. Distribución de la población del ganado criollo colombiano en los censos de los años 1986, 1999 y 2018. Adaptado de (FAO 2018).	28
Figura 3. Distribución de las razas criolla. Adaptado de (Martínez, 1999).	29
Figura 4. Localización satelital del Centro de Investigaciones Santa Lucía. Fuente: (Google Maps 2020).	40
Figura 5. Unidades experimentales. Fuente: (Yeisson Robles 2018).	41
Figura 6. Procedimiento experimental. Fuente (Los autores).	43
Figura 7. Consumo de EE, PB, y CNF con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).	50
Figura 8. Consumo de materia seca de suplemento y materia seca de heno con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).	51
Figura 9. Digestibilidad de la MS, MO, PB, EE, FDN y CNF del ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).	55
Figura 10. Ganancia media diaria con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).	59
Figura 11. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMSH como variable independiente. Fuente:(Los autores).	62
Figura 12. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMSS como variable independiente. Fuente: (Los autores).	64
Figura 13. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMST como variable independiente. Fuente: (los autores).	65

Figura 14. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con GMD como variable independiente. Fuente (los autores).67

Figura 15.Clúster de correlación para las variables en estudio. Fuente (Los autores).....68

Lista de anexos

Anexo A. Colinealidad entre las variables en estudio.	85
Anexo B. Validación cruzada LOO de datos para modelación PLS.	86
Anexo C. Número de Componentes vs RMSEP, por PLS	87
Anexo D. Análisis de varianza de un factor (Test Tipo III).....	87
Anexo E. Análisis con dos componentes estrictamente.	89
Anexo F. Análisis de varianza entre las componentes calculadas.	89
Anexo G. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.	90
Anexo H. Gráfica de normalidad para los residuales estandarizados.....	90
Anexo I. Gráfica de ortogonalidad que presenta los componentes estimados.	91
Anexo J. Registro fotográfico del análisis químico proximal.	91

Resumen

El objetivo de esta investigación se enfocó en evaluar la ganancia de peso, consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales presentes en la dieta ofertada a bovinos de la raza Chino Santandereano en estabulación, alimentados con diferentes niveles de suplementación proteico-energética, como estrategia para identificar con veracidad el potencial productivo estipulado por la genética. Se emplearon 16 machos enteros con edad y peso inicial aproximado de 30 meses y 370 kg en delineamiento completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, siendo: NS, animales no suplementados; BAJO, animales suplementados con cantidad relativa al 0,5% del peso vivo; MEDIO, animales suplementados con cantidad relativa al 1,0% de peso vivo; y ALTO, animales suplementados con cantidad relativa al 1,5% del peso vivo. La dieta suplementada estuvo constituida por soya (35.34%), torta de palmiste (10.00%), maíz molido (27.33%) y salvado de arroz (27.33%). Además, los animales recibieron heno de pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick, ofertado *ad libitum* al igual que agua y sal mineralizada. La investigación tuvo una duración de 100 días divididos en 4 periodos de 25 días; Consumo de pasto y suplemento fue determinado de manera diaria por diferencia entre lo ofertado y los residuos. Para determinación de la digestibilidad fue realizado ensayo digestivo en los últimos 3 días de cada período con la finalidad de cuantificar la excreción de materia seca por colecta total. A medida que aumentó el grado de suplementación se observó mayor CMSS consumo de materia seca de suplemento (0.00, 1.61, 3.14, 4.53 kg), CPB consumo de proteína bruta (0.34, 0.72, 1.02, 1.29 kg) y CEE consumo de extracto etéreo (0.12, 0.25, 0.35, 0.44 kg) ($P<0.01$). Se observó mayor desempeño, consumo y digestibilidad en animales suplementados al compararlos con no suplementados ($P<0.05$) específicamente para las

variables CMST consumo de materia seca total (6.93, 9.68 kg), CMO consumo de materia orgánica (6.48, 9.11 kg), CCNF consumo de carbohidratos no fibrosos (0.49, 1.48 kg); CNDT consumo de nutrientes digestibles totales (4.36, 6.96 kg), CEM consumo de energía metabolizable (22.58, 33.41 Mcal/día), CED consumo de energía digestible (26.10, 38.44 Mcal/día), DMS digestibilidad de la materia seca (64.20, 71.92%), DMO digestibilidad de la materia orgánica (65.41, 72.94%), DPB digestibilidad de la proteína bruta (55.15, 73.79%), DEE digestibilidad del extracto etéreo (49.82, 76.55%), DCNF digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos (67.25, 87.88%), GMD ganancia media diaria (-169.2, 1069.62 gr/día); GP ganancia de peso (-17.09, 108.03 kg); CA conversión alimenticia (73.29, 9.69 kg) y EA eficiencia alimenticia: 2.0, 11.0%. Se observó correlación positiva ($P < 0.05$) entre las variables CMSS, CPB, CCNF, CEE, DPB, DEE y DCNF con GMD, entre tanto, CMS, DMS, consumo de fibra detergente neutra CFDN y digestibilidad de la fibra detergente neutra DFDN se relacionaron negativamente ($P < 0.05$) con la GMD. La suplementación mejora las variables de CMST, CPB, CEE, CCNF, DPB, DEE, DCNF y desempeño productivo de bovinos chino santandereano en estabulación, entre tanto, no existe influencia del grado de suplementación BAJO, MEDIO y ALTO sobre GMD, CFDN y DFDN.

Palabras Clave: digestibilidad, suplementación, razas criollas colombianas, nutrición animal, desempeño productivo.

Abstract

The objective of this research focused on evaluating the weight gain, consumption and digestibility of the nutritional components present in the diet offered to bovine animals of the Chino Santandereano breed in stables, fed with different levels of protein-energy supplementation, as a strategy to identify with truth the productive potential stipulated by genetics. 16 whole males with an approximate age and initial weight of 30 months and 370 kg were used in completely random outlines with 4 treatments and 4 repetitions per treatment, being: NS, non-supplemented animals; LOW, animals supplemented with an amount relative to 0.5% of the live weight; MEDIUM, supplemented animals with quantity relative to 1.0% of live weight; and HIGH, supplemented animals with a quantity relative to 1.5% of the live weight. The supplemented diet consisted of soybeans (35.34%), palm kernel cake (10.00%), ground corn (27.33%) and rice bran (27.33%). In addition, the animals received hay from *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick grass, offered ad libitum as well as water and mineralized salt. The investigation lasted 100 days divided into 4 periods of 25 days; intake of grass and supplement was determined on a daily basis by difference between the offered and the residues. To determine digestibility, a digestive test was carried out in the last 3 days of each period in order to quantify the excretion of dry matter by total collection. As the degree of supplementation increased, higher DMSI dry matter of supplement intake (0.00, 1.61, 3.14, 4.53 kg), CPI crude protein intake (0.34, 0.72, 1.02, 1.29 kg) and EEI ether extract intake were observed. (0.12, 0.25, 0.35, 0.44 kg) ($P<0.01$). Higher performance, intake and digestibility were observed in supplemented animals when compared to non-supplemented animals ($P<0.05$) specifically for the variables TDMI total dry matter intake (6.93, 9.68 kg), OMI organic matter intake (6.48, 9.11 kg), NFCI non-fibrous carbohydrates intake (0.49, 1.48 kg); TDNI total

digestible nutrients intake (4.36, 6.96 kg), ME metabolizable energy (22.58, 33.41 Mcal /day), DE digestible energy (26.10, 38.44 Mcal /day), DMD dry matter digestibility (64.20, 71.92%), OMD organic matter digestibility (65.41, 72.94%), CPD crude protein digestibility (55.15, 73.79%), EED ether extract digestibility (49.82, 76.55%), NFCD non-fibrous carbohydrates digestibility (67.25, 87.88%), ADG average daily gain (-169.2, 1069.62 gr /day); WG weight gain (-17.09, 108.03 kg); FC feed conversion (73.29, 9.69 kg) and FE feed efficiency: 2.0, 11.0%. A positive correlation ($P < 0.05$) was observed between the variables DMSI, CPI, NFCD, EEI, CPD, EED and NFCD with ADG, meanwhile, DMI, DMD, neutral detergent fiber intake NDFI and neutral detergent fiber digestibility NDFD were negatively related ($P < 0.05$) with ADG. Supplementation improves the variables of TDMI, CPI, EEI, NFCD, CPD, EED, NFCD and productive performance of Chino Santandereano cattle in stable, meanwhile, there is no influence of the degree of supplementation LOW, MEDIUM and HIGH on ADG, NDFI and NDFD.

Key Words: digestibility, supplementation, colombian creole breeds, animal nutrition, productive performance.

Introducción

El número de semovientes bovinos de la raza criolla Chino Santandereano ha presentado una reducción drástica en los últimos años a pesar de los esfuerzos mancomunados de entidades públicas y de asociaciones de ganaderos dedicadas a la preservación y multiplicación de las razas criollas colombianas (Anzola, 2005).

En las últimas décadas la humanidad ha presentado varios conflictos económicos y sociales, además de la necesidad de incentivar el incremento en la calidad de vida, combatiendo con ello las consecuencias del subdesarrollo, particularmente por hambre, el bovino criollo está llamado a desempeñar un rol más allá de la pura conservación; por tanto, es necesario considerar algunos argumentos que puedan contribuir a fundamentar la conservación de las razas criollas colombianas. Existen razones de orden cultural, científico, económico y social que deben ser tratados para visualizar los alcances de esta conservación y señalar los productos que esta labor debe generar para que el animal rinda tributo al bienestar humano (Pinzón, 2003).

El estado colombiano por intermedio del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), reconoce los derechos sobre los recursos zoogenéticos nacionales garantizando diferentes mecanismos de conservación, uso y desarrollo sostenible, implementando políticas como la Ley 427 de 1998, donde establecen programas de investigación que trabajan en conjunto con instituciones de educación superior y asociaciones ganaderas para el diseño, ejecución de planes y programas de investigación que tengan por objeto la propagación, mejoramiento, producción, comercialización y promoción de razas criollas, así como del consumo de sus productos; generando mediante la Resolución 249 de 2003 el Comité Nacional para el Mejoramiento de la Ganadería Colombiana con el fin de incentivar la productividad del sector pecuario, a través del mejoramiento de las diferentes especies (Correal, 2010).

A pesar de las medidas tomadas por el ministerio de agricultura y entidades ligadas al sector pecuario, son pocas las investigaciones y la información científica generada específicamente para la raza criolla Chino Santandereano, lo cual ha provocado desinterés por parte de los productores pecuarios para la utilización de la raza en los diferentes sistemas de producción bovina (Anzola, 2005). Si bien es claro que la suplementación en la mayoría de las razas bovinas mejora el desempeño productivo por aportar componentes nutricionales altamente digestibles acordes a las exigencias nutricionales, se desconoce la capacidad productiva que posee la raza criolla Chino Santandereano cuando son sometidos a niveles elevados de suplementación; igualmente, no se conocen investigaciones que reporten el verdadero potencial productivo estipulado por la genética de la raza.

Con base en lo anterior, se hace necesaria la ejecución de investigaciones con validez científica que determinen el desempeño, consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta total ofertada a bovinos de la raza Chino Santandereano cuando son expuestos a diferentes sistemas de producción y niveles de suplementación proteica y/o energética.

1. Planteamiento del problema

Las poblaciones bovinas criollas demuestran adaptación al ambiente en términos de fertilidad y longevidad, estas características producen una rentabilidad que no siempre se analiza; razas especializadas presentan porcentaje promedios de fertilidad de 70% y longevidad de 7 años, mientras que las razas criollas el porcentaje de fertilidad reportado es de 90% y longevidad promedio de 12 años, presentando un número de crías durante la vida útil de 10.8 progenies, mientras que en razas especializadas el valor es de 4.9 crías, resaltando las valiosas cualidades del bovino criollo Colombiano (Gómez, 2003).

La raza criolla bovina Chino Santandereano presenta disminución del número de semovientes a nivel nacional, llegando a los 450 ejemplares según el último censo realizado por la FAO (2018). Instituciones como Fedegan, Asocriollo, la Secretaría de Agricultura de Santander y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, han venido desarrollando estrategias reproductivas que permitan la diseminación de la raza; generando conciencia de la importancia de la utilización de la misma, dando a conocer las bondades de los parámetros de importancia económica que presenta el Chino Santandereano cuando se compara con razas Cebuinas y sus cruces, entre tanto, las razas foráneas actualmente se tiene amplia información sobre características como la ganancia de peso, producción, calidad en carne y leche, consumo y digestibilidad los componentes nutricionales de la dieta, conversión alimenticia, parámetros reproductivos en ambos sexos; cuando los animales son expuestos a diferentes condiciones experimentales (Correal, 2004), contrario de la información científica disponible de la raza Chino Santandereano.

Generar información sobre algunas de las variables anteriormente mencionadas podría ser un hito importante en demostrar el verdadero potencial productivo de las razas criollas (más allá de

la capacidad de adaptación a condiciones climáticas muchas veces agrestes), siendo la capacidad productiva de la raza, el principal criterio a ser tenido en consideración por los productores bovinos al seleccionar individuos con un excelente desempeño productivo.

El rendimiento en producción de los bovinos es dependiente de la ingesta de los componentes nutricionales (materia seca – MS, proteína bruta – PB, extracto etéreo – EE, fibra detergente neutra – FDN y carbohidratos no fibrosos – CNF) y del grado de aprovechamiento de los mismos a nivel digestivo y metabólico, se hace necesario ejecutar investigaciones con la finalidad de determinar el consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta ofertada a Bovinos Chino Santandereano cuando son sometidos a diferentes sistemas de producción y estrategias nutricionales.

2. Justificación

Los productores pecuarios colombianos han mermado la utilización de la raza Chino Santandereano en los sistemas productivos, acompañado de aumento en la implementación de razas foráneas por presentar estas últimas, supuestamente mayor capacidad productiva cuando comparada con la raza Chino Santandereano.

A las razas criollas, dentro de estas el Chino Santandereano, se les atribuye como características principales, la capacidad de adaptación a condiciones climáticas agrestes, presentando desempeños considerables cuando expuestas a condiciones nutricionales desfavorables. Estas cualidades han generado implementación de estrategias nutricionales y de manejo inadecuadas, exponiendo la raza a praderas con disponibilidad de forrajes con elevada concentración de lignina y carbohidratos fibrosos, y baja concentración de proteína y carbohidratos solubles, generando limitación del rendimiento productivo cuando comparadas con razas foráneas normalmente sometidas a mejores condiciones nutricionales (Gandioli, 2019).

Se hace necesario que los productores tengan a la mano información relevante y confiable del verdadero potencial productivo y nutricional de la raza Chino Santandereano (CS); actualmente existe desconocimiento y carencia de información científica actualizada sobre los parámetros productivos del genotipo CS con respecto a otras razas masificadas como son el Brahman, Angus o inclusive al compararse con otras razas criollas de las cuales se ha realizado mayor investigación como el Costeño con Cuernos, Romosinuano y Blanco Orejinegro, siendo necesario determinar el potencial productivo y nutricional de la raza CS cuando sujeto a mejores condiciones nutricionales.

El Chino Santandereano además de constituir excelente materia prima para obtener mediante el cruzamiento y el retro-cruce con otras razas, vigorosos ejemplares de carne y leche, ofrece

apreciables ventajas para la explotación por parte del pequeño y mediano productor ubicado geográficamente en condiciones desfavorables. Su adaptabilidad, rusticidad y mansedumbre permite un fácil manejo por parte de los campesinos en los climas tropicales (Correal, 2004), pudiendo tal vez expresar rendimientos elevados y/o precoces cuando inmersos en sistemas de producción adecuados y acordes a las buenas prácticas ganaderas (BPG).

Por consiguiente, es de importancia determinar la capacidad productiva de bovinos Chino Santandereano, así como el consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta suministrada, al ser sometidos a diferentes sistemas de producción y estrategias nutricionales. La ejecución de este tipo de investigación posiblemente dará a conocer con solidez científica el verdadero potencial productivo, nutricional y metabólico de la raza, que motiven la modificación e implementación de nuevas estrategias productivas en busca de generar animales precoces.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar el desempeño, consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta ofrecida a bovinos Chino Santandereano en estabulación, con diferentes niveles de suplementación proteico-energética.

3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto del nivel de suplementación sobre el desempeño productivo, consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta total ofertada a bovinos Chino Santandereano.
- Evidenciar la correlación existente entre las variables consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales de la dieta ofertada a bovinos chino Santandereano con el desempeño productivo, consumo de materia seca de suplemento y heno.
- Generar información científica de la raza criolla Chino Santandereano que demuestre el verdadero potencial productivo y nutricional establecido por la genética, cuando se ofertan dietas de mejor calidad nutricional.

4. Marco teórico

4.1. Historia de las razas criollas colombianas

En Colombia existe una gran variedad de razas Criollas, que se originaron a partir del ganado que ingreso al país durante la conquista española, a pesar de que estas razas tienen un origen taurino (*Bos taurus*), son reconocidas por sus características de adaptación, rusticidad y eficiencia reproductiva bajo condiciones tropicales Chase *et al.*, (1997); Elzo *et al.*, (1998; Martínez *et al.*, (2005;(Martínez , Tobón , & Gallego , (2012) citado por (Bejarano, 2016), se sabe que los primeros animales llegaron en el segundo viaje de Colón en 1493, los semovientes fueron desembarcados en la Isla “La Española”, conocida actualmente como Santo Domingo, permaneciendo allí como un núcleo de multiplicación por 32 años hasta que fueron permitidas las exportaciones a tierra firme (Bejarano, Hernández, & Rico, 1986).

4.2. Importancia de las razas criollas colombianas

Según Velásquez,(2006) el ganado criollo colombiano, para las condiciones edafoclimáticas del trópico, presenta un buen desempeño de parámetros productivos y reproductivos y características de rusticidad, tolerancia al calor, resistencia a ectoparásitos, además de que son buenos para realizar cruces con razas cebú y Europeas, para aprovechamiento del vigor híbrido, es una raza que puede adaptarse fácilmente y establecer un sistema de producción eficiente, sostenible y competitivo en el trópico colombiano.

Por tener más de 500 años de presencia en el país, las razas criollas han demostrado una alta capacidad de adaptación a las condiciones agroecológicas del trópico, esto les permite producir carne, leche y trabajo en condiciones de estrés alimenticio. En comparación con el ganado cebú, el más abundante en el país, las razas criollas, pueden tener cinco años más de vida reproductiva,

para características como la edad del primer parto y el intervalo entre partos se han registrado en promedio 6 meses y 70 días respectivamente menor comparado con la raza cebú (Velásquez, 2006).

4.3. Raza Chino Santandereano

4.3.1. Origen

El Chino Santandereano es originario del departamento de Santander especialmente de los municipios de Barichara y San Gil. El Chino Santandereano tiene sus estirpes en las razas ibéricas, Gallega, Tundaca y Pirenaica, pero no solo estas razas conformaron el Chino dieron origen otros ganados como lo fueron el Casanareño, establecido en los Llanos Orientales, el venezolano hoy conocido como el Limonero y el Costeño con cuernos proveniente de la Costa Atlántica colombiana (Vargas, 1999).

El primer núcleo ganadero en el país se formó durante la conquista a partir de la llegada de animales a Santa Marta que provenía de la Isla La Española hoy Santo Domingo (Primo, 1992) distribuyéndose en el centro-norte de la Cordillera Oriental de Colombia que corresponde a los departamentos del Norte de Santander, siendo los municipios de influencia: Bohalema, Gramalote, Salazar, Chinácota, Durania, Ragombalia, Sardinata, Ocaña y Cúcuta; y en Santander: Barichara, San Gil, Cabrera, Guane, Socorro, Pinchote, Curití, Ocamonte, Guadalupe, Guapotá, Simacota, Chima, Galán, Palmas, La fuente, Zapatoca, El Palmar, Matanza, Rionegro, Piedecuesta, Girón y Bucaramanga (Ruiz, 2014).

4.3.2. Características Zootécnicas

Las características fenotípicas de la raza Chino Santandereano se derivan de sus ancestros, la selección natural y la adaptación durante aproximadamente 500 años de evolución en el

ambiente tropical de la Montaña Santandereana. Como resultado de dicho progreso, la raza desarrolló cualidades fisiológicas especiales, como una constitución vigorosa y sana, manifestada tolerancia a fuertes variaciones climáticas, bajo estrés calórico por su pelo ralo y corto, resistencia a enfermedades de tipo parasitario e infecciones reproductivas, alta longevidad y fertilidad, baja mortalidad y morbilidad en animales jóvenes, alta capacidad de pastoreo en suelos pobres y pastos de baja calidad, presentes en la topografía accidentada del departamento Santandereano, así como la facilidad de digerir y asimilar forrajes toscos para su supervivencia (Pinzón, 1979; Ruiz, 2014).

Esta raza presenta una conformación similar a razas criollas como Costeño con Cuernos y Hartón del Valle, además fue considerada una raza de triple utilidad (carne, leche y trabajo) para la sociedad campesina, ya que se destacaba por su producción cárnica al igual que las razas Romosinuano y Hartón del Valle; debido a su alto poder biológico se ha empleado en los cruzamientos tanto con razas lecheras como de carne (Vargas, 2011).

Su nombre proviene de la vereda la china en la región de Barichara Santander, donde también se instaló esta raza. Presentan un pelaje colorado con tonalidades bayas, naranjas y hoscas, rara vez presentan manchas blancas en el vientre o en otras partes del cuerpo; el color más frecuente es el hosco y se distingue por un color rojo castaño con extremidades oscuras o quemadas hasta más arriba de las rodillas y corvejones, cabeza, orejas, ojos, extremo del escroto y borla de color oscuro, mucosas y pezuñas bien pigmentadas. Piel delgada y suelta, cabeza de aspecto primigenio, frente ancha, testuz plano de tamaño pequeño o mediano, perfil recto y cara fina, magra y expresiva que denota una apariencia tranquila y noble; cuernos delgados y finos de color blanco con puntas negras dirigidos hacia fuera, delante y arriba. Las órbitas son algo salientes y separadas, conjuntiva pigmentada y con arrugas muy netas que rodean los ojos vivos

y expresivos. Las orejas son ovaladas, de tamaño pequeño, móviles y del mismo color del cuerpo en los animales bayos y bien oscuras en los animales hoscos. El hocico es bien conformado y amplio, las mandíbulas fuertes con maseteros bien netos y firmes (Pinzón, 1979).

El cuello es fuerte, de mediana longitud, bien implantado en el tronco, con papada de mediano desarrollo y con músculos cervicales muy desarrollados en el macho. La cruz es fuerte y cerrada en buena armonía con el dorso. La parte dorsal es fuerte, pero algo ensillado en algunos animales, y un poco más levantado en la parte posterior al nivel de la grupa (Pinzón, 1979). El tronco es voluminoso, de buena capacidad corporal, la grupa es amplia y levantada, el lomo es recto y carnudo en el macho, la cola es de inserción alta, delgada y de escasa borla especialmente en los machos; los miembros son de mediana longitud, de hueso fino, bien aplomados y de pezuñas fuertes.

En las hembras la ubre es glandulosa, visiblemente irrigada, con buena inserción y desprendimiento posterior alto. Se presenta un desarrollo desigual entre cuartos posteriores y anteriores. En el macho (Figura 1) los testículos están bien colocados, son parejos, de buen tamaño y del mismo color del cuerpo del animal, generalmente con el extremo inferior negro donde el escroto termina en forma de horqueta (Vargas, 2011).



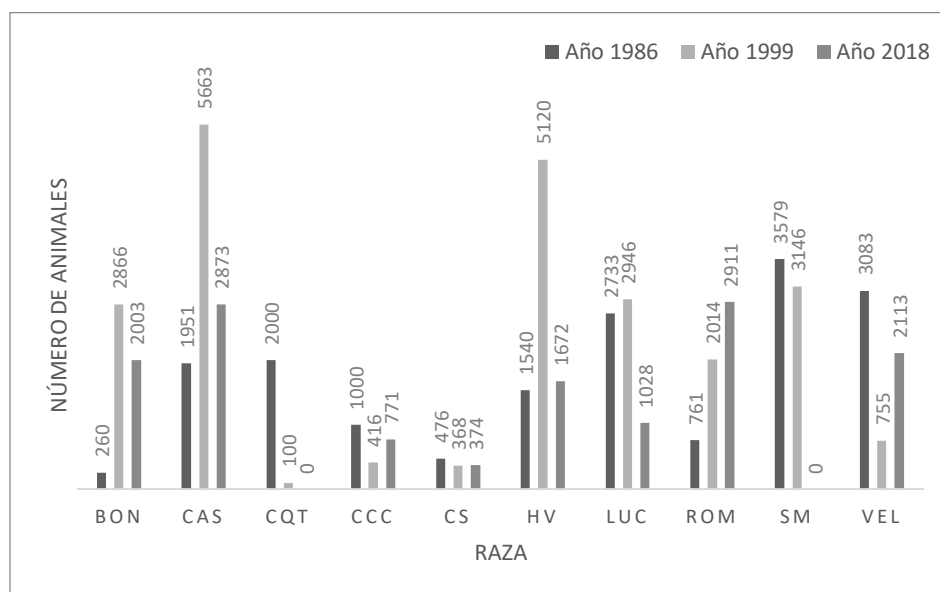
Figura 1. Macho Chino Santandereano. Fuente: (Yeisson Robles).

4.3.3. Características reproductivas

Se ha registrado poca información de su desempeño reproductivo; algunos datos oficiales del Fondo Ganadero de Santander sostienen un promedio de intervalo entre partos (IEP) de 400 días, y tasas de natalidad cercanas al 85%. Se reporta una edad promedio al primer parto de 39,5 meses, un intervalo entre partos de 427 días, tasas de natalidad del 65% y fertilidad del 83% (Pinzón, 1979; Ruiz, 2014).

4.4. Situación actual de la raza Chino Santandereano

En el año 2005 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) realizó un informe acerca de la situación de los bovinos criollos en Colombia teniendo en cuenta el estado de amenaza de la población con base en el número de hembras en estado reproductivo y la relación entre sexos; según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ninguna de las razas criollas se encuentra clasificada en estado *normal* (10.000 hembras; relación entre sexos superior a 50:1 o 1.000 hembras y 20 machos) o *insegura* (entre 5.000-10.000 hembras; relación 50:1), pero sí en peligro (100-1.000 hembra; relación inferior 30:1) y crítica (menos de 100 hembra; relación no inferior 5:1) (Martínez, 1999). Para el caso de la raza Chino Santandereano el estado actual es crítico; en la Figura 2 se presenta el comportamiento del tamaño poblacional del ganado criollo Chino Santandereano para los años 1986, 1999 y 2018, en donde en el año 1986 con 476 ejemplares se disminuyó a 368 animales para el año 1999 y en el último censo se reporta un total de 374 semovientes para el año 2018, según el sistema de información sobre la diversidad de los animales domésticos (FAO 2018).



BON: Blanco Orejinegro; CAS: Casanareño; CQT: Caqueteño; CCC: Costeño con cuernos; CS: Chino Santandereano; HV: Hartón del Valle;
LUC: Lucerna; ROM: Romosinuano; SM: San Martinero; VEL: Velásquez.

Figura 2. Distribución de la población del ganado criollo colombiano en los censos de los años 1986, 1999 y 2018. Adaptado de (FAO 2018).

La distribución de los ejemplares de la raza Chino en el Departamento de Santander es ilustrada en la Figura 3, principalmente los animales se ubicaron hacia la zona Norte, donde el núcleo más importante clasificado en la posición número uno se localiza en las provincias Guanentina y Comunera, conformado por las fincas Ojo de Agua y Los Pozos del municipio de San Gil, y las fincas La Ponderosa y El Tulipán del municipio de Socorro; en segundo lugar se encuentra en la provincia Guanentina, el núcleo del Fondo Ganadero de Santander a cargo de La Finca Payandé en el Municipio de Pinchote, y La Finca Macanal en el municipio de Ocamonte; en tercer lugar en la provincia de Mares, se encuentra la ganadería Las Pampas en el Municipio de Sabana de Torres; en cuarto lugar en la provincia de Vélez, se encuentra la ganadería Oro en Cimitarra; en el quinto y sexto lugar se encuentran en la provincia Guanentina, las fincas El

Choro de Villanueva y Sudán, y La Pradera de Barichara; por ultimo en la provincia comunera, se encuentra la Finca Agua Fría de Guadalupe (Ruiz, 2014).

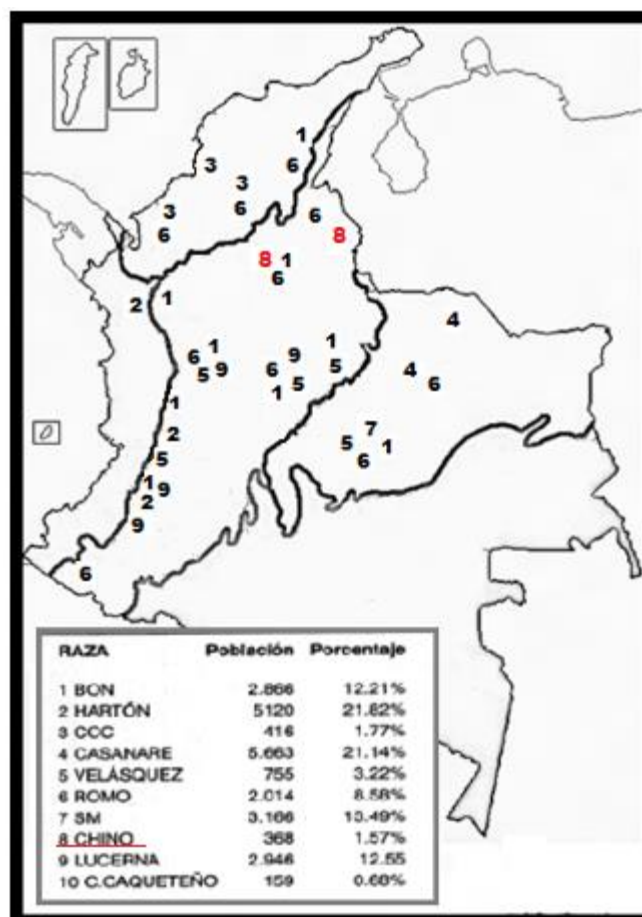


Figura 3. Distribución de las razas criolla. Adaptado de (Martínez, 1999).

4.5. Definición de consumo de alimento

El consumo se define como la cantidad de alimento y o nutriente ingerido durante un periodo de tiempo por parte del animal, lo cual resulta ser el principio más significativo para el desarrollo productivo de los bovinos, seguido de la biodisponibilidad del nutriente para ser asimilado y posteriormente metabolizado. Para que se dé el consumo debe existir interacción entre diversos factores como son: físicos, metabólicos, eficiencia productiva de cada animal la cual puede cambiar dependiendo de variables intrínsecas (raza, sexo, edad, salud, tamaño, peso y estado

fisiológico) y de variables extrínsecas (características del alimento, palatabilidad, digestibilidad, cantidad de nutrientes) los factores ambientales (temperatura, humedad relativa, fotoperiodo) y manejo (Tarazona *et al.*, 2012). Una de las características importantes a evaluar en los sistemas de producción es el consumo, sin embargo, es un parámetro de difícil medición, especialmente bajo condiciones de pastoreo (Gaviria *et al.*, 2015).

4.5.1. Mecanismos de regulación del consumo

Para dar explicación a este proceso se han generado dos teorías de regulación del consumo, que explican la interacción de estos factores anteriormente mencionados como un sistema integrador del consumo de la materia seca. La primera teoría relacionada con la disminución del consumo de alimento es el llenado físico ruminal la cual depende de la cantidad de forraje que llega al rumen y el tamaño de partícula, de acuerdo con esto grandes cantidades de forraje, así como un tamaño de partícula grande, pueden causar distensión en el retículo-rumen, esto suele pasar con la ingestión de pastos de mala calidad o lignificados. Cuando se ocasiona este tipo de llenado, mecanorreceptores son activados, enviando mensajes al sistema nervioso central que activan el centro de la saciedad, lo cual resulta en reducción de la ingesta de alimento (Tahir, 2008) citado por (Rojas, 2017). Al mismo tiempo, el llenado físico es regulado por la velocidad de desaparición de la ingesta que se encuentra entre el rumen y el paso hacia el abomaso. Esta velocidad de desaparición de la ingesta depende del tiempo de digestión, absorción y de retención del alimento en el rumen y la tasa de pasaje de este, parámetros, que a su vez dependen de las propiedades físicas y químicas del alimento y la población microbiana ruminal.

La segunda teoría denominada teoría quimiostática, está relacionada con el aumento de metabolitos en sangre, es decir mediada por mecanismos químicos donde la ingestión de alimento altamente fermentable o altamente energéticos provoca un efecto en saciedad por un

estímulo en el hipotálamo ventromedial. Los metabolitos que tienen efecto en la regulación del consumo son la glucosa (sin embargo, esto aplica más en el caso de los no rumiantes), propionato, ácidos grasos libres y algunos aminoácidos como leucina. Estos metabolitos son oxidados en el hipotálamo y producen la disminución del consumo de alimento (Haro, 2002) citado por (Rojas, 2017).

La leptina es una proteína que secretan los adipocitos implicados en la regulación del consumo de alimentos y en el balance energético del organismo animal, el sitio en el que se produce esta hormona es, principalmente, el tejido adiposo. Hay una estrecha relación entre la concentración en plasma de algunas hormonas y la leptina; los glucocorticoides son potentes reguladores de la expresión de leptina (Martínez y Savón, 2005). Esto se ha demostrado por la administración in vivo. La insulina y leptina son parte de un ciclo de retroalimentación negativa en el que la insulina estimula la secreción de leptina, y una vez que esta circula, inhibe la producción de insulina (Reidy y Weber 2000).

Ante situaciones de demora en una o varias de las tomas de alimento diarias, se va a producir un descenso de los niveles de glucosa en sangre. Consecuencia de ello, la sensación de hambre emergente será mayor con objeto de recobrar la reserva energética consumida durante el período de ayuno. A este proceso se le conoce como teoría glucostática (Halford y Harrold, 2012). Las reservas orgánicas de lípidos, por su parte, suponen otra de las fuentes de información que el organismo utiliza para controlar la ingesta de nutrientes en cada toma. Para ello y a nivel del sistema nervioso central, destaca la existencia de receptores encargados de regular las concentraciones de ciertas moléculas de composición grasa como ácidos grasos, glicerol o 3-hidroxibutirato, que a su vez ofrecen información acerca de las reservas grasas existentes en el organismo; a esta se la conoce como teoría lipostática (Speakman, Stubbs y Mercer 2002).

La teoría lipostática, propuesta como mecanismo de acción a largo plazo de la leptina en los bovinos plantea que hay un factor secretor de grasa que proporciona al cerebro el estatus de energía corporal y regula el comportamiento ingestivo y la masa de grasa corporal (Houseknecht *et al.*, 1998). Existen evidencias de que este factor sea la leptina, ya que esta se secreta en sangre por los adipocitos y se transporta hacia el cerebro donde actúa para estimular o inhibir la liberación de determinados factores (Ruiz *et al.*, 1999).

Aunque existen muestras de que el efecto de la leptina es mediado centralmente vía neuropéptidos, esta puede actuar también periféricamente, ya que los receptores de la hormona se han encontrado fuera del sistema nervioso central (Langhans, 2002). El tratamiento de los adipocitos con leptina reduce la estimulación de la insulina en el metabolismo de los carbohidratos y los lípidos, así como en la síntesis de proteínas. En el músculo provoca aumento en la beta-oxidación de los ácidos grasos (AG), sin cambios en el metabolismo de los carbohidratos (Houseknecht *et al.*, 1998).

La grelina es una hormona gástrica que regula el apetito y la homeostasis nutricional, los niveles circulantes de esta hormona aumentan durante el ayuno e inducen hambre. La importancia de esta molécula en la regulación de la ingesta alimentaria tiene lugar por varios mecanismos entre los que destaca su carácter competitivo con la leptina y su interacción con el nervio vago, desde donde puede inducir una activación neuronal causando con ello motilidad, secreción gástrica y en definitiva una inducción al apetito y consumo de alimento. Sin embargo, su principal vía de actuación tiene lugar en con su interacción con otros péptidos como el neuropéptido Y (NPY) ejerciendo un estímulo para la síntesis de éstos (Kowalski *et al.*, 2014).

4.6. Definición de digestibilidad.

La digestibilidad es la tasa de eficiencia de un alimento en ser digerido y absorbido por el animal, se relaciona con la cinética de digestión y su tasa de pasaje del rumen, demostrando una estrecha relación con la digestión de fibra, principalmente, porque ésta limita la tasa de desaparición del material del tracto digestivo. En la estimación de este parámetro se utiliza la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos y totalmente disponibles para el animal (Merchen, 1993). Los coeficientes de digestibilidad están determinados por diferentes métodos y se expresan como real o verdadero (DR) y aparente (DA); el valor que expresa la DR de un alimento es superior al de DA, ya que en este no se toman en cuenta los residuos metabólicos del bovino, si no que refleja la desaparición neta de materia orgánica atribuida al proceso de digestión. Es difícil cuantificar con exactitud las cantidades de origen endógeno de un determinado elemento presente en las heces, ocasionando la subestimación de su digestibilidad verdadera. Los valores estimados de digestibilidad aparente de las fracciones correspondientes a proteínas y lípidos sin incluir los aportes de compuestos endógenos de la misma naturaleza son siempre menores a los coeficientes de digestibilidad verdadera, por lo que un dato de gran utilidad al trabajar con rumiantes es el aporte de nitrógeno endógeno que se encuentra alrededor de 0,5 a 0,6 g por 100 g de materia seca consumida (aproximadamente el 4% de la proteína de la ración) por lo que los coeficientes de digestibilidad aparente en raciones con un contenido de proteína inferior al 4% pueden llegar a ser negativos (Bondi, 1989).

4.6.1. Métodos de determinación de la digestibilidad

Las características de degradación de los alimentos pueden ser estudiadas por métodos *in vivo*, *in situ* e *in vitro*. Debido a que en los estudios *in vivo* los nutrientes sólo pueden ser

evaluados en raciones totales y al hecho de que tales estudios requieren considerables recursos y son difíciles de estandarizar, varias técnicas *in situ* e *in vitro* han sido desarrolladas (Posada & Noguera, 2005). Dentro de las técnicas *in vitro*, la de uso más frecuente es la descrita por Tilley y Terry (1963), la cual fue modificada por Goering y Van Soest (1970) para estimar la digestibilidad de la MS. Otra técnica *in vitro* consiste en la utilización de enzimas en lugar de microorganismos, cuya principal ventaja es que no requiere animales como donadores de inóculo. Las dos anteriores técnicas son usadas como procedimientos para estimar la digestibilidad final del sustrato y no proveen información sobre la cinética de digestión. La técnica de la bolsa de nylon (*in situ*) (Posada & Noguera, 2005) supera esta limitante al proporcionar estimativas de la tasa y la dinámica de la degradación de los constituyentes del alimento; sin embargo, es una aproximación laboriosa, costosa e invasiva, en la que solamente un pequeño número de muestras pueden ser evaluadas al tiempo. El método *in situ* ofrece la oportunidad de poder evaluar el grado de degradación que sufren los alimentos y sus componentes nutricionales durante el paso por cada una de las estructuras anatómicas que hacen parte del sistema digestivo, gracias a la utilización de animales fistulados o canulados en cada en varias partes del tracto gastrointestinal (Fístula esofágica, ruminal, omasal, abomasal, duodenal y cecal, principalmente) (Reyes, 2013).

Para la determinación del coeficiente de digestibilidad *in vivo*, se han utilizado varios métodos, uno de los más importantes es la colecta total de heces (CTH) y el método utilizando indicadores (García *et al.*, 2009). Para la correcta evaluación de materiales es necesario que los investigadores validen las técnicas que usan, contrastándolas con estimaciones por otros métodos (Titgemeyer, 1997). El método CTH, es más confiable, ya que involucra factores directos del

alimento con el animal. Lo ofrecido al animal, lo rechazado y las muestras de heces son analizadas en laboratorio y así, determinar la digestibilidad (García *et al.*, 2009).

El uso del método tradicional de colecta total de heces (CHT) es laborioso e implica algunas restricciones al manejo ordinario de animales en producción, haciéndose necesaria la evaluación y validación de técnicas que permitan estudiar diferentes materiales requiere de la disponibilidad de jaulas de colección; de personal adiestrado en su manejo (Van Keulen & Young, 1977); (Laredo, Anzola & Segura, 1988); el costo de mantenimiento de los animales (Basurto & Tejada, 1992) sin embargo, esta técnica posee algunas limitaciones con relación a la precisión de la estimación del coeficiente de digestibilidad, los coeficientes de digestión determinados por diferencia entre los nutrientes ingeridos y los excretados, no siempre reflejan su disponibilidad Ortega, (1987) y Bondi, (1989). El consumo y la digestibilidad han sido áreas de gran interés para los nutricionistas, donde la técnica de los indicadores ha contribuido notablemente (Kotb & Luckey, 1972). Aun cuando se considera a los forrajes la fuente de alimentos más económica para los rumiantes, las investigaciones conducidas para determinar su valor alimenticio son mucho menores con relación a las conducidas con otro tipo de alimentos (Reid *et al.*, 1952).

El trabajo operativo del método de CTH, implica la medición diaria de consumo, la colección de heces una o dos veces al día, sin contaminarlas con la orina. En ensayos a pastoreo la situación se complica aún más(Laredo *et al.*, 1988) ya que los animales deben estar adaptados al uso de arneses y al constante manipuleo (Doley *et al.*, 1994), pudiendo causar un efecto negativo sobre los hábitos de pastoreo del animal (Van Soest, 1994), todo esto ha promovido el uso creciente de marcadores en los estudios de digestión principalmente cuando se trabaja con animales a pasto.

Los indicadores permiten tener referencias de aspectos físicos, como la tasa de pasaje o químicos, como hidrólisis y absorción, estimando cuantitativa y cualitativamente la información nutricional en sistemas donde la colección de heces se vuelve complicada (Lachmann & Araujo, 2009). Un indicador debe de ser inerte y no tóxico, no tener efectos fisiológicos, no ser absorbido ni metabolizado en su paso por el tracto digestivo y debe ser recuperado completamente en las heces, debe mezclarse bien con el alimento y mantenerse uniformemente distribuido en la ingesta, no tener influencia sobre la descamación endógena proveniente del tracto gastrointestinal, digestión, absorción, motilidad del tracto digestivo o sobre la excreción, no tener efecto sobre la microflora del tracto digestivo del hospedero y debe tener cualidades que permitan su medición precisa (Rodríguez, Simoes, & Guimares, 2007). Como el indicador ideal no existe, se considera que cumpla sólo con la indigestibilidad, la recuperación completa y la fácil medición del material, además de no afectar al animal, no interferir la digestibilidad del alimento y debe contar con un método específico y sensible de determinación (Lachmann & Araujo, 2009).

El método de las proporciones utilizando indicadores para determinar los coeficientes de digestibilidad se muestra como un procedimiento altamente válido. Al saber con precisión las cantidades de marcador en alimento y heces y el porcentaje de nutrientes en el alimento, se podrá determinar la digestibilidad de los nutrientes. Los indicadores o marcadores pueden ser clasificados en internos y externos. Los internos son aquellos constituyentes naturales del alimento, que no son digeridos ni absorbidos por el animal (como la lignina o la fibra detergente neutra insoluble FDNi), la ventaja de ellos es que no es necesaria la preparación del marcador. Los externos (óxido de cromo, dióxido de titanio, entre otros) son sustancias químicas que se suministran al animal directamente con la ración, en cápsulas, en soluciones o incluso

directamente en el rumen, cumpliendo la misma función que los marcadores internos (Lachmann & Araujo, 2009).

4.7. Estadístico de prueba

En un análisis de varianza ordinario, se prueba la hipótesis que "todos los tratamientos son iguales". En el caso de encontrar diferencias significativas, se debe realizar una prueba adicional, llamada Prueba de medias. Sin embargo, al desear comparar grupos de tratamientos es donde se emplea la prueba de contrastes ortogonales (Reyes, 2014).

4.7.1. Contrastes ortogonales

Un contraste en estadística es una combinación lineal de las medias de los tratamientos definida por la suma de productos de las medias de tratamiento por un coeficiente. Estos coeficientes deben cumplir con la característica de que su suma es igual a cero, de tal manera que para algunas medias sus coeficientes asociados son positivos y para otras son negativos. Las reglas de asignación de los coeficientes van a depender de la tendencia que se desee encontrar o de la comparación de medias que se desee hacer (Alamgir et al., 2017).

4.7.2. Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS)

Con frecuencia, las variables están interrelacionadas en cierta medida y, en consecuencia, a menudo existe multicolinealidad, la cual puede entenderse como una alta correlación entre variables predictoras (Ver anexo A). Los enfoques estadísticos de rutina, como la regresión lineal múltiple o la regresión de componentes principales (PCA) generalmente se desafían con pruebas múltiples. Específicamente, el uso de pruebas de significación estadística separadas para cada ecuación de regresión cuando hay múltiples resultados aumenta sustancialmente el riesgo de error de Tipo I (Alamgir et al., 2017).

La necesidad de verificar si los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas son compatibles con los datos experimentales condujo al desarrollo de una variedad de pruebas dedicadas. La prueba de Shapiro-Wilk es una de las más utilizadas por los agrónomos para verificar la normalidad, debido a su poder en el caso de muestras pequeñas, como las que a menudo se recolectan en los ensayos de campo, y la prueba de Levene que es una prueba estadística para evaluar la igualdad de las varianzas entre las variables o la población de estudio. (Acutis, Scaglia, & Confalonieri, 2012).

Los indicadores de evaluación para el modelo incluyen principalmente RMSEC, RMSECV, R^2 y RMSEP. Cuanto más pequeño sean los valores de RMSEC y RMSECV y más cerca estén entre sí, mayor será la precisión de la predicción y mayor será la estabilidad del modelo. El R^2 se usa para describir la correlación entre las dos variables de grupo. En el modelo de predicción, el R^2 entre los valores predichos y los medidos tiene un rango de valores de 0 ~ 1, cuanto más cerca esté R^2 de 1, más cerca estará el valor predicho del valor real (Zhang, & Cindy, 2019). El componente en el cual la validación cruzada RMSEP presente un cambio significativo es utilizado en el modelo final (Zilio. *et al.*, 2020).

Con la metodología de cuadrados mínimos parciales PLS se busca evaluar la interacción entre las variables en estudio; para ello se realiza la validación de datos (Ver anexo B) con determinado número de componentes principales contra la raíz cuadrada del error cuadrático medio RMSEP (Ver anexo C) que al presentar diferencia significativa ($P < 0.05$) mediante análisis de varianza totalmente al azar (Ver anexo D), se procede a aplicar la comparación por componentes estrictos (Ver anexo E) donde al ser mayor Q^2 que $\text{Lim}Q^2$ ($Q^2 > \text{Lim}Q^2$) y el R^2 muestra el aporte de las componentes a la varianza total de los datos, lo cual se corrobora al ejecutar un ANOVA tipo III (Ver anexo F) en donde ($P < 0.05$) indica diferencia estadística entre

las cargas calculadas. La normalidad en los datos es comprobada mediante Test de Shapiro-Wilk (Ver anexo G), generando una gráfica en base a los residuales estandarizados y teóricos quantiles (Ver anexo H); las componentes calculadas se representan en el modelo de ortogonalidad (Ver anexo I) donde los datos se distribuyen en las respectivas componentes y su independencia es confirmada mediante la suma de los productos de sus correspondientes coeficientes, siendo igual a cero, implicando que la covarianza sea igualmente de cero, y por lo tanto los componentes se consideran como completamente independientes.

5. Materiales y métodos

5.1. Sitio de estudio

El experimento se llevó a cabo en el Sector de Bovinocultura de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ) en el Centro de Investigación Santa Lucía (CISL), ubicado en la ciudad de Barrancabermeja, departamento de Santander – Colombia (Figura 4), a 75,94 msnm de altura, con temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 2675 mm y humedad relativa de 77% (Cardozo, 2014).

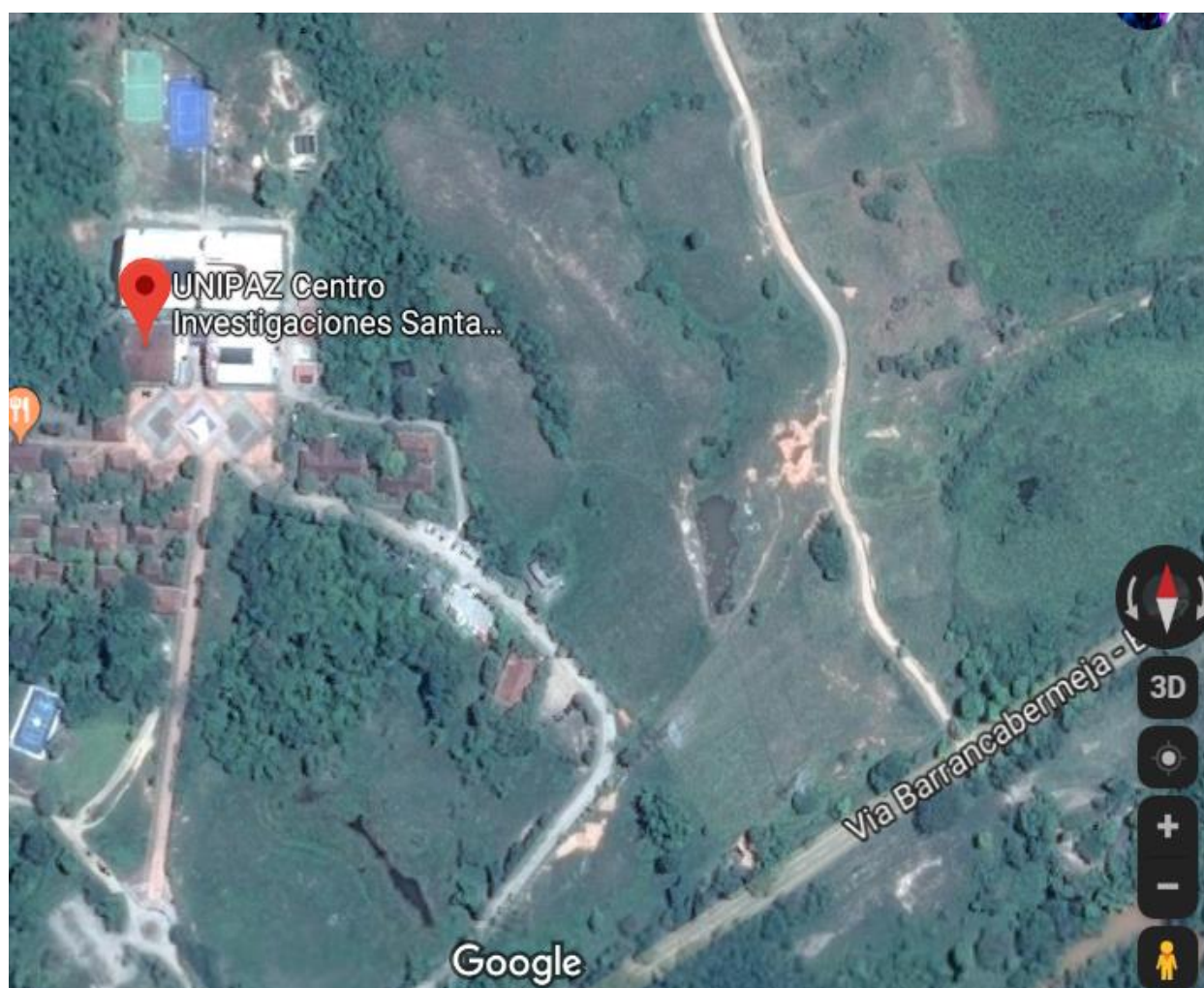


Figura 4. Localización satelital del Centro de Investigaciones Santa Lucía. Fuente: (Google Maps 2020).

5.2. Diseño experimental y tratamientos

Fueron utilizados 16 machos enteros de la raza “Chino Santandereano” con edad y peso inicial promedio de 30 meses y 370 kg respectivamente (Figura 5).



Figura 5. Unidades experimentales. Fuente: (Yeisson Robles 2018).

Los animales fueron organizados utilizándose delineamiento completamente al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, siendo: NS, animales no suplementados; BAJO, animales suplementados con cantidad relativa al 0,5% del peso vivo; MEDIO, animales suplementados con cantidad relativa al 1,0% de peso vivo; y ALTO, animales suplementados con cantidad relativa al 1,5% del peso vivo (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos experimentales aplicados a bovinos Chino Santandereano.

Tratamientos	Suplemento suministrado
No suplementado	Sin inclusión
Bajo	0,5% del peso vivo
Medio	1,0 % del peso vivo
Alto	1,5% del peso vivo

La dieta ofertada a los animales puede ser observada en la Tabla 2, la cual fue suministrada de manera diaria dos veces al día siempre a las 07:00 y 16:00 horas. La dieta fue formulada para aportar el 20% de PB en la materia seca (200 g PB/kg-MS) teniendo en consideración la composición nutricional de las materias primas, información seleccionada de la base de datos Brasileira (CQBAL 3.0) de composición bromatológica de las principales materias primas utilizadas en la alimentación de animales de interés zootécnico (Valadares *et al.*, 2016).

Tabla 2. Niveles de inclusión de las materias primas dentro de la dieta suplementar y total ofertada a bovinos “Chino Santandereano”.

Ítems	Dieta total					
	Dieta suplementar				<i>B. humidicola</i> ⁵	Mezcla mineral
	HS ¹	TP ²	HM ³	SA ⁴		
Niveles de inclusión %	35,34	10	27,33	27,33	<i>Ad libitum</i>	<i>Ad libitum</i>

¹Harina de soya; ²Torta de palmiste; ³Harina de maíz; ⁴Salvado de arroz; ⁵Heno de pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick (Fuente: Los autores).

5.3. Procedimientos experimentales y toma de muestras

La investigación tuvo una duración de 101 días divididos en 4 periodos de 25 días, con un día adicional para el primer periodo. Los animales recibieron sal mineralizada al igual que agua, ofrecidas *ad libitum* en comederos y bebederos de manera individual. Estos fueron pesados en ayuno hídrico y alimenticio de 14 horas a inicio y final del periodo de estudio Figura, 6 para determinar la ganancia de peso total y la ganancia media diaria (ver ecuación (1.1) y (1.2)).

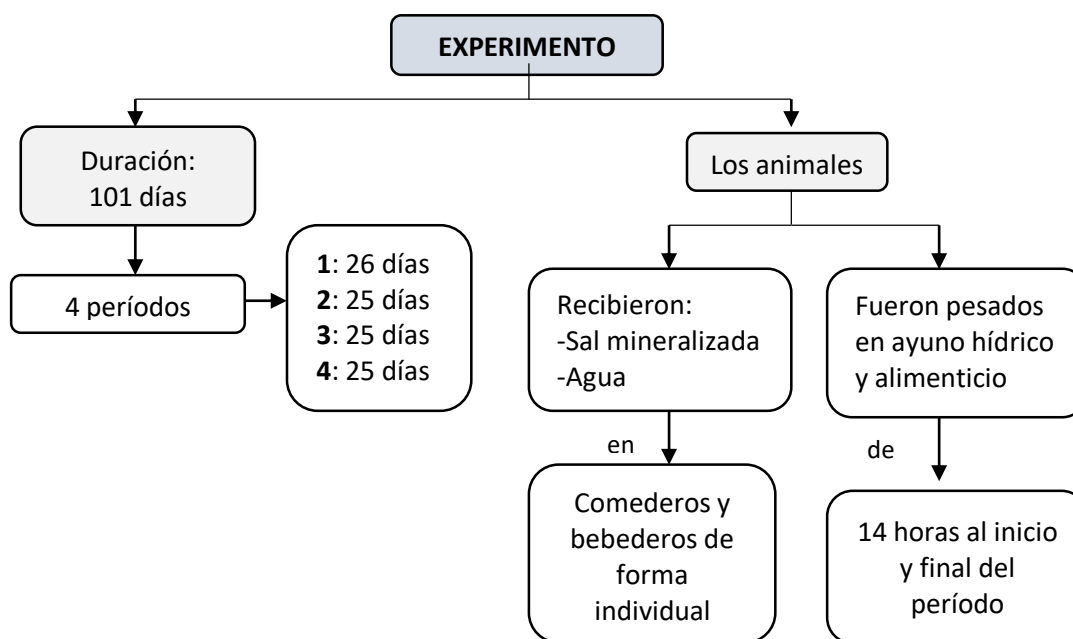


Figura 6. Procedimiento experimental. Fuente (Los autores).

$$\mathbf{GP= (PESO FINAL - PESO INICIAL)} \quad (1.1)$$

Donde, GP: ganancia de peso en kg.

$$\mathbf{GMD= ((PESO FINAL - PESO INICIAL) / TIEMPO (DÍAS))} \quad (1.2)$$

Donde, GMD: ganancia media diaria; tiempo (días): tiempo transcurrido entre los pesajes inicial y final.

Durante los días de cada periodo fue determinado de manera diaria el consumo de heno y suplemento por diferencia entre lo ofertado menos el rechazo 24 horas posterior a la oferta de los alimentos, siendo los alimentos ofrecidos en comederos individuales por animal. Para determinar consumo de cada componente nutricional, se procedió a determinar la concentración de cada nutriente dentro de los alimentos (ver ecuación (1.3).

$$\mathbf{CIN= CAI \times [N]} \quad (1.3)$$

Donde, CIN: cantidad ingerida de nutriente; CAI: cantidad de alimento ingerido en materia seca; [N]: concentración de cada nutriente dentro del alimento con base en la materia seca.

Una vez determinado el consumo de materia seca total, se determinó la conversión alimenticia y eficiencia (ver ecuación (1.4) y (1.5)).

$$CA = (CAI \text{ (MST)} / GMD) \quad (1.4)$$

Donde, CA: conversión alimenticia en Kg/Kg; CAI (MST): cantidad de alimento ingerido en base a la materia seca total en Kg; GMD: ganancia media diaria en Kg.

$$\%EA = ((GMD / CAI \text{ (MST)}) \times 100) \quad (1.5)$$

Donde, EA: eficiencia alimenticia; GMD: ganancia media diaria en Kg; CAI (MST): cantidad de alimento ingerido en base a la materia seca total en Kg.

Para determinar la digestibilidad de cada componente nutricional de la dieta, se utilizó el método de colecta total de heces durante los tres últimos días de cada periodo experimental. Cada 24 horas fueron pesadas las heces de cada animal y establecido el promedio de los tres días de colecta y de las cuatro colectas realizadas durante los cuatro periodos de investigación. Las heces al igual que los alimentos fueron analizadas para determinar la composición bromatológica y poder determinar la digestibilidad de cada nutriente (ver ecuación (1.6)).

$$\%DIG = ((CIN - CEN / CIN) \times 100) \quad (1.6)$$

Donde, %DIG: porcentaje de digestibilidad; CIN: cantidad ingerida de nutriente; CEN: cantidad excretada de nutrientes.

Los tres últimos días de cada periodo experimental fueron destinados a la colecta de muestras de heno, suplemento y heces, las cuales se enviaron de manera inmediata a laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Cundinamarca para posteriores análisis bromatológicos.

5.4. Análisis químico

Las muestras de pasto, suplemento y heces fueron pesadas y llevadas inmediatamente a estufa con circulación forzada de aire Binder® a 55-60°C por 72 horas (INCT-CA G-001/1),

posteriormente fueron molidas a 1 mm en molino de martillo Tecnal TE-330[®] y almacenadas para posteriores análisis de materia seca (MS) (INCT-CA G-003/1), cenizas (Cz) (INCT-CA M-001/1), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) (INCT-CA N-001/1), extracto etéreo (EE) (INCT-CA G-004/1), fibra en detergente neutro (FDN) (INCT-CA F-002/1) y carbohidratos no fibrosos (CNF) según (Detmann *et al.*, 2012) (Ver anexo J).

Una vez determinada la composición nutricional de las materias primas que hacen parte de la dieta, se procedió a determinar la cantidad de nutrientes digestibles totales y el aporte de energía digestible y metabolizable por kilogramo de materia seca, utilizando las ecuaciones propuestas por (Valadares *et al.*, 2016), (ver ecuación (1.7), (1.8) y (1.9)).

$$\text{NDT (kg)} = ((\text{CPB} \times \% \text{DPB}) + ((\text{CEE} \times \% \text{DEE}) \times 2.25) + (\text{CFDN} \times \% \text{DFDN}) + (\text{CCNF} \times \% \text{DCNF})) \quad (1.7)$$

Donde, NDT: nutrientes digestible totales; CPB y DPB: consumo y digestibilidad de proteína; CEE y DEE: consumo y digestibilidad de extracto etéreo; CFDN y DFDN: consumo y digestibilidad de fibra detergente neutro; CCNF y DCNF: consumo y digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos y 2.25: constante que hace referencia al aporte energético más que poseen las grasas en relación a los carbohidratos.

$$\text{ED (Mcal/kg MS)} = ((\% \text{PB} \times 0.056) + (\% \text{EE} \times 0.094) + (\% \text{FDN} \times 0.042) + (\% \text{CNF} \times 0.042)) - 0.322 \quad (1.8)$$

Donde, ED: energía digestible; PB, EE, FDN, CNF: proteína bruta, extracto etéreo, fibra detergente neutro y carbohidratos no fibrosos respectivamente; 0.056, 0.094, 0.042: grados de combustión de cada uno de los componentes nutricionales.

$$\text{EM (Mcal/kg MS)} = (\text{ED} \times 0.9422) - 0.303 \quad (1.9)$$

Donde, EM: energía metabolizable; ED: energía digestible.

Todos los análisis de las muestras se realizaron con su respectiva dupla reportando el valor promedio hasta obtener un coeficiente de variación $>95\%$, a fin de reportar valores correctos con un reducido error experimental.

5.5. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico R Studio V 3.6.1, (2019). Cada variable fue analizada por medio de aplicación de la estadística paramétrica por contrastes ortogonales, donde se diseñaron 3 contrastes: A, B y C (Tabla 3); comparación de medias por Test de Tukey, análisis de varianza de una vía (ANAVA), se comprobó la colinealidad de los datos por ende se hizo uso la metodología de regresión de cuadrados mínimos parciales PLS con el fin de identificar la correlación entre las variables y su grado de significancia sobre una variable dependiente.

Tabla 3. Contrastes ortogonales de los tratamientos.

Tratamiento		Tratamiento	
NS		SP	
B y M	VS	A	
B		M	

NS: No Suplementado; SP: Suplementados B: Bajo; M: Medio; A: Alto. (Fuente: Los autores).

Las correlaciones entre los componentes nutricionales se determinaron gracias a la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS), mediante el paquete estadístico plsdepot con la función plsreg1 de R Studio V 3.6.1 la cual predice el comportamiento de una variable independiente, siendo esta metodología una combinación del análisis de componentes principales y modelos de regresión múltiple cuando el número de predictores son cercanos o más grandes que las

observaciones (Kettaneh, 1991). El modelo PLS (ver ecuación (1.10)) describe la relación entre una matriz Y (variables dependientes) y una matriz X (variables predictoras) expresada como:

$$Y = F(X) + E \quad (1.10)$$

La matriz X se refiere a las variables predictoras y sus cuadrados o términos cruzados si se han agregado. Cuando se agregan cuadrados y términos cruzados a la matriz X, esto corresponde al ajuste de modelos cuadráticos, sumado a esto el error estadístico estándar (de Almeida *et al.*, 2018).

6. Resultados y discusión

6.1. Composición de las materias primas

La composición química del forraje y suplemento ofertado a los bovinos se presentan en la Tabla 4. Si bien algunas de las *Brachiaria* presentan baja concentración de compuestos nitrogenados, la *Brachiaria humidicola* es una de las gramíneas con menor concentración proteica, con valores inferiores a los 50 g PB/kg MS (Reyes *et al.*, 2009) como se reporta en este estudio.

Tabla 4. Composición nutricional del heno y suplemento que conforman la dieta ofertada a bovinos Chino Santandereano en estabulación.

Ítems	Alimento Ofertado	
	Heno	Suplemento
Materia seca, % MN	82.704	87.979
Materia orgánica, % MS	93.480	95.247
Proteína bruta, % MS	4.941	22.450
Extracto etéreo, % MS	1.730	7.748
Fibra detergente neutro, % MS	79.337	30.472
Carbohidratos no fibrosos, % MS	7.470	34.575
Energía digestible, Mcal/Kg-MS	3.763	4.396
Energía metabolizable, Mcal/Kg-MS	3.255	3.853

MN: materia natural; MS: materia seca (Fuente: Los autores).

Carvalho *et al.*, (2017); Moraes *et al.*, (2017) Carvalho *et al.*, (2017) trabajando con *Brachiaria decumbens* encontraron valores proteicos superiores a los nuestros, de 8.1, 8.6, y 8.7 %PB respectivamente. Teniendo en consideración la variación nutricional que hay entre las diferentes gramíneas debido al grado de madurez de la planta, pH, grado de fertilización nitrogenada y/o mineral del suelo, es posible afirmar que la precaria composición nutricional encontrada en la pastura utilizada se debe a una posible baja disponibilidad de materia orgánica

en el suelo que predominan en el trópico colombiano, donde comúnmente se realiza pocos o ningún tipo de acción correctiva.

Cabe resaltar la importancia de la utilización de alimentos balanceados en la dieta de los rumiantes, principalmente por su alto aporte de componentes que pueden integrarse en el metabolismo del animal, esto se recomienda aún más en épocas donde las gramíneas no presentan un aporte composición nutricional adecuado, con alto contenidos de fibra y bajos contenidos no solo de PB como también de EE, CNF, ED y EM, contrario en el alimento balanceado, con menor concentración de fibra y mayor concentración de PB, EE, CNF, ED y EM. De acuerdo a ello, la baja composición proteica de la mayoría de las gramíneas, puede alterar el desempeño de los bovinos criados bajo sistemas de producción extensivos o a solo forraje, la utilización de estrategias nutricionales como la suplementación es la alternativa viable de suministro de nutrientes concentrados en pequeñas cantidades de alimento por su alto contenido de materia seca (Moraes *et al.*, 2017); acorde a este planteamiento se formuló una dieta suplementar con el objetivo de aportar 200g PB/kg MS, entre tanto, esta presentó un contenido ligeramente mayor con un aporte promedio de 224.5g PB/kg MS (Tabla 4).

6.2. Consumo de nutrientes

En la Tabla 5 se observa el consumo de cada uno de componentes nutricionales que hacen parte de la dieta ofrecida a bovinos criollos Chino Santandereano. Mayor consumo de MSS, PB, EE y CNF se observó a medida que aumentó el grado de suplementación ($P < 0.05$) (Figura 7), para el consumo de materia seca de heno (CMSH) no presentó diferencia significativa entre los tratamientos suplementados y no suplementados ($P > 0.05$), siendo menor en el tratamiento ALTO cuando contrastados con BAJO y MEDIO.

Tabla 5. Consumo diario de los componentes nutricionales presentes en la dieta ofrecida a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación.

Ítems	Tratamientos				SEM	Valor <i>P</i>		
	NS	Suplementados				A	B	C
		BAJO	MEDIO	ALTO				
CMST (Kg)	6.93	9.03	9.73	10.30	0.525	<0.001	0.179	0.367
CMSH (Kg)	6.93	7.42	6.59	5.76	0.410	0.487	0.029	0.177
CMSS (Kg)	0.00	1.61	3.14	4.53	0.205	<0.001	<0.001	<0.001
CMO (Kg)	6.48	8.48	9.16	9.71	0.534	0.001	0.197	0.392
CPB (Kg)	0.34	0.72	1.02	1.29	0.047	<0.001	<0.001	<0.001
CEE (Kg)	0.12	0.25	0.35	0.44	0.030	<0.001	0.001	0.034
CFDN (Kg)	5.52	6.39	6.19	5.96	0.429	0.204	0.544	0.753
CCNF (Kg)	0.49	0.89	1.57	2.00	0.184	<0.001	0.005	0.022
CNDT (Kg)	4.36	6.08	7.12	7.69	0.495	<0.001	0.097	0.164
CEM (Mcal)	22.58	30.42	33.57	36.25	1.890	<0.001	0.090	0.262
CED (Mcal)	26.10	35.07	38.62	41.65	2.166	<0.001	0.095	0.269

CMST: consumo de materia seca total; CMO: consumo de materia orgánica; CPB: consumo de proteína bruta; CEE: consumo de extracto etéreo; CFDN: consumo de fibra en detergente neutra; CCNF: consumo de carbohidratos no fibrosos; NS: animal no suplementado; BAJO: animal suplementado al 0,5% de su peso vivo; Medio: animal suplementado al 1,0% de su peso vivo ; Alto: animal suplementado al 1,5% de su peso vivo ;SEM: error estándar de la media; A: suplementado Vs no suplementado; B: Bajo y Medio Vs Alto; C: Bajo Vs Medio. Valor P <0,05 denota diferencia estadística entre los tratamientos evaluados (Fuente: Los autores).

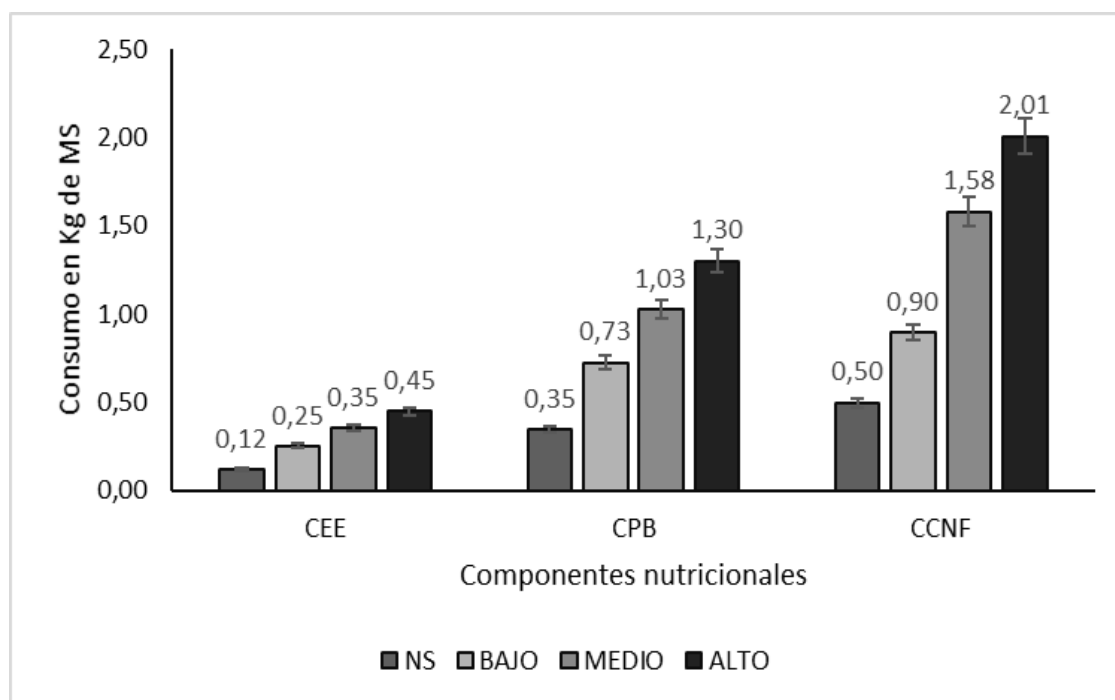


Figura 7. Consumo de EE, PB, y CNF con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).

Animales suplementados presentaron mayor consumo de MST, MO, NDT, ED y EM cuando se compararon con los no suplementados ($P < 0.001$), sin diferencia entre los tratamientos suplementados ($P > 0.05$). Para la variable CFDN no se observó diferencia entre los grados de suplementación evaluados y/o contrastados ($P > 0.05$). El CMST mostró un incremento del 30.3% (2.1kg) al utilizar el nivel de suplementación BAJO (Figura 8) en relación al tratamiento NS con un consumo de 9.03 kg MS similar a lo reportado por Gaviria *et al.*, (2015) y Carvalho *et al.*, (2017) con valores de 7.66 y 8.09 kg MS respectivamente; este resultado puede ser explicado tal vez como efecto aditivo (por la suplementación aumentar el CMST) con estímulo (por la suplementación promover aumento en el consumo de MSH) (Riquelme & Pulido, 2008), ya que el aporte adecuado de nutrientes promueve de manera encadenada el aumento en la población de microorganismos ruminales, degradación de la fibra, aumento en la tasa de pasaje e incremento en el consumo (Tabla 5, Figura 8).

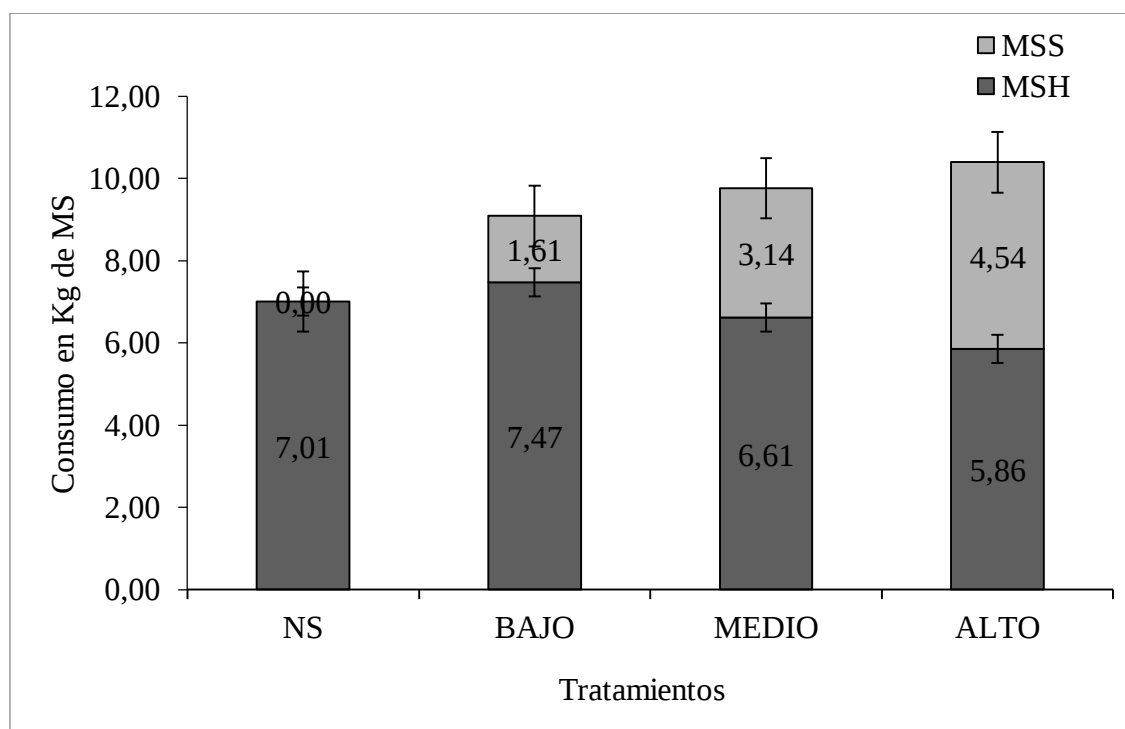


Figura 8. Consumo de materia seca de suplemento y materia seca de heno con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).

Es de aclarar que los grados de suplementación más elevados están generando tendencia a efecto aditivo (puesto que la suplementación aumenta el CMST) sustitutivo (puesto que la suplementación genera reducción en el consumo de MSH) (Figura 8) siendo probable que grados de suplementación superiores a los evaluados en este estudio podrían motivar reducción en el consumo de materia seca de heno o forraje. El CMO del tratamiento no suplementado fue 6.48 kg, resultados similares fueron reportados por (Lopes *et al.*, 2017) obteniendo consumos de 5.68 y 6.38 kg MO respectivamente. Es evidente el aumento en el consumo de MO, NDT, ED y EM en animales que recibieron suplemento, lo cual puede ser explicado porque este alimento presenta mayor concentración de los componentes nutricionales previamente descritos.

Los resultados para CMSH obtenidos concuerdan con lo reportado por (da Silva *et al.*, 2018) con valores de 6.76 y 7.82 Kg/MS pero difiere de los resultados expuestos por Gekara, (1999); French *et al.*, (2001) Lopes *et al.*, (2017; de Almeida *et al.*, 2018) explicándose este comportamiento en que gran parte de la materia seca que el animal debe consumir diariamente, es reemplazada por la contenida en el alimento concentrado.

El CEE del tratamiento NS fue de 120g EE/día que aumenta a razón de 2.08, 2.92 y 3.67 veces con consumos de 250, 350, y 440 g EE/día para los animales con los niveles de suplementación BAJO, MEDIO y ALTO, respectivamente; de igual forma en las investigaciones de Gaviria *et al.*, (2015) y de Almeida *et al.*, (2018) se presenta diferencia significativa entre los tratamientos suplementados y no suplementados, con consumos para los tratamientos control de 80 y 290 g EE/día que incrementaron a 110 y 370 g EE/día, respectivamente cuando recibieron suplementación, estos resultados difieren con otros autores (da Silva *et al.*, 2018) que no evidenció diferencia estadística ($P > 0.05$) para el consumo de esta variable pasando de 160 g EE/día en el tratamiento control a 170 g EE/día al emplear suplementación proteica, debido a que

el forraje y el suplemento ofertado poseían una composición nutricional similar en cuanto al contenido de grasa, sin presentar diferencia estadística ($P>0.05$).

Con relación al consumo de fibra en detergente neutro (CFDN), la suplementación podría modificar el consumo de fibra basado en dos teorías, (Santini, 2014)¹) La suplementación aporta nutrientes que propician aumento poblacional de las bacterias fibrolíticas, generando mayor degradación de la fibra, mayor tasa de pasaje y mayor consumo de alimentos fibrosos y 2) la suplementación en grandes cantidades puede sustituir el consumo de forrajes y por ende disminuir el consumo de fibra. En el presente estudio la suplementación no presentó aumento de fibra por no generar incremento en el CMSH, siendo el principal alimento fibroso presente en la dieta. De igual manera en los trabajos realizados por Gaviria *et al.*, (2015) Moraes *et al.*, (2017; da Silva *et al.*, (2019), no se observó diferencia en el consumo de FDN ($P>0,05$) entre los diferentes tratamientos. Si bien, el consumo de concentrado puede generar efecto sustitutivo al consumo de heno y consecuentemente disminuir el consumo de fibra proveniente del heno, cabe resaltar que el concentrado también aporta fibra. Aunque en menor concentración de FDN, el reemplazo de grandes cantidades de MSS por baja cantidad de MSH puede explicar la relación equilibrada que se observó en el consumo de FDN a pesar de la tendencia hacia la reducción en el consumo de MSH en los tratamientos MEDIO y ALTO.

6.3. Digestibilidad de nutrientes

Mayor digestibilidad de MS, MO, PB, y EE fue encontrada en animales suplementados cuando se contrastaron con no suplementados ($P<0.05$) como se muestra en la Figura 9, sin diferencia entre los tratamientos suplementados (BAJO, MEDIO y ALTO) ($P>0.05$). Para la variable DCNF, mayor digestibilidad fue encontrada en animales suplementados cuando

comparados con no suplementados, siendo mayor la digestibilidad para el tratamiento MEDIO cuando se contrastó con BAJO ($P < 0.05$). No se observó diferencia en la DFDN entre los diferentes tratamientos para los contrastes evaluados ($P > 0.05$) (Tabla 6).

Tabla 6. Digestibilidad de los componentes nutricionales en dietas ofrecidas a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación.

Ítems	Tratamientos				SEM	Valor <i>P</i>		
	NS	Suplementados				A	B	C
		BAJO	MEDIO	ALTO				
DMS (%)	64.20	69.83	73.18	72.76	2.771	0.032	0.717	0.408
DMO (%)	65.41	71.25	73.89	73.78	2.529	0.023	0.703	0.474
DPB (%)	55.15	69.85	76.10	75.43	3.291	<0.001	0.553	0.203
DEE (%)	49.82	69.78	80.11	79.79	5.531	0.001	0.488	0.213
DFDN (%)	65.72	69.78	67.92	67.46	2.869	0.437	0.699	0.655
DCNF (%)	67.25	76.34	94.90	92.40	5.553	0.007	0.338	0.035

DMS: digestibilidad de materia seca; DMO: digestibilidad de materia orgánica; DPB: digestibilidad de proteína bruta; DEE: digestibilidad de extracto etéreo; DFDN: digestibilidad de fibra en detergente neutro; DCNF: digestibilidad de carbohidratos no fibrosos; NS: animal no suplementado; BAJO: animal suplementado al 0,5% de su peso vivo; Medio: animal suplementado al 1,0% de su peso vivo ; Alto: animal suplementado al 1,5% de su peso vivo ; SEM: error estándar de la media; A: suplementado Vs no suplementado; B: Bajo y Medio Vs Alto; C: BAJO Vs MEDIO. Valor P <0,05 denota diferencia estadística entre los tratamientos evaluados (Fuente: Los autores).

Para la variable DMS, (Da Silva *et al.*, 2019) en su investigación reporta resultados muy similares a las observadas en el presente estudio, encontrando una digestibilidad de la materia seca de 64.6% en animales no suplementados que aumentó a 69.8%DMS al emplear suplementación; valores más bajos son reportados por: Gaviria *et al.*, (2015); Figueiras *et al.*, (2016; Moraes *et al.*, (2017; Da Silva *et al.*, (2018; da Silva *et al.*, (2019), donde los animales no suplementados obtuvieron digestibilidades de, 52.9, 53.5, 61.1, 56.3 y 48.7%, presentando diferencia significativa ($P < 0.05$) al emplear la suplementación alcanzando digestibilidades de 60.7, 60.0, 62.9, 67.5 y 59.0 % respectivamente. Este comportamiento puede ser explicado gracias al suplemento concentrado aportar gran cantidad de nutrientes (PB, EE y CNF

principalmente) que poseen un mayor grado de solubilidad, además de que mayor concentración de estos elementos nutritivos a nivel ruminal estimulan la acción fermentativa de las bacterias dando como resultado mayor grado de digestibilidad, diferente de la respuesta generada a partir de la proteína y demás nutrientes contenidos en los forrajes de baja calidad, no solo por la baja concentración de estos nutrientes en el pasto, sino también por la elevada concentración de proteína adheridas a fibras (PIDA) normalmente presente en los forrajes con elevadas concentraciones de fibra.

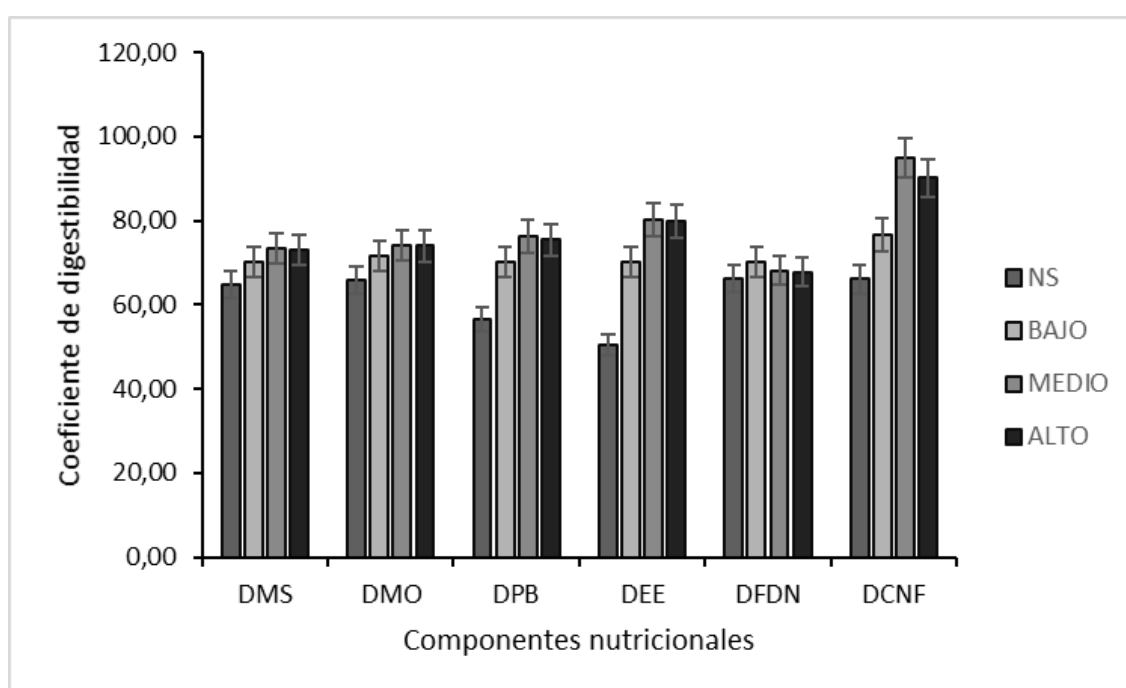


Figura 9. Digestibilidad de la MS, MO, PB, EE, FDN y CNF del ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).

Para la DMO se presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) al emplear suplementación pero con un efecto más bajo en las investigaciones realizadas por Carvalho *et al.*, (2017); Lopes *et al.*, (2017); de Almeida *et al.*, (2018); da Silva *et al.*, (2019), donde los tratamientos control obtuvieron valores de 51.1, 59.3, 50.2 y 54.3% y reportando valores de 62.4, 64.1, 63.4 y 66.7 % al suplementar; en contraste, Da Silva *et al.*, (2019) no observó diferencia significativa ($P > 0.05$)

en su investigación reportando una digestibilidad de la MO de 66.8% en los animales control que aumento a 67.1% al suplementar.

Para la digestibilidad de la PB, efecto similar se evidenció ($P < 0.05$) en las investigaciones llevadas a cabo por Carvalho *et al.*, (2017); Moraes *et al.*, (2017; Lopes *et al.*, (2017; da Silva *et al.*, (2018; de Almeida *et al.*, (2018; da Silva *et al.*, (2019) reportando digestibilidades de 50.1, 51.0, 63.7, 50.4, 53.9 y 44.2 % para los tratamientos no suplementados que cambio a 64.3, 67.2, 68.4, 58.8, 61.0 y 70.5 % al incluir la suplementación, respectivamente.

El aumento de la digestibilidad de la proteína se debió que suplementación proteico-energética se ha asociado con mejoras en el estado del N metabólico en el organismo. Este comportamiento este respaldado por la asociación positiva de la concentración de proteína en el suplemento y la concentración de nitrógeno amoniacal ruminal (NAR), lo que indica mayor disponibilidad de sustratos nitrogenados para el crecimiento microbiano, mayor digestibilidad y producción de ácidos grasos volátiles (AGV's). El uso de la energía y proteína en la dieta se representa como un sistema integrado en el rumen, se entiende que la suplementación resulta en la asimilación microbiana mejorada del nitrógeno del forraje, disminuyendo las pérdidas de N por difusión; la concentración de nitrógeno amoniacal ruminal favorece la transferencia de nitrógeno para el torrente sanguíneo, viéndose estimulado por el aumento en la cantidad de materia orgánica digerida en el rumen (Figueiras *et al.*, 2016).

Para la digestibilidad del extracto etéreo, Lopes *et al.*, (2017) no halló diferencia estadística ($P > 0.05$) entre suplementados y no suplementados, reportando digestibilidad de 82.51% para el tratamiento control y 84.17% para animales suplementados, este resultado puede explicarse debido a que la suplementación que emplearon en esta investigación no poseía un alto contenido

de grasas, esto debido a las materias primas utilizadas para el balanceo de la ración, la cual se enfocó netamente en el aporte de proteína bruta.

Para la variable DFDN, nuestros resultados indican que el grado de suplementación no tiene un efecto en el aprovechamiento de los componentes de la pared celular. En contraste, Moraes *et al.*, (2017) halló diferencia estadística ($P < 0.05$) al evidenciar un aumento de 53.1% a 67.8% en la DFDN cuando se empleó suplementación; debido a que en su estudio altos niveles de proteína estimularon la competencia por nutrientes a nivel ruminal pudiendo generar un aumento en la población de bacterias fibrolíticas y teniendo un mejor aprovechamiento de esta fuente de carbohidratos.

Con respecto a los CNF la fuente de hidratos de carbono del alimento influye sobre la cantidad y la relación de AGV producidos en el rumen. La población microbiana del rumen genera aproximadamente 65% ácido acético, 20% ácido propiónico y 15% ácido butírico cuando la ración contiene una alta proporción de forrajes. Asimismo, estas biomoléculas presentes en muchos concentrados promueven la producción de ácido propiónico mientras los carbohidratos fibrosos que se encuentran principalmente en forrajes estimulan la producción de ácido acético en el rumen. Además, los carbohidratos no fibrosos rinden más AGV porque son fermentados con mayor velocidad y eficacia (Ureña, 2017), por mencionar algunas especies de importancia que realizan esta acción degradativa enzimática se encuentran *Bacteroides amylophilus*, *Succinomonas amylolítica*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Lachnospira multiparus* y *Bacteroides ruminicola* que ejercen la catálisis de los carbohidratos mediante reacciones bioquímicas de hidrólisis y oxido-reducción principalmente.

El aumento en la digestibilidad de los CNF (Figura 9) puede deberse a que la suplementación generó un posible ambiente ruminal que favoreció el crecimiento de las bacterias amilolíticas,

además de que la mayor concentración de energía permitió una elevada y rápida tasa de degradación efectuada por las bacterias ruminales, investigaciones similares realizadas por Carvalho *et al.*, (2017) y da Silva *et al.*, (2018) al igual que este estudio reportaron diferencia altamente significativa ($P < 0.01$), donde los tratamientos control presentaron 50.5 y 57.7% de DCNF que paso a ser de 65.4 y 70.3% al incluir la suplementación en la dieta de los animales evaluados.

6.4. Desempeño

Mayor peso final, GMD, ganancia de peso, CA y EA ($P < 0.05$) fue observada en animales suplementados cuando contrastados con no suplementados, sin diferencia entre los tratamientos suplementados (BAJO, MEDIO y ALTO) (Tabla 7).

Tabla 7. Desempeño con base a dietas ofrecidas a bovinos criollos Chino Santandereano en estabulación con diferentes niveles de inclusión de suplemento.

Ítems	Tratamientos				SEM	Valor <i>P</i>		
	NS	Suplementados				A	B	C
		BAJO	MEDIO	ALTO				
Peso inicial	390.50	377.80	371.80	370.80	16.55	0.389	0.847	0.802
Peso final	373.41	465.13	481.46	497.90	20.07	<0.001	0.336	0.575
GMD	-169.20	864.60	1085.80	1258.50	113.16	<0.001	0.063	0.191
Ganancia de peso	-17.09	87.33	109.66	127.10	11.42	<0.001	0.063	0.191
CA	73.29	11.34	9.35	8.38	14.92	0.004	0.915	0.926
EA	0.02	0.09	0.11	0.12	0.01	<0.001	0.353	0.437

PI: Peso inicial (kg); PF: Peso final (kg); GMD: Ganancia media diaria (gr/día); GP: Ganancia de peso (GP); CA: Conversión alimenticia; EA: Eficiencia alimenticia (%); NS: animales no suplementados; BAJO: animales suplementados con 0.5% de su peso vivo; MEDIO: animales suplementados con 1,0% de su peso vivo; ALTO: animales suplementados con 1,5% de su peso vivo; SEM: error estándar de la media; A: suplementados Vs no suplementados; B: BAJO y MEDIO Vs ALTO; C: BAJO Vs MEDIO. Valor $P < 0.05$ denota diferencia estadística entre los tratamientos evaluados. (Fuente: Los autores).

El desempeño productivo animal es el reflejo de la cantidad de nutrientes disponibles metabólicamente en sangre para ser utilizados en procesos anabólicos en cada uno de los tejidos componentes que hacen parte del organismo animal, entre estos procesos se encuentran: la glucólisis y reacciones fermentativas que degradan polisacáridos a monosacáridos, la beta-oxidación de las grasas a ácidos grasos y la desaminación oxidativa de las proteínas a aminoácidos dan como resultado entre otras moléculas el acetil-CoA, que mediante el ciclo del ácido cítrico produce energía en forma de GDP y por otro lado, moléculas de FADH₂ y NADH que podrán ser utilizadas en la cadena de transporte de electrones para la producción de ATP. Los animales en pastoreo normalmente están expuestos a periodos de restricción alimenticia debido a la baja disponibilidad y calidad de las gramíneas en épocas de sequía, generando bajos desempeños y en condiciones más adversas genera pérdida de peso (Figura 10).

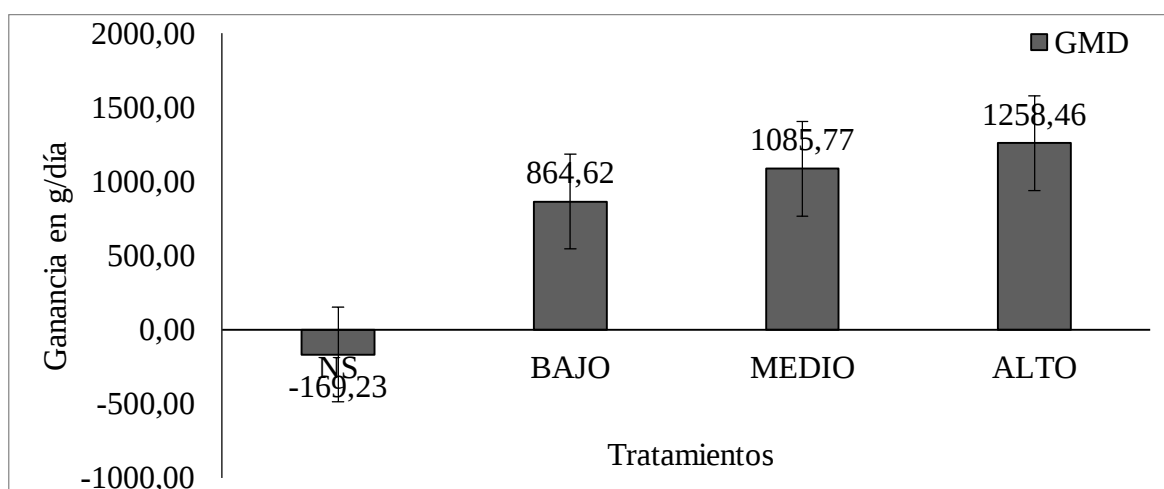


Figura 10. Ganancia media diaria con diferentes niveles de suplementación en ganado criollo Chino Santandereano. Fuente (Los autores).

Este evento se puede explicar por los resultados negativos observados en animales no suplementados, al ser estos alimentados con gramíneas de baja calidad nutricional y aporte proteico a los requerimientos nutricionales para obtener un performance óptimo, en este trabajo

se puede corroborar por la diferencia existente en el CPB entre animales suplementados y no suplementados. Es de resaltar que no solo es relevante el consumo de nutrientes sino también el grado de aprovechamiento (digestibilidad), que repercutirá en la cantidad de nutrientes en forma metabolizable disponibles para procesos anabólicos principalmente de los tejidos que hacen parte de los componentes canales (músculo, hueso y grasa). Mayor desempeño puede ser explicado igualmente en animales en los diferentes grados de suplementación por generar mayores digestibilidades de la MS, MO, PB, EE y CNF, dejando disponible mayor cantidad de energía y proteína metabolizable. Se puede afirmar que la suplementación proteico-energética mejora el desempeño productivo, maximizando la diferencia con animales no suplementados cuando estos últimos son alimentados con pasturas de baja calidad como ocurrió en este estudio. En las investigaciones realizadas por : de Bruyn, (1995; Moraes *et al.*, (2017; Lopes *et al.*, (2017; Carvalho *et al.*, (2017); de Almeida *et al.*, (2018) animales no suplementados obtuvieron ganancias de peso positivas (661, 396, 650, 720 y 140 g/día), soportando los resultados en la calidad del forraje, superior al empleado en nuestra investigación por lo cual se dio pérdida en el peso vivo de los animales NS; independientemente de las ganancias de pesos positivas, la suplementación generó mayores desempeños con valores de 811, 887, 794, 920 y 1730 g/día, respectivamente ($P < 0.05$).

Moore, Bowman, & Kunkle, (1995; Lopes *et al.*, (2017; Moraes *et al.*, (2017; de Almeida *et al.*, 2018; da Silva *et al.*, (2018; da Silva *et al.*, (2019;) describen el desempeño como respuesta al grado de ingestión proteica, nutriente deficiente en la mayoría de las pasturas, reportando valores de 1750, 750, 820, 580, 920, 1300 y g PB/día al ofertar alimento balanceado en la dieta de los animales; estas cantidades de proteína diaria proveen al animal la capacidad de generar un aumento de peso.

En cuanto a la CA y EA, si bien los animales suplementados presentaron mayor CMST, cuando contrastado dicho consumo con la GP y/o GMD, animales suplementados consumen menor cantidad de MS por cada unidad de peso vivo obtenido, siendo a la vez más eficientes en la transformación y aprovechamiento de los componentes nutricionales en la dieta ofrecida.

Algunos autores como Loughlin (2013); Bustamante (2015) y Trujillo (2015) describen la CA y EA inherente a la capacidad genética de cada individuo cuando hacen parte de un mismo tratamiento o sometidos a la misma oferta de nutrientes, entre tanto, cuando sometidos a aportes nutricionales diferentes como el caso del presente estudio, la CA y EA pasan a ser dependientes de la cantidad y calidad de los nutrientes ingeridos, dato que puede ser corroborado al observar mayor consumo y digestibilidad de la gran mayoría de los nutrientes evaluados para animales suplementados.

Estas cifras de conversión y eficiencia alimenticia indican un mayor aprovechamiento del alimento ofrecido en la dieta necesitando una menor cantidad de alimento consumido para transformarlo en tejidos entendido como un aumento en el peso vivo del animal, se presenta en esta variable un valor inconmensurable para el tratamiento no suplementado debido a que la cantidad de proteína en el heno y tasa de consumo animal no son suficientes para suplir con su demanda nutricional generando pérdidas de peso, mientras que al añadir el suplemento a la dieta, aún en pequeñas proporciones por su alto contenido nutricional, compensando las deficiencias nutricionales del forraje y además incrementa la digestibilidad de la mayoría de sus componentes, generando un efecto positivo en el aprovechamiento de materia prima, que se ve reflejado en el incremento de peso en el animal, similar a lo reportado por Barahona & Sánchez (2005) donde señalan que cuando la calidad del forraje es baja, una deficiencia en la ingesta de proteínas puede limitar la utilización y el consumo de materia seca: sin embargo, el suministro

adicional de proteína a los animales que consumen forraje de baja calidad puede aumentar la ingesta de materia seca del forraje dependiendo de la relación energía/proteína.

6.5. Correlaciones entre las variables evaluadas

Se realizaron cuatro análisis de correlaciones teniendo como variables independientes el consumo de materia seca de heno, de suplemento, total (CMSH, CMSS, CMST) y la ganancia media diaria de peso (GMD), siendo el consumo y la digestibilidad de los componentes nutricionales, variables predictoras en el modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales con el propósito de determinar el grado de asociación que existe entre las variables y su grado de significancia. El CMSH presento el 82.30 % de la varianza explicada en dos componentes, la Figura 11 muestra las cargas para el modelo, donde las variables latentes representan un 73.85% por el componente 1 y 8.45% por el componente 2.

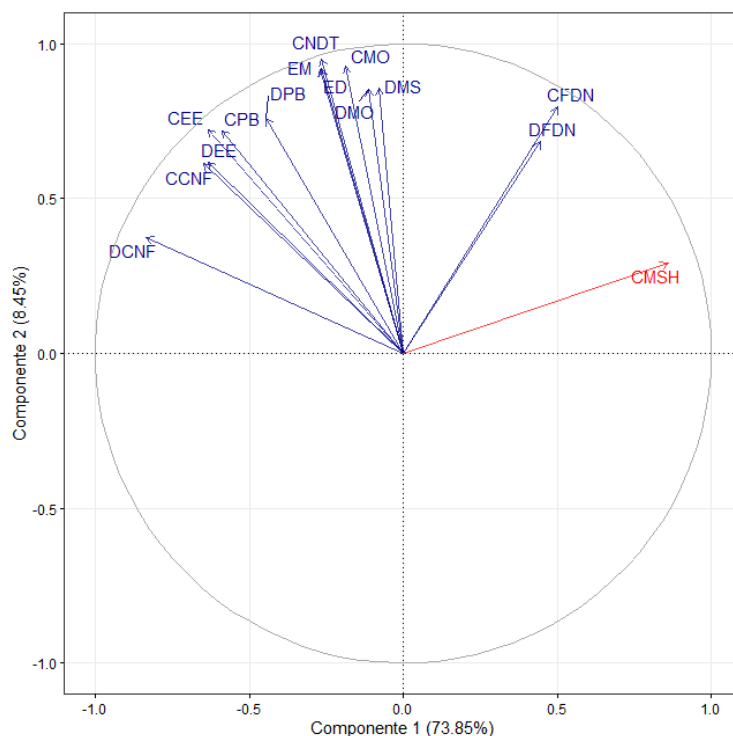


Figura 11. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMSH como variable independiente. Fuente:(Los autores).

Se evidenció una correlación positiva ($r > 0.60$) y significativa ($P < 0.05$) entre CFDN y DFDN con CMSH, Las dos variables se ubicaron en el primer componente y podría explicarse teniendo en cuenta que a mayor consumo de heno el consumo de fibra aumenta, teniendo como base el alto contenido de FDN observado en el heno, lo cual puede ejercer presión sobre la actividad degradativa de las bacterias fibrolíticas. Si bien no fue encontrada diferencia entre los tratamientos evaluados con relación a DFDN, mayor consumo de heno tiende a aumentar la digestibilidad de la FDN como observado para el tratamiento BAJO, y explicado por la correlación positiva encontrada entre el CMSH y la DFDN, generando un efecto en el crecimiento poblacional y actividad de las bacterias fibrolíticas.

El CMSH presentó una correlación negativa con las variables de consumo y digestibilidad de los demás componentes nutricionales de la dieta (Figura 11, Tabla 8), esto se explica principalmente al bajo contenido de componentes altamente degradables y contenido excesivo de fibra en el forraje ofertado; se dio una alta correlación negativa ($r > -0.75$) con las variables CPB, CEE, CCNF, DPB, DEE y DCNF con CMSH presentando diferencia significativa ($P < 0.05$). Correlación media y negativa ($r < -0.50$) entre las variables energéticas NDT, ED y EM, con CMSH donde NDT y EM presentaron diferencia estadística ($P < 0.05$). Las variables con una correlación baja ($r < 0.40$) fueron CMO, DMS y DMO. Al ser la MS y MO constituidas por los componentes nutricionales mencionados previamente (PB, EE, FDN y CNF), la baja correlación puede explicarse como efecto del reflejo acumulativo de la mayoría de los nutrientes que las componen.

De acuerdo con los resultados para la variable CMSS se observó que las varianzas de los datos fueron explicadas en un 95.53% en dos componentes. La Figura 12 muestra las

correlaciones entre las variables de estudio donde las variables latentes distribuidas en los componentes se representan en 83.85% y 11.68% respectivamente.

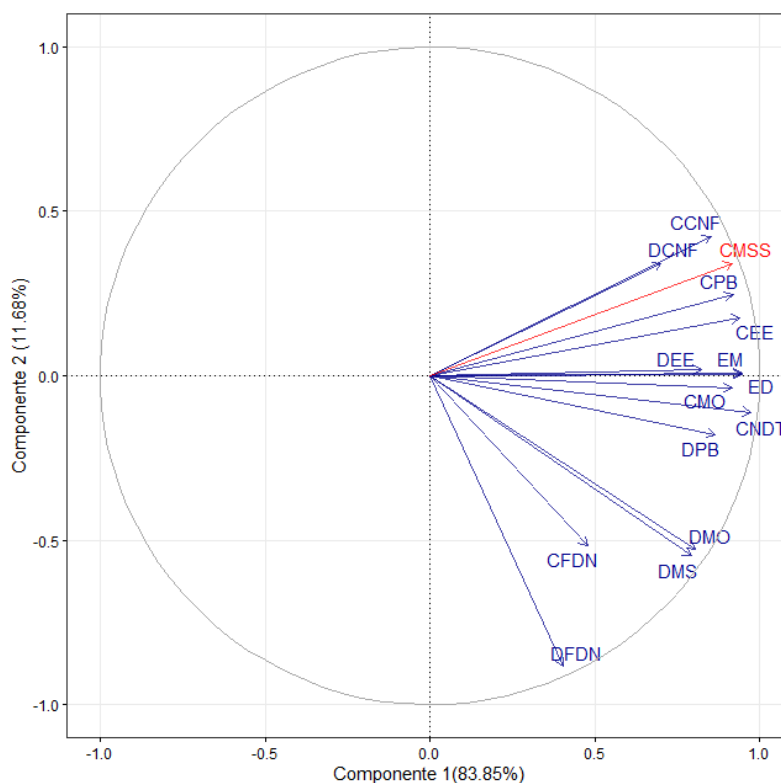


Figura 12. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMSS como variable independiente. Fuente: (Los autores).

Las variables CMO, CPB, CEE, CCNF, CNDT, ED, EM, DEE y DCNF presentaron correlación positiva ($r > 0.60$) y diferencia significativa ($P < 0.05$) (Figura 11, Tabla 7). Estos resultados permiten corroborar los efectos positivos que posee la suplementación sobre el consumo y la digestibilidad de los componentes nutricionales de naturaleza no fibrosa, gracias a al aporte de nutrientes vía suplemento como reflejo de la elevada concentración de componentes al interior de este, entre tanto, se observó una correlación media ($r > 0.4$) con DPB sin presentar diferencia estadística ($P > 0.05$).

De acuerdo con los resultados para la variable CMST se observó que las varianzas de los datos fueron explicadas en un 98.73% en dos componentes. La Figura 13 y la Tabla 10 muestran las correlaciones entre las variables de estudio donde las variables latentes distribuidas en los componentes se representan en 89.54% y 9.19% respetivamente.

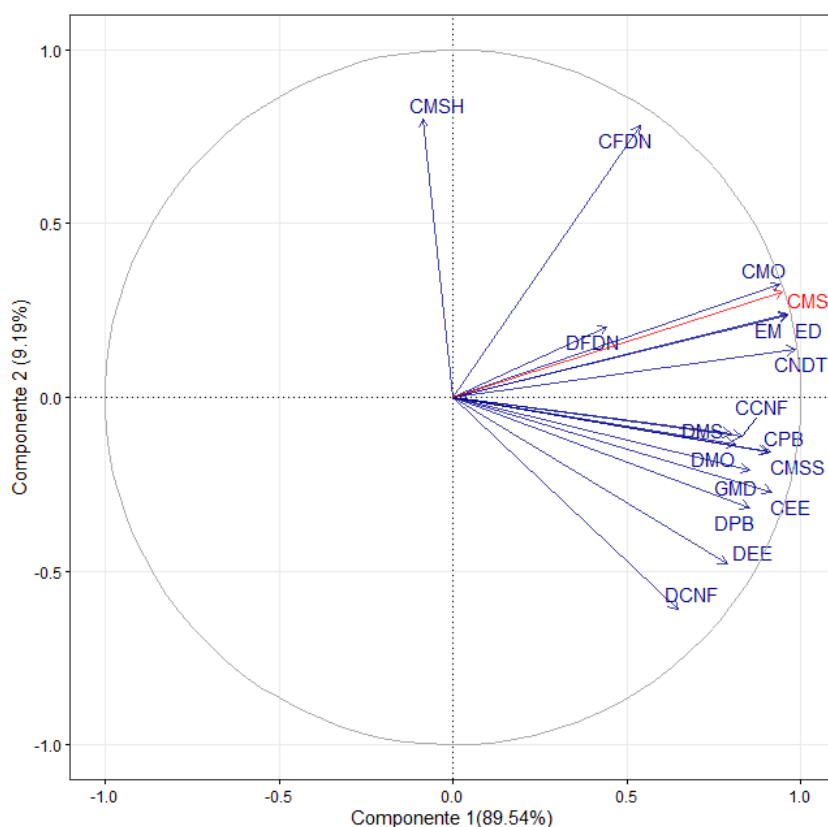


Figura 13. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con CMST como variable independiente. Fuente: (los autores).

Se presentó una correlación positiva alta ($r > 0.75$) con las variables CMSS, CMO, CPB, CEE, CCNF, CNDT, ED, EM y el CMST presentando diferencia altamente significativa ($P < 0.001$). Estas correlaciones son reflejo del efecto aditivo del CMSS sobre el CMS, aportando el suplemento no solo MS como PB, EE, CNF, ED y EM. Se evidenció además correlación media y positiva ($r > 0.40$) entre DPB, DEE, DCNF y el CMST, con diferencia altamente significativa para

la digestibilidad de la proteína; hubo una correlación baja y positiva ($r < 0,4$) con las variables CFDN, DMS, DMO sin presentar diferencia estadística ($P > 0.05$).

Correlación baja y negativa ($r < -0,3$) se presentó entre las variables CMSH y DFDN con el CMST sin diferencia significativa ($P > 0.05$); por ende, es posible afirmar que el consumo en gran cantidad de heno por parte de los semovientes es limitante de un rendimiento metabólico adecuado al recudir drásticamente el consumo de materia seca por parte del animal debido al llenado gástrico que produce una dieta con una elevada concentración de fibra (principalmente de baja calidad) sin ser capaz de suplir los requerimientos proteico-energéticos y de algunos elementos traza en el rumiante a fin de conseguir la ganancia de peso deseada y por la genética, principalmente esto se presenta por la baja actividad de las bacterias ruminales que no obtienen la energía y proteína suficiente de la dieta para degradar el alto contenido de carbohidratos fibrosos.

De acuerdo al análisis se encontró que el 78.58% de la varianza en la GMD se vio explicada en dos componentes, la figura 12 muestra los puntajes para el modelo, donde las variables latentes representan un 74.72% por el componente 1 y otro 3.86% por el componente 2.

Correlación muy alta y positiva ($r > 0.75$) fue observada para las variables CMSS, CPB, CEE, CCNF, CNDT, ED, EM, DPB, DEE y DCNF con la GMD, presentando diferencia altamente significativa ($P < 0.001$), este efecto puede ser explicado en el aumento y aprovechamiento de los componentes nutricionales presentes en el alimento propiciando síntesis de tejidos traducida en ganancia de peso; además se presentó correlación media ($r > 0,5$) con las variables DMS y DMO al correlacionar con GMD (Figura 14 y Tabla 11) sin presentar diferencia estadística ($P > 0.05$).

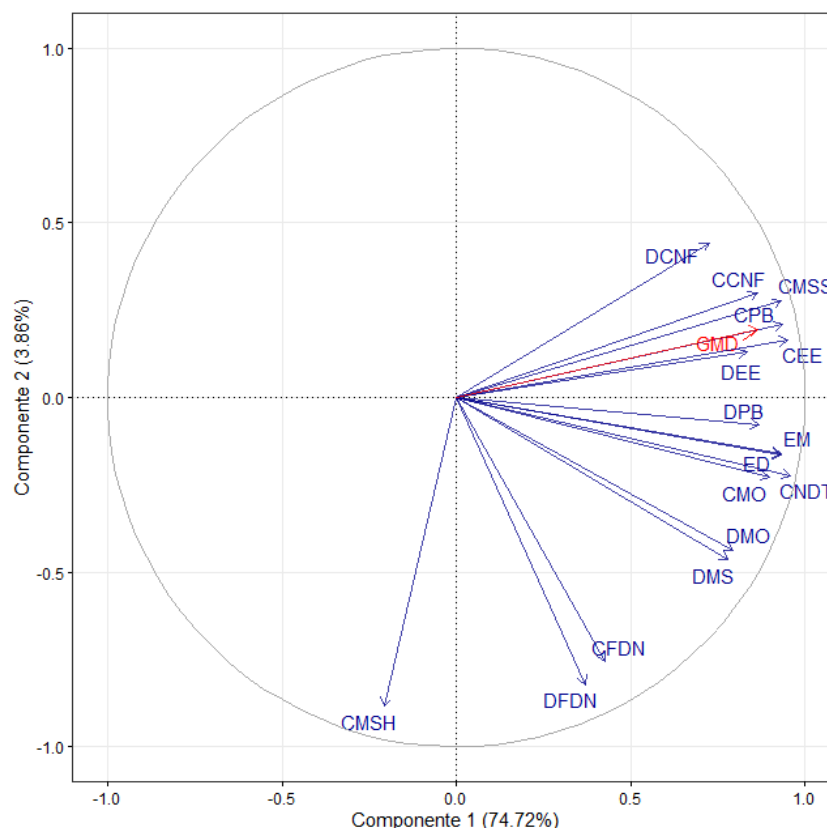
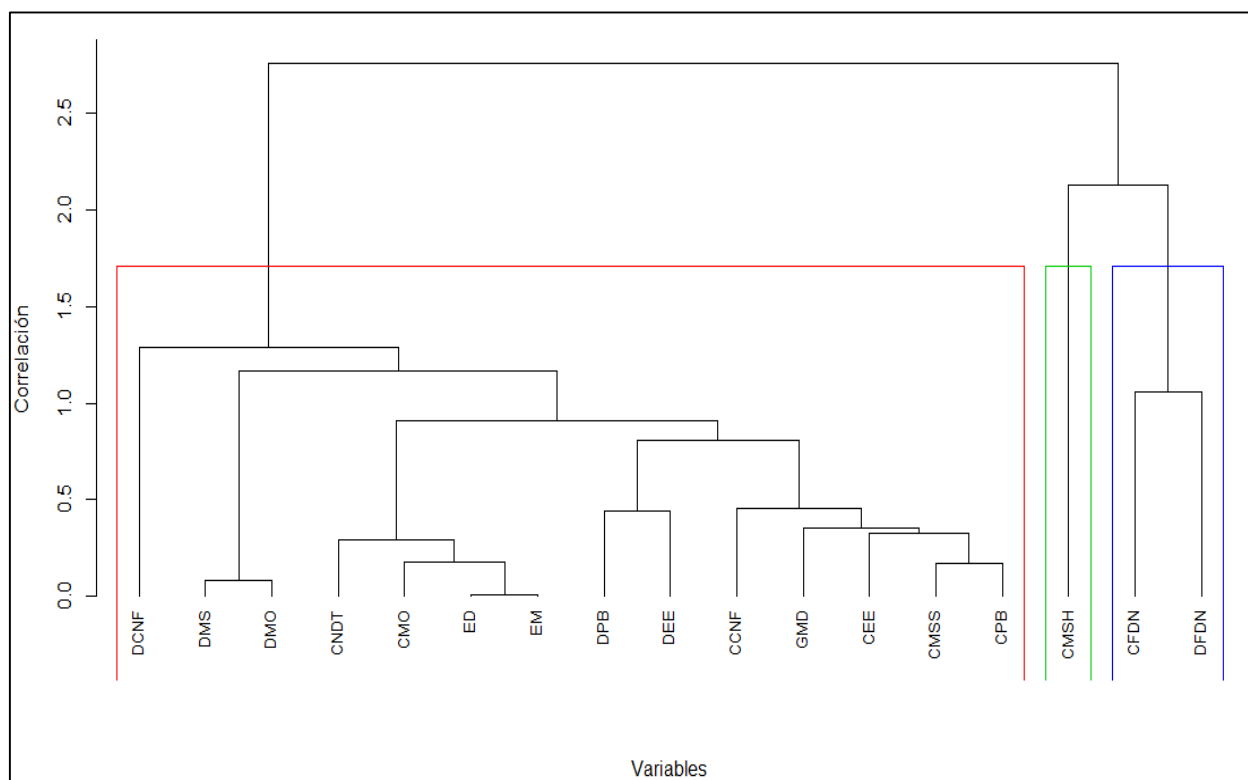


Figura 14. Correlaciones entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales, con GMD como variable independiente. Fuente (los autores).

Correlación media y negativa ($<-0,4$) se presentó con el CFDN y DFDN con la GMD presentando diferencia significativa ($P<0.05$) y correlación muy alta y negativa ($<-0,75$) se da con la variable de CMSH y GMD con una diferencia altamente significativa ($P<0.001$); esto indica que el consumo de forraje de baja calidad tal vez con alta concentración de lignina en la FDN y elevada concentración de proteínas adheridas a fibra (PIDA) limita la ganancia media diaria en los animales de producción (Tabla 7), esto puede explicarse debido a que el aumento de la ingesta de alimentos fibrosos en la dieta genera una sensación de llenado afectando el consumo de materia seca total y limitando la disponibilidad de nutrientes y consecuentemente, el desempeño animal.

A manera de síntesis, la Figura 13 ilustra la agrupación y correlación de las variables en estudio, siendo posible interpretar que la GMD se encuentra influenciada en gran medida por los componentes del clúster 1 y en mayor parte por las variables de consumo (CPB, CMSS, CCNF y CEE) reiterando nuevamente su importancia en la alimentación animal; en contraparte, los clúster 2 y 3 contienen a las variables menos asociadas con la ganancia media diaria y correlacionadas negativamente con la variable de desempeño; estos dos cuadrantes limitaron el potencial metabólico del rumiante, pues el clúster 2 correspondiente al CMSH impidió el consumo adecuado de los nutrientes mencionados para la generación de tejido a manera de ganancia de peso, debido principalmente a su carencia de componentes nutritivos en el forraje suministrado, que al presentar en su composición altos contenidos de fibra y carencia energético-proteica, impide la correcta degradación de la MS a nivel ruminal.



Clúster 1: variables del cuadrante rojo; Clúster 2: variables del cuadrante verde; Clúster 3: variables del cuadrante azul.

Figura 15. Clúster de correlación para las variables en estudio. Fuente (Los autores).

Tabla 8. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca de heno. Fuente (Los autores).

Ítems	CMSH	CMO	CPB	CEE	CFDN	CCNF	CNDT	ED	EM	DMS	DMO	DPB	DEE	DFDN	DCNF
CMSH	1	0.161	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.031	0.053	0.049	0.333	0.231	0.001	<0.001	0.010	<0.001
CMO	-0.381	1	<0.001	0.002	0.494	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.203	0.185	0.048	0.082	0.434	0.100
CPB	-0.835	0.816	1	<0.001	0.146	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.095	0.063	<0.001	<0.001	0.086	<0.001
CEE	-0.877	0.738	0.982	1	0.064	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.044	0.026	<0.001	<0.001	0.129	<0.001
CFDN	0.832	0.191	-0.394	-0.490	1	0.129	0.930	0.859	0.883	0.820	0.667	0.052	0.006	0.030	0.001
CCNF	-0.837	0.810	0.969	0.950	-0.410	1	<0.001	<0.001	<0.001	0.316	0.237	0.003	<0.001	0.020	<0.001
CNDT	-0.557	0.945	0.911	0.882	-0.025	0.866	1	<0.001	<0.001	0.021	0.016	0.001	0.005	0.603	0.012
ED	-0.509	0.989	0.891	0.829	0.050	0.879	0.973	1	<0.001	0.145	0.122	0.014	0.023	0.316	0.029
EM	-0.516	0.988	0.894	0.833	0.042	0.883	0.974	1.000	1	0.143	0.120	0.013	0.021	0.308	0.026
DMS	-0.269	0.348	0.447	0.526	-0.064	0.278	0.588	0.395	0.397	1	<0.001	0.001	0.017	0.040	0.151
DMO	-0.329	0.362	0.491	0.573	-0.121	0.325	0.610	0.417	0.419	0.998	1	<0.001	0.008	0.069	0.095
DPB	-0.778	0.518	0.836	0.891	-0.510	0.717	0.747	0.620	0.625	0.761	0.800	1	<0.001	0.665	<0.001
DEE	-0.897	0.464	0.854	0.920	-0.678	0.787	0.688	0.583	0.589	0.603	0.654	0.964	1	0.227	<0.001
DFDN	0.639	-0.218	-0.458	-0.410	0.561	-0.591	-0.146	-0.278	-0.282	0.536	0.482	-0.122	-0.332	1	0.032
DCNF	-0.972	0.441	0.867	0.910	-0.770	0.842	0.628	0.564	0.571	0.389	0.447	0.872	0.960	-0.555	1

Nota: por debajo de la diagonal la correlación de Pearson y por encima de la diagonal el P-value.

Tabla 9. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca de suplemento. Fuente (Los autores).

Ítems	CMSS	CMO	CPB	CEE	CFDN	CCNF	CNDT	ED	EM	DMS	DMO	DPB	DEE	DFDN	DCNF
CMSS	1	0.007	<0.001	<0.001	0.183	<0.001	0.002	0.001	0.001	0.249	0.338	0.081	0.017	0.001	0.002
CMO	0.666	1	0.007	0.055	0.093	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.552	0.540	0.941	0.956	0.345	0.930
CPB	0.992	0.662	1	<0.001	0.200	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.398	0.511	0.039	0.011	0.004	0.002
CEE	0.945	0.505	0.952	1	0.056	<0.001	0.005	0.010	0.009	0.801	0.979	0.005	<0.001	0.012	<0.001
CFDN	-0.364	0.449	-0.350	-0.503	1	0.187	0.311	0.275	0.293	0.501	0.668	0.053	0.001	0.022	<0.001
CCNF	0.982	0.664	0.951	0.911	-0.360	1	0.003	0.001	0.001	0.125	0.181	0.200	0.034	<0.001	0.003
CNDT	0.743	0.936	0.759	0.685	0.281	0.711	1	<0.001	<0.001	0.746	0.713	0.251	0.376	0.489	0.461
ED	0.776	0.986	0.774	0.639	0.301	0.767	0.960	1	<0.001	0.531	0.549	0.611	0.632	0.182	0.515
EM	0.783	0.985	0.780	0.647	0.291	0.774	0.960	1.000	1	0.526	0.546	0.595	0.609	0.173	0.492
DMS	-0.317	-0.167	-0.236	-0.071	0.189	-0.414	0.091	-0.176	-0.178	1	<0.001	0.064	0.504	<0.001	0.561
DMO	-0.266	-0.172	-0.184	-0.008	0.121	-0.365	0.104	-0.168	-0.169	0.997	1	0.032	0.341	0.002	0.755
DPB	0.464	0.021	0.537	0.686	-0.509	0.350	0.316	0.143	0.149	0.490	0.553	1	<0.001	0.660	0.002
DEE	0.606	-0.016	0.637	0.802	-0.747	0.548	0.247	0.135	0.144	0.187	0.265	0.917	1	0.107	<0.001
DFDN	-0.752	-0.262	-0.701	-0.630	0.584	-0.796	-0.194	-0.364	-0.371	0.789	0.741	-0.124	-0.433	1	0.003
DCNF	0.730	0.025	0.734	0.831	-0.845	0.703	0.206	0.182	0.192	-0.163	-0.088	0.733	0.920	-0.718	1

Nota: por debajo de la diagonal la correlación de Pearson y por encima de la diagonal el P-value.

Tabla 10. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el consumo de materia seca total. Fuente (Los autores).

Ítems	CMST	CMSH	CMSS	CMO	CPB	CEE	CFDN	CCNF	CNDT	ED	EM	DMS	DMO	DPB	DEE	DFDN	DCNF
CMST	1	0.123	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.459	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.182	0.161	0.025	0.052	0.354	0.065
CMSH	-0.389	1	<0.001	0.149	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.026	0.045	0.041	0.397	0.273	<0.001	<0.001	0.004	<0.001
CMSS	0.829	-0.837	1	<0.001	<0.001	<0.001	0.124	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.189	0.130	<0.001	<0.001	0.024	<0.001
CMO	0.999	-0.365	0.814	1	<0.001	0.001	0.405	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.219	0.197	0.038	0.072	0.353	0.085
CPB	0.831	-0.828	0.996	0.814	1	<0.001	0.137	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.114	0.075	<0.001	<0.001	0.045	<0.001
CEE	0.753	-0.870	0.975	0.733	0.980	1	0.055	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.047	0.026	<0.001	<0.001	0.079	<0.001
CFDN	0.193	0.828	-0.388	0.216	-0.376	-0.474	1	0.121	0.986	0.769	0.794	0.893	0.723	0.046	0.004	0.019	<0.001
CCNF	0.817	-0.830	0.989	0.808	0.972	0.950	-0.391	1	<0.001	<0.001	<0.001	0.362	0.268	0.002	<0.001	0.009	<0.001
CNDT	0.956	-0.538	0.894	0.947	0.906	0.876	0.005	0.864	1	<0.001	<0.001	0.021	0.016	0.001	0.003	0.509	0.008
ED	0.993	-0.492	0.888	0.989	0.888	0.824	0.077	0.878	0.974	1	<0.001	0.159	0.132	0.010	0.018	0.239	0.021
EM	0.992	-0.500	0.892	0.988	0.892	0.828	0.068	0.882	0.974	1.000	1	0.158	0.130	0.009	0.017	0.232	0.020
DMS	0.340	-0.219	0.335	0.314	0.398	0.488	-0.035	0.236	0.553	0.357	0.358	1	<0.001	0.001	0.014	0.023	0.155
DMO	0.356	-0.282	0.382	0.329	0.443	0.537	-0.093	0.285	0.576	0.380	0.382	0.998	1	<0.001	0.006	0.045	0.093
DPB	0.540	-0.757	0.780	0.506	0.819	0.883	-0.489	0.705	0.736	0.606	0.611	0.747	0.788	1	<0.001	0.619	<0.001
DEE	0.479	-0.882	0.819	0.448	0.839	0.913	-0.662	0.774	0.674	0.565	0.571	0.584	0.638	0.963	1	0.183	<0.001
DFDN	-0.240	0.664	-0.545	-0.240	-0.492	-0.438	0.561	-0.614	-0.172	-0.302	-0.306	0.547	0.493	-0.130	-0.339	1	0.017
DCNF	0.457	-0.965	0.857	0.430	0.860	0.908	-0.758	0.836	0.617	0.553	0.559	0.361	0.421	0.867	0.957	-0.569	1

Nota: por debajo de la diagonal la correlación de Pearson y por encima de la diagonal el P-value.

Tabla 11. Correlación entre las variables de consumo y digestibilidad de los componentes nutricionales con el desempeño. Fuente (Los autores).

Ítems	GMD	CMSH	CMSS	CMO	CPB	CEE	CFDN	CCNF	CNDT	ED	EM	DMS	DMO	DPB	DEE	DFDN	DCNF
GMD	1	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.039	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.147	0.086	<0.001	<0.001	0.030	<0.001
CMSH	-0.878	1	<0.001	0.113	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.020	0.030	0.028	0.461	0.311	<0.001	<0.001	0.003	<0.001
CMSS	0.980	-0.857	1	<0.001	<0.001	<0.001	0.073	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.221	0.146	<0.001	<0.001	0.019	<0.001
CMO	0.750	-0.399	0.814	1	<0.001	0.001	0.556	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.214	0.186	0.033	0.057	0.338	0.068
CPB	0.983	-0.848	0.996	0.814	1	<0.001	0.082	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.136	0.085	<0.001	<0.001	0.038	<0.001
CEE	0.972	-0.877	0.975	0.743	0.980	1	0.035	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.056	0.030	<0.001	<0.001	0.073	<0.001
CFDN	-0.505	0.843	-0.446	0.154	-0.433	-0.513	1	0.073	0.857	0.968	0.994	0.950	0.757	0.034	0.002	0.012	<0.001
CCNF	0.951	-0.847	0.988	0.810	0.971	0.951	-0.445	1	<0.001	<0.001	<0.001	0.398	0.287	0.001	<0.001	0.007	<0.001
CNDT	0.850	-0.556	0.886	0.946	0.900	0.880	-0.047	0.859	1	<0.001	<0.001	0.020	0.014	0.001	0.002	0.510	0.007
ED	0.835	-0.526	0.889	0.989	0.890	0.833	0.011	0.880	0.972	1	<0.001	0.160	0.127	0.008	0.013	0.223	0.016
EM	0.839	-0.533	0.893	0.988	0.893	0.838	0.002	0.884	0.973	1.000	1	0.159	0.126	0.007	0.012	0.216	0.014
DMS	0.367	-0.192	0.313	0.318	0.377	0.472	-0.016	0.219	0.558	0.357	0.358	1	<0.001	0.001	0.019	0.020	0.182
DMO	0.428	-0.261	0.368	0.337	0.430	0.527	-0.081	0.274	0.584	0.385	0.386	0.997	1	<0.001	0.008	0.042	0.106
DPB	0.849	-0.761	0.785	0.519	0.824	0.885	-0.515	0.710	0.745	0.621	0.625	0.728	0.775	1	<0.001	0.579	<0.001
DEE	0.886	-0.883	0.829	0.469	0.849	0.917	-0.684	0.785	0.687	0.588	0.594	0.563	0.623	0.964	1	0.164	<0.001
DFDN	-0.526	0.680	-0.560	-0.247	-0.507	-0.446	0.595	-0.624	-0.172	-0.312	-0.316	0.556	0.497	-0.145	-0.354	1	0.015
DCNF	0.901	-0.965	0.868	0.452	0.871	0.913	-0.780	0.847	0.630	0.576	0.582	0.340	0.406	0.869	0.958	-0.579	1

Nota: por debajo de la diagonal la correlación de Pearson y por encima de la diagonal el P-value

Consideraciones finales

Tradicionalmente, la producción de carne bovina en Colombia se ha realizado en zonas de trópico bajo, mientras que los sistemas de producción de leche predominan en trópico alto. En condiciones de trópico bajo, los principales problemas de la ganadería de carne están asociados con una alimentación inadecuada, debido a los pastos comúnmente utilizados y a su baja relación energía-proteína (Barahona *et al.*, 2003) y baja disponibilidad durante la época seca (Sossa *et al.*, 2011), siendo necesario utilizar estrategias ajustadas a los requerimientos de los animales. Por lo general en el trópico alto las gramíneas poseen un mayor valor nutricional que las que predomina en el trópico bajo (Gaviria *et al.*, 2012) aunque pueden tener excesos de proteína, despertando un interés en suplementar con fuentes energéticas. En general, es necesario identificar alternativas de alimentación para mejorar los rendimientos productivos y económicos de la ganadería de carne, que aumenten la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción. Esto generaría mayor competitividad para el productor y beneficios para la economía del país, asociadas con mayores ingresos por la venta de carne (Sossa & Barahona, 2015).

Durante el análisis de resultados para las variables de consumo, digestibilidad y desempeño se reitera la importancia de suplementación en la alimentación animal principalmente en sistemas productivos con predominancia de gramíneas de baja calidad producto del mal manejo de los suelos o cuando se desea establecer sistemas de producción animal de ciclo corto (precocidad), puesto que el tratamiento no suplementado demostró durante la investigación resultados muy inferiores e indeseables en un sistema de producción, a diferencia de los tratamientos que recibieron algún grado de suplementación los cuales presentaron un aumento en el consumo y digestibilidad de los componentes de la

dieta de mayor valor nutricional mejorando el desempeño productivo del hato. Para entornos como el del trópico colombiano se recomendaría el nivel BAJO, debido a que no presentó diferencia estadística ($P>0.05$) al comparar con los niveles medio y alto en los componentes de mayor interés los cuales son los aportes de proteína, energía y fibra, principalmente.

Adicional a ello se observó un aumento en el consumo de forraje y materia seca total logrando suplir los requerimientos nutricionales del animal, evitando que pierda peso y basado en la alimentación de forraje que resulta ser la opción más económica en las producciones ganaderas, teniendo en cuenta que se cultive en los suelos agrícolas y correctamente enmendados, con el adecuado manejo para proveer con fuentes de forrajeras de buena calidad y composición nutricional a los semovientes, los cuales responden forma positiva a niveles elevados de suplementación proteico-energética. Cabe resaltar la necesidad de realizar investigaciones más a fondo donde se determine el rendimiento y peso de canal, siendo probable que los animales del tratamiento ALTO y MEDIO tengan una deposición de canal superior a la del tratamiento BAJO y NS.

Conclusiones

La inclusión de suplemento en la dieta ofertada a bovinos Chino Santandereano en estabulación genera incremento en el desempeño productivo, conversión y eficiencia alimenticia, sin diferencia entre los grados de suplementación BAJO, MEDIO y ALTO. Además, en el tratamiento del nivel BAJO ejerció un estímulo en el rumiante que aumentó el CMSH

La suplementación mejora el consumo y digestibilidad de la materia seca total, proteína bruta, extracto etéreo, carbohidratos no fibrosos, energía digestible y metabolizable presentes en la dieta ofrecida a bovinos Chino Santandereano, sin afectar el consumo y la digestibilidad de FDN.

La raza criolla Chino Santandereano ostenta la capacidad genética de alcanzar buenos desempeños productivos, respondiendo de manera positiva a grados elevados de suplementación proteico-energética; de manera similar a como lo haría un animal de alguna raza masificada en las mismas condiciones nutricionales.

Recomendaciones

Como se evidenció a lo largo de esta investigación, la inclusión de alimento balanceado en la dieta animal genera un impacto positivo directo en cuanto a las variables de consumo, digestibilidad y desempeño animal, se recomienda la suplementación en todos los sistemas de producción a fin de maximizar los recursos y materias primas, así como el aprovechamiento de contenidos nutricionales generando óptimas respuestas metabólicas a manera de ganancia de peso.

Es recomendable la utilización de las razas criollas colombianas en los hatos de producción de carne debido al óptimo desempeño que demostró la raza Chino Santandereano en este proyecto; igualmente se recomienda realizar mayor número de investigación con la raza Chino Santandereano en las diferentes áreas de la zootecnia como la nutrición, reproducción, mejoramiento, bienestar, entre otras, generando una base de datos confiable con información acerca de requerimientos nutricionales, capacidad productiva, así como parámetros organolépticos para calidad de la carne y leche disponible para la consulta de los productores, a fin de mantener este importante recurso genético para el territorio nacional. Por último, se invita a impulsar la utilización de las razas criollas colombianas, como el Chino Santandereano que al manejarse adecuadamente puede ayudar a la mejora productiva y genética del hato nacional.

Bibliografía

- Acutis, M., Scaglia, B., & Confalonieri, R. (2012). Perfunctory analysis of variance in agronomy, and its consequences in experimental results interpretation. *European Journal of Agronomy*, 43, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.06.006>
- Alamgir, Jahanu, Rolf D, Alain B., Parul, & Keith P. (2017). Identifying maternal and infant factors associated with newborn size in rural Bangladesh by partial least squares (PLS) regression analysis.
- Anzola, H. J. (2005). Conservación y utilización de las razas bovinas criollas y colombianas para el desarrollo rural sostenible. *Archivos de Zootecnia.*, 54, 141–144.
- Barahona-Rosales R, & Sanchez-Pinzón M. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *CORPOICA Cienc. Tecnol. Agro-Pecu.*, 6(1), 69–82.
- Barahona R, Theodorou M, Lascano CE, Owen E, & Narvaez N. (2003). In vitro degradability of mature and immature leaves of tropical forage legumes differing in condensed tannin and nonstarch polysaccharide content and composition. . *J. Sci. Food Agric*, 83(12), 1256–1266.
- Basurto, R., & Tejada I. (1992). Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. *Téc. Pec. Méx*, 30(1), 13–22.
- Bejarano, A., Hernández, G., & Rico, G. (1986). Proyecto de desarrollo ganadero con base en el uso de las razas criollas y colombianas.
- Bejarano, D. (2016). Estudio de asociación genómica para características de crecimiento en las razas bovinas Criollas Blanco Orejinegro y Romosinuano.
- Bondi, A. (1989). *Nutrición animal* (Acribia, S.A). Zaragoza, España.
- Brandyberry, S., Cochran, E., Vanzant, E., & Harmon, D. (1991). Technical note: Effectiveness of diferent methods of continuous marker administration for estimating fecal output. . . *J. Anim. Sci.*, 69, 4611–4616.
- Bustamante, R. (2015). Análisis de la eficiencia de conversión alimenticia, ganancia de peso y rendimiento de la canal de razas europeas de bovinos de carne.
- Carvalho, I. P. C. de, Detmann, E., Mantovani, H. C., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. de C., Costa, V. A. C., & Gomes, D. I. (2011). Growth and antimicrobial activity of lactic acid

- bacteria from rumen fluid according to energy or nitrogen source. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(6), 1260–1265. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000600014>
- Carvalho, V. V., Paulino, M. F., Detmann, E., Chizzotti, M. L., Martins, L. S., Silva, A. G., Moura, F. H. (2017a). Effects of supplements containing different additives on nutritional and productive performance of beef cattle grazing tropical grass. *Tropical Animal Health and Production*, 49(5), 983–988. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1286-8>
- Chase Jr, Hammond AC, Olson TA, Murphy CN, Tewolde A, & Griffin JL. (1997). Introduction of Romosinuano in the U.S.A. *Arch Latinoam Prod Anim*, 5, 57–71.
- Correal, G. (2004). Razas bovinas criollas y colombianas. Villavicencio: CORPOICA.
- Correal, G. (2010). Plan nacional de acción para la conservación, mejoramiento y utilización sostenible de los recursos genéticos animales de Colombia. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*.
- da Silva-Marques, R. P., Zervoudakis, J. T., de Paula, N. F., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., da Rosa e Silva, P. I. J. L., & do Nascimento Matos, N. B. (2018). Effects of protein-energetic supplementation frequency on growth performance and nutritional characteristics of grazing beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 50(3), 495–501. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1458-6>
- Comeron, J. Baudracco, N. Lopez-Villalobos, L.A. Romero3, D. Scandolo, M. Macie, C.W. Holmes. (2014). Effects of Herbage Allowance on Dry Matter Intake, Efficiency of Grazing, Milk Yield and Grazing Behaviour of Crossbred Holstein-Jersey Dairy Cows Grazing Alfalfa Pastures. *Advances in Dairy Research*, 02(01). <https://doi.org/10.4172/2329-888X.1000109>
- da Silva-Marques, R. P., Zervoudakis, J. T., Nakazato, L., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., da Silva Cabral, L., do Nascimento Matos, N. B., ... Feliciano, A. L. (2019). Ruminant Microbial Populations and Fermentation Characteristics in Beef Cattle Grazing Tropical Forage in Dry Season and Supplemented with Different Protein Levels. *Current Microbiology*, 76(3), 270–278. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01631-w>
- de Almeida, D. M., Marcondes, M. I., Rennó, L. N., Martins, L. S., Marquez, D. E. C., Villadiego, F. C., ... Paulino, M. F. (2018). Supplementation strategies for Nellore female calves in creep feeding to improve the performance: nutritional and metabolic responses.

- Tropical Animal Health and Production*, 50(8), 1779–1785.
<https://doi.org/10.1007/s11250-018-1619-2>
- de Bruyn. (1995). Intensive Fed steers slaughtered at weaning (220 kg), 340, 380 y 440 kg liveweight. *University of Pretoria*.
- Detmann, E., de Souza, M., Valadares, S., de Queiroz, A., Berchielli, T., Simoes, E., Gómez, J. (2012). Métodos para análise de alimentos (INCT Ciencia animal).
- Doley, P., Casson, T., Cransberg, L., & Rowe, J. (1994). Faecal output of grazing sheep measured by total collection or using chromium sesquioxide. *Small Ruminant Research*, 13, 231–236.
- El-Shazly K, Dehority BA, & Johnson RR. (1961). Effect of starch on the digestion of cellulose in vitro and in vivo by rumen microorganisms. *J Anim Sci*, 20, 268–273.
- Elzo MA, Manrique C, Ossa G, & Acosta O. (1998). Additive and nonadditive genetic variability for growth traits in the Turipaná Romosinuano-Zebu multibreed herd. *J Anim Sc*, 76, 1539–1549.
- FAO. (2018). Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos (DAD-IS).
- Figueiras, J. F., Detmann, E., Franco, M. O., Batista, E. D., Reis, W. L. S., Paulino, M. F., & Valadares Filho, S. C. (2016). Effects of Supplements with Different Protein Contents on Nutritional Performance of Grazing Cattle During the Rainy Season. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(12), 1710–1718. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0125>
- French, E.G. O’Riordan, A.P. Moloney, & P.J. Caffrey. (2001). Effects of concentrate level and grazing system on the performance of beef cattle grazing autumn herbage. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, Vol. 40, 33–44.
- Gandioli, L. (2019). Investigadores rastrearon la identidad genética del bovino criollo y sus vínculos con las razas originarias. *La Diaria Ciencia*.
- Garcia, D., Garcia, P., Gatica, F., Gatica, M., & Gornal, V. (2009). *Digestibilidad por el método del indicador en rumiantes*.
- Gaviria-Uribe, Naranjo-Ramírez, Bolívar-Vergara D.M., & Barahona-Rosales, R. (2015). Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 64, 21–27.

- Gaviria X, Sossa CP, Montoya C, Chara J, Lopera JJ, Córdoba CP, & Barahona R. (2012). Producción de Carne Bovina en Sistemas Silvopastoriles Intensivos en el Trópico Bajo Colombiano. *VII Congreso Latinoamericano De Sistemas Agroforestales Para La Producción Animal Sostenible, Brasil*.
- Gekara, O. J. (1999). Effect of sward height and concentrate supplementation on forage dry matter intake, digestibility and grazing time of spring-calving beef cows.
<https://doi.org/10.33915/etd.976>
- Gomez, F. (2003). La razón de ser del ganado Colombiano. *Bogotá: TOA*.
- Goering, H., & van Soest P. (1970). Forage fiber analysis. *Agriculture Handbook. Agricultural Research Service-USDA, Washington, D.C.*
- Haro, J. (2002). Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. . *Universidad de Guanajuato, México, 12*, 56–63.
- Herrera, P. (2015). *Contrastes ortogonales*.
- Houseknecht, K., Baile, C., Matteri, , R, & Spurlock, M. (1998). The biology of Leptin: A review. *Anim. Sci*, 76, 1405.
- Kettaneh-. (1991). Analysis of mixture data with partial least squares. *Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam*.
- Kotb, A., & Luckey, T. (1972). Markers in nutrition. *Nutrition Abstracts and Reviews.*, 42, 813–845.
- Kowalski, Luciana H., Freitas, José A., Fernandes, Sergio R., Junior, Paulo R., Fernandes, Jovanir I. M., & Silva, Marina G. Berchiol da. (2014). Leptina e grelina na produção de ruminantes. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(4), 375-383.
- Langhans, W. (2009). Central control of food intake. *Aktuelle-Ernährungsmedizin*, 27, 381.
- Laredo, M., Anzola V., & Segura F. (1988). Cloruro de iterbio y óxido de cromo como indicadores de excreción fecal y consumo de heno. *Rev. ICA*, 23, 303–313.
- Lopes, S. A., Paulino, M. F., Detmann, E., Valente, É. E. L., Rennó, L. N., Valadares, R. F. D.,... Oliveira, C. A. S. (2017). Evaluation of supplementation plans for suckling beef calves managed on tropical pasture. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(2), 1027.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p1027>

- Loughlin, M. (2013). Conversión alimenticia como herramienta de decisión durante los engordes de bovinos. Impacto sobre los precios de venta y el resultado económico. *Investigación y Desarrollo Agropecuario*.
- Martínez, A. (2013). Historia de la ganadería criolla.
- Martínez, C. G. (1999). Censo y caracterización de los sistemas de producción del ganado criollo y colombiano. Memorias Del Seminario Organizado Por Fedegan, Ica, Asobon y Pronatt, 23, 13–53.
- Martínez, E. (1999). Conservación, mejoramiento genético y uso estratégico de los bovinos criollos colombianos. *AGROSAVIA*.
- Martinez GE, Koch RM, Cundiff L V, Gregory KE, Kachman SD, & van Vleck LD. (2005). Genetic parameters for stayability, stayability at calving, and stayability at weaning to specified ages for Hereford cows. *J Anim Sc*, 83, 2033–2042.
- Martínez, M., & Savón, L. (2005). La leptina, hormona clave en la regulación del consumo de alimentos y el balance energético del organismo animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39, 4–5.
- Martínez R, Tobón J, & Gallego J. (2012). Resistencia a enfermedades en la raza BON. Eficiencia productiva de la raza bon en el trópico colombiano. 88–109.
- Ma, Y., Zhang, G.-Z., & Rita-Cindy, S. A.-A. (2019). Quantification of Water, Protein and Soluble Sugar in Mulberry Leaves Using a Handheld Near-Infrared Spectrometer and Multivariate Analysis. *Molecules*, 24(24), 4439.
<https://doi.org/10.3390/molecules24244439>
- Merchen, N. (1993). Digestion, absorption and excretion in ruminant's. *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*.
- Moore, J. E., J.G.P. Bowman, & W. E. Kunkle. (1995). Effects of dry and liquid supplements on forage utilization by cattle. *Proceedings, AFIA Liquid Feed Symposium*, 81–95.
- Moraes, E. H. B. K. de, Paulino, M. F., Moraes, K. A. K. de, Valadares Filho, S. D. C., Detmann, E., & Couto, V. R. M. (2017). Supplementation strategies for grazing beef cattle during the rainy-dry transition period. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(2), 895.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p895>
- Ortega C. (1987). Factores que afectan la digestibilidad del alimento en rumiantes. *Estudio Recapitativo. Vet. Méx*, 18, 55–60.

- Pinzón, E. (2003). Ganadería Razas Criollas. *Bogotá: Temas De Orientación Agropecuaria*.
- Pinzón, M. (1979). Chino Santandereano. *Banco Ganadero. Bogotá.* , 79.
- Posada, S., & Noguera, R. (2005). Técnica in vitro de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development.*, 17, 36.
- Primo A. (1992). El ganado bovino ibérico en las américas: 500 años después. *Archivos de Zootecnia*, 41, 421–432.
- Reid, J., Woolfolk, P., Hardison, W., Martin, A., & Kaufmann, R. (1952). A procedure for measuring the digestibility of pasture forage under grazing condition. *J. Nutr.* 4, 46, 255–269.
- Reidy, S., & Weber, J. (2002). Leptin: an essential regulator of lipid metabolism. *Biochem Physiol*, 125–285.
- Reyes, A., Bolaños, E., Hernández, D., & Aranda, e. (2009). Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidícola* (Rendle) Schweick. *SciELO*, 25.
- Reyes, J. (2012). Evaluación de la digestibilidad in situ de los nutrientes y variables ruminales del ensilado de caña de azúcar con diferente fuente de proteína.
- Reyes, L. (2014). Análisis de contrastes ortogonales con R.
- Riquelme, C., & Pulido, R. (2008). Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(3). <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000300004>
- Rodriguez, M., Simoes, S., & Guimares, R. (2007). Uso de Indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. *Rev. Col. Cienc. Pec*, 20, 4.
- Rojas, G. (2017). Efecto de la adición de aceites esenciales sobre el consumo de materia seca, digestibilidad y parámetros de cinética y fermentación ruminal en bovinos.
- Ruiz, Z., Murphy, B., & Olivera, M. (1999). Interacción reproducción-nutrición en los animales domésticos: ¿Es la leptina la clave? *Rev. Col. Cienc. Pec*, 12, 145.
- Ruiz, D. (2014). Estimación de la heredabilidad para el peso al nacimiento y el peso al destete en la raza Chino Santandereano y sus cruces en el departamento de Santander.

- Salazar, J. & Cardozo, A. (2003). Conservación, mejoramiento y utilización de los recursos genéticos del bovino criollo (TOA). Bogotá.
- Santini, F. (2014). conceptos básicos de la nutrición de rumiantes. *INTA*, 12, 35–38.
- Sossa, C. P., & Barahona, R. (2015). Comportamiento productivo de novillos pastoreando en trópico de altura con y sin suplementación energética. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(1), 67–80. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n1.49386>
- Sossa CP, Velilla C, Berrío S, & Barahona R. (2011). Comparación del consumo y digestibilidad de nutrientes y de la producción de carne de novillos en pastoreo en trópico de altura con o sin suplementación energética. *Rev Col. Cienc. Pec.* 24(3), 468–468.
- Tahir, M. (2008). Voluntary feed intake by dairy cattle, department of agrigultural research for northern. 46.
- Tarazona, A., Ceballos, M., Naranjo, J., & Cuartas, C. (2012). Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Rev Colomb Cienc Pecu*, 25, 473–487.
- Tilley, J., & Terry, R. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, 18, 104–111.
- Titgemeyer, E. (1997). Desig and interpretation of nutrient digestion studies. *J. Anim. Sci*, 75, 2235–2247.
- Trujillo, A. (2015). Eficiencia alimenticia en bovinos de carne en pastoreo.
- Valadares Filho, S.C., Machado, P.A.S., Chizzotti, M.L. (2016) CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. Disponible en www.ufv.br/cqbal
- Van Keulen, J., & B. A. Young. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci*, 44, 282–287.
- Van Soest, P. (1994). Nutritional Ecology of the ruminan. *Cornell University Press. II Edición*, 108–195.
- Vargas, C. (1999). Raza Chino Santandereano. *CORPOICA*, 2(1).
- Vargas, C. (2011). Chino Santandereano. *Ganado Criollo Colombiano. Bogotá*.
- Velásquez, J. (2006). Razas criollas colombianas (CORPOICA). Bogotá.

Zilio M., Orzi, V., Chiodini, M., Riva, C., Acutis, M., Boccasile, G., & Adani, F. (2020).

Evaluation of ammonia and odour emissions from animal slurry and digestate storage in the Po Valley (Italy). *ELSEVIER*, 103, 296–304.

Bajo y sobre la diagonal representación del grado de correlación de Pearson, mayor tamaño del número indica mayor correlación entre las variables.

Anexo B. Validación cruzada LOO de datos para modelación PLS.

VALIDATION: CSMH RMSEP

Cross-validated using 16 leave-one-out segments.

	(Intercept)	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
CV	0.9946	1.053	0.8898	1.203	1.346
adjCV	0.9946	1.046	0.8824	1.139	1.280

TRAINING: % variance explained

	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
X	70.70	90.69	92.31	95.38
CSMH	25.34	50.92	67.87	78.46

VALIDATION: CMSS RMSEP

Cross-validated using 16 leave-one-out segments.

	(Intercept)	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
CV	1.845	1.35	1.048	0.8979	0.9954
adjCV	1.845	1.34	1.026	0.8882	0.9839

TRAINING: % variance explained

	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
X	77.47	83.31	95.75	98.40
CMSS	65.24	88.31	89.01	89.92

VALIDATION: CMST RMSEP

Cross-validated using 16 leave-one-out segments.

	(Intercept)	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
CV	1.672	1.225	0.5781	0.1852	0.1988
adjCV	1.672	1.221	0.5745	0.1809	0.1960

TRAINING: % variance explained

	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
X	76.48	88.59	95.77	98.52
CMST	57.63	91.71	99.39	99.50

VALIDATION: GMD RMSEP

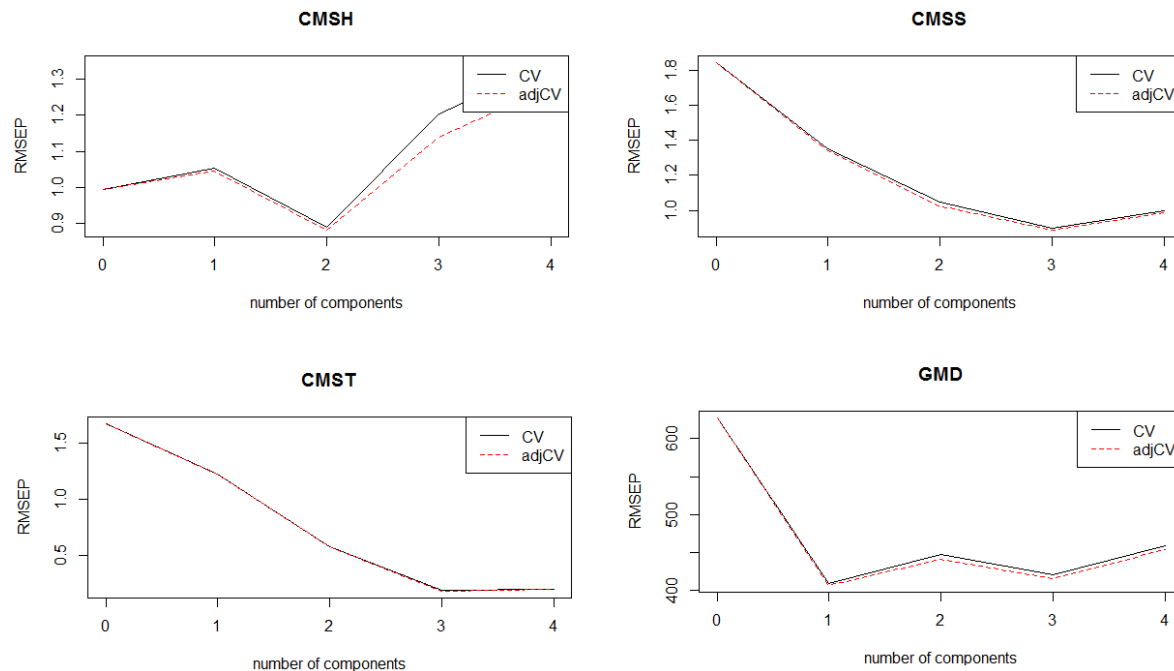
Cross-validated using 16 leave-one-out segments.

	(Intercept)	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
CV	627.1	408.9	447.3	420.2	459.0
adjCV	627.1	407.1	441.3	416.2	453.4

TRAINING: % variance explained

	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps
X	77.41	84.44	95.30	98.17
GMD	66.36	76.07	77.39	78.55

Anexo C. Número de Componentes vs RMSEP, por PLS



Anexo D. Análisis de varianza de un factor (Test Tipo III).

Anova Table (Type III tests)

Response: CSMH

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
(Intercept)	0.33590	1	13.3683	0.005266	**
CMO	0.03316	1	1.3197	0.280262	
CPB	0.47435	1	18.8785	0.001864	**
CEE	0.00954	1	0.3797	0.553025	
CFDN	0.01630	1	0.6488	0.441302	
CCNF	0.05664	1	2.2541	0.167503	
CNDT	0.00000	1	0.0002	0.989619	
Residuals	0.22614	9			

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
(Intercept)	0.09710	1	0.2684	0.62036	
DMS	0.05797	1	0.1602	0.70087	
DMO	0.39460	1	1.0908	0.33102	
DPB	0.12531	1	0.3464	0.57465	
DEE	0.74402	1	2.0567	0.19466	
DFDN	0.92147	1	2.5472	0.15452	
DCNF	0.00085	1	0.0023	0.96269	
ED	1.40820	1	3.8927	0.08910	
EM	1.38656	1	3.8329	0.09112	
Residuals	2.53227	7			

 signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Response: CMSS

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
(Intercept)	0.17973	1	8.1550	0.0189128	*
CMO	0.01490	1	0.6759	0.4322320	
CPB	0.69879	1	31.7073	0.0003213	***
CEE	0.01045	1	0.4742	0.5084056	
CFDN	0.01496	1	0.6789	0.4312714	
CCNF	0.03259	1	1.4787	0.2549017	
CNDT	0.00000	1	0.0002	0.9891366	
Residuals	0.19835	9			

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	0.09710	1	0.2684	0.6204
DMS	0.05797	1	0.1602	0.7009
DMO	0.39460	1	1.0908	0.3310
DPB	0.12531	1	0.3464	0.5746
DEE	0.74402	1	2.0567	0.1947
DFDN	0.92147	1	2.5472	0.1545
DCNF	0.00085	1	0.0023	0.9627
ED	0.63484	1	1.7549	0.2269
EM	0.66697	1	1.8437	0.2167
Residuals	2.53227	7		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Anova Table (Type III tests)

Response: CMST

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
CMSH	0.00669	1	2.7668	0.1272164	
CMO	0.81019	1	335.1455	5.086e-09	***
CPB	0.06374	1	26.3663	0.0004411	***
CEE	0.00041	1	0.1710	0.6879386	
CFDN	0.00007	1	0.0302	0.8654753	
Residuals	0.02417	10			

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
CCNF	0.0354	1	0.1665	0.690391	
CNDT	8.7069	1	40.9447	3.408e-05	***
CMSS	0.0495	1	0.2330	0.638001	
Residuals	2.5518	12			

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
DMS	0.0009	1	0.0415	0.84273	
DMO	0.0004	1	0.0194	0.89192	
DPB	0.0684	1	3.1840	0.10468	
DEE	0.1402	1	6.5247	0.02865	*
ED	18.9242	1	880.9441	4.404e-11	***
Residuals	0.2148	10			

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)	
DFDN	0.0070	1	0.2779	0.60771	
DCNF	0.0873	1	3.4464	0.08810	
EM	24.4219	1	964.3179	7.819e-13	***
Residuals	0.3039	12			

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Anova Table (Type III tests)

Response: GMD

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	31611	1	0.5855	0.46918
CMSH	58596	1	1.0853	0.33216
CMSS	103201	1	1.9114	0.20930
CMO	30540	1	0.5657	0.47652
CPB	285420	1	5.2864	0.05505
CEE	217723	1	4.0325	0.08460
CFDN	619104	1	11.4667	0.01166 *
CCNF	579516	1	10.7334	0.01356 *
CNDT	136979	1	2.5370	0.15523
Residuals	377941	7		

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	102060	1	0.7348	0.4197
DMS	264395	1	1.9035	0.2101
DMO	109341	1	0.7872	0.4044
DPB	74160	1	0.5339	0.4887
DEE	4041	1	0.0291	0.8694
DFDN	349	1	0.0025	0.9614
DCNF	16441	1	0.1184	0.7409
ED	28034	1	0.2018	0.6668
EM	29995	1	0.2159	0.6563
Residuals	972315	7		

 signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Anexo E. Análisis con dos componentes estrictamente.

CMSH	PRESS	RSS	Q2	LimQ2	Q2cum
1	6.877578	15.000000	0.5414948	0.0975	0.5414948
2	3.125877	3.921278	0.2028425	0.0975	0.6344991

CMSS	PRESS	RSS	Q2	LimQ2	Q2cum
1	3.2430189	15.000000	0.7837987	0.0975	0.7837987
2	0.7973267	2.422255	0.6708328	0.0975	0.9288336

CMST	PRESS	RSS	Q2	LimQ2	Q2cum
1	1.9910640	15.000000	0.8672624	0.0975	0.8672624
2	0.1741641	1.498089	0.8837425	0.0975	0.9845683

GMD	PRESS	RSS	Q2	LimQ2	Q2cum
1	4.557230	15.000000	0.69618465	0.0975	0.6961846
2	3.643253	3.791338	0.03905871	0.0975	0.7080513

Anexo F. Análisis de varianza entre las componentes calculadas.

Coefficients: CMSH

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.67979	0.10877	61.409	< 2e-16 ***
t1	0.54891	0.07451	7.367	5.45e-06 ***
t2	0.09915	0.03979	2.492	0.027 *

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'
 Residual standard error: 0.4351 on 13 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.8231, Adjusted R-squared: 0.7959

Coefficients: CMSS

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2.32291	0.10142	22.90	6.82e-12	***
t1	0.53567	0.03429	15.62	8.36e-10	***
t2	0.43545	0.07469	5.83	5.87e-05	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Residual standard error: 0.4057 on 13 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9553, Adjusted R-squared: 0.9485

Coefficients CMST:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	9.00270	0.04720	190.744	< 2e-16	***
t1	0.48019	0.01524	31.506	1.16e-13	***
t2	0.33398	0.03389	9.856	2.13e-07	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Residual standard error: 0.1888 on 13 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9882, Adjusted R-squared: 0.9864

Coefficients GMD:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	759.90	75.45	10.072	1.66e-07	***
t1	163.70	24.30	6.736	1.39e-05	***
t2	70.84	46.24	1.532	0.15	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'

Residual standard error: 301.8 on 13 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.7859, Adjusted R-squared: 0.753

Anexo G. Test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Shapiro-wilk normality test

CMSH data: modelo.pls1\$resid
w = 0.92387, p-value = 0.1946

Shapiro-wilk normality test

CMSS data: modelo.pls1\$resid
w = 0.9378, p-value = 0.3229

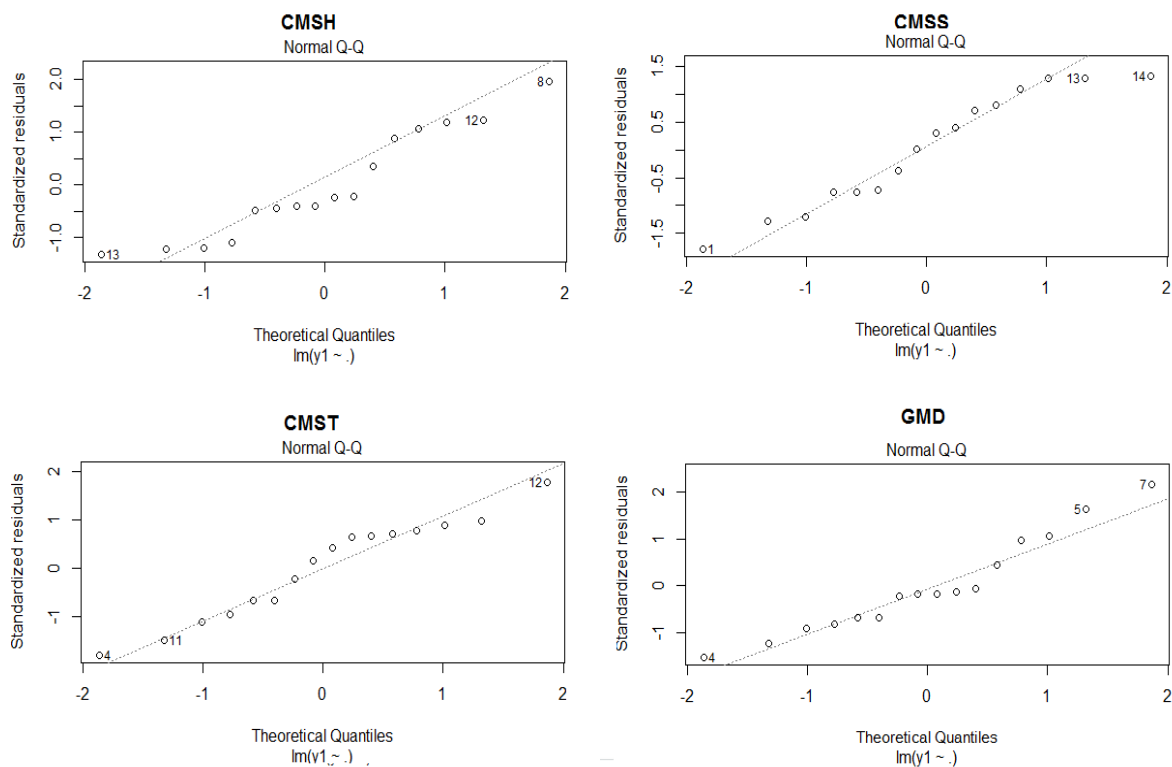
Shapiro-wilk normality test

CMST data: modelo.pls1\$resid
w = 0.95198, p-value = 0.5217

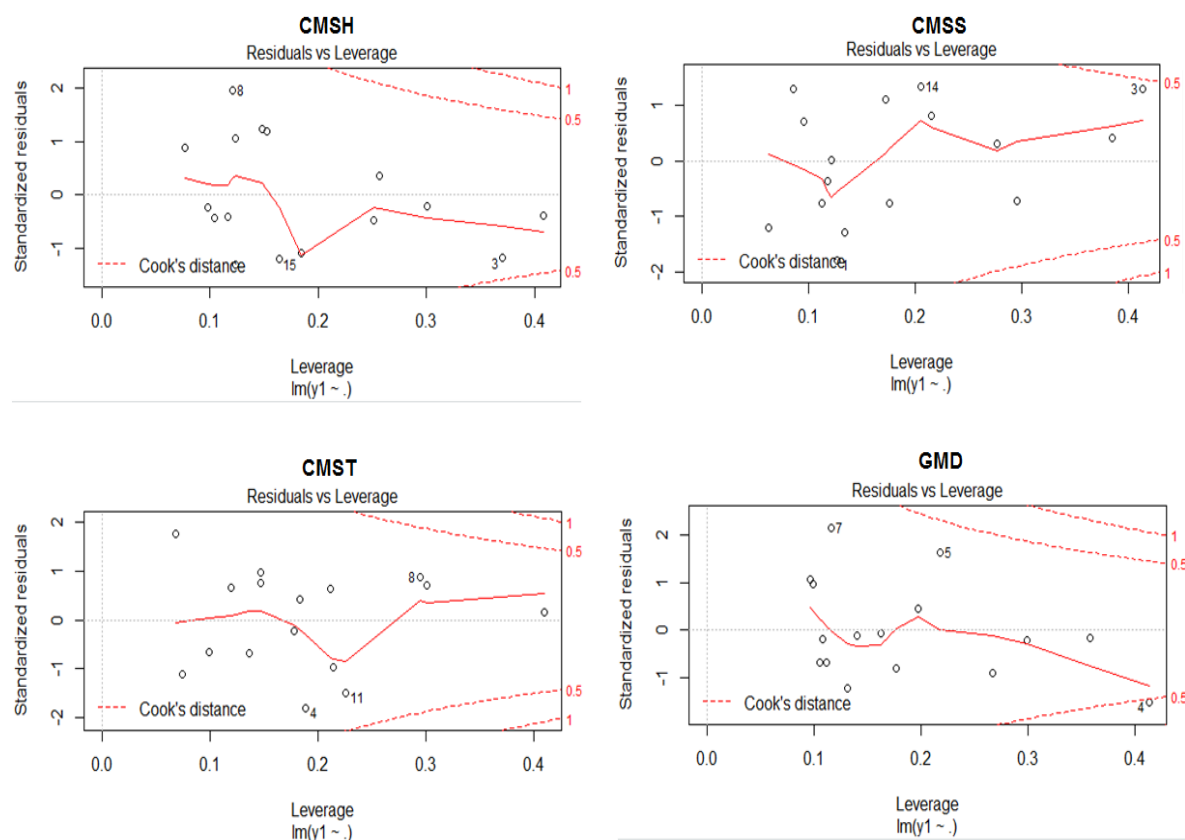
Shapiro-wilk normality test

GMD data: modelo.pls1\$resid
w = 0.9194, p-value = 0.1649

Anexo H. Gráfica de normalidad para los residuales estandarizados.



Anexo I. Gráfica de ortogonalidad que presenta los componentes estimados.



Anexo J. Registro fotográfico del análisis químico proximal.



Imagen 1, 2, 3, 4: Equipos y procesos para la determinación de materia seca y material mineral, laboratorio UDEC. Fuente: Los autores.



Imagen: 5, 6, 7, 8, 9,10: Pesaje de muestra y procesos de digestión, destilación y titulación para la determinación de proteína bruta, laboratorio UDEC. Fuente: Los autores.

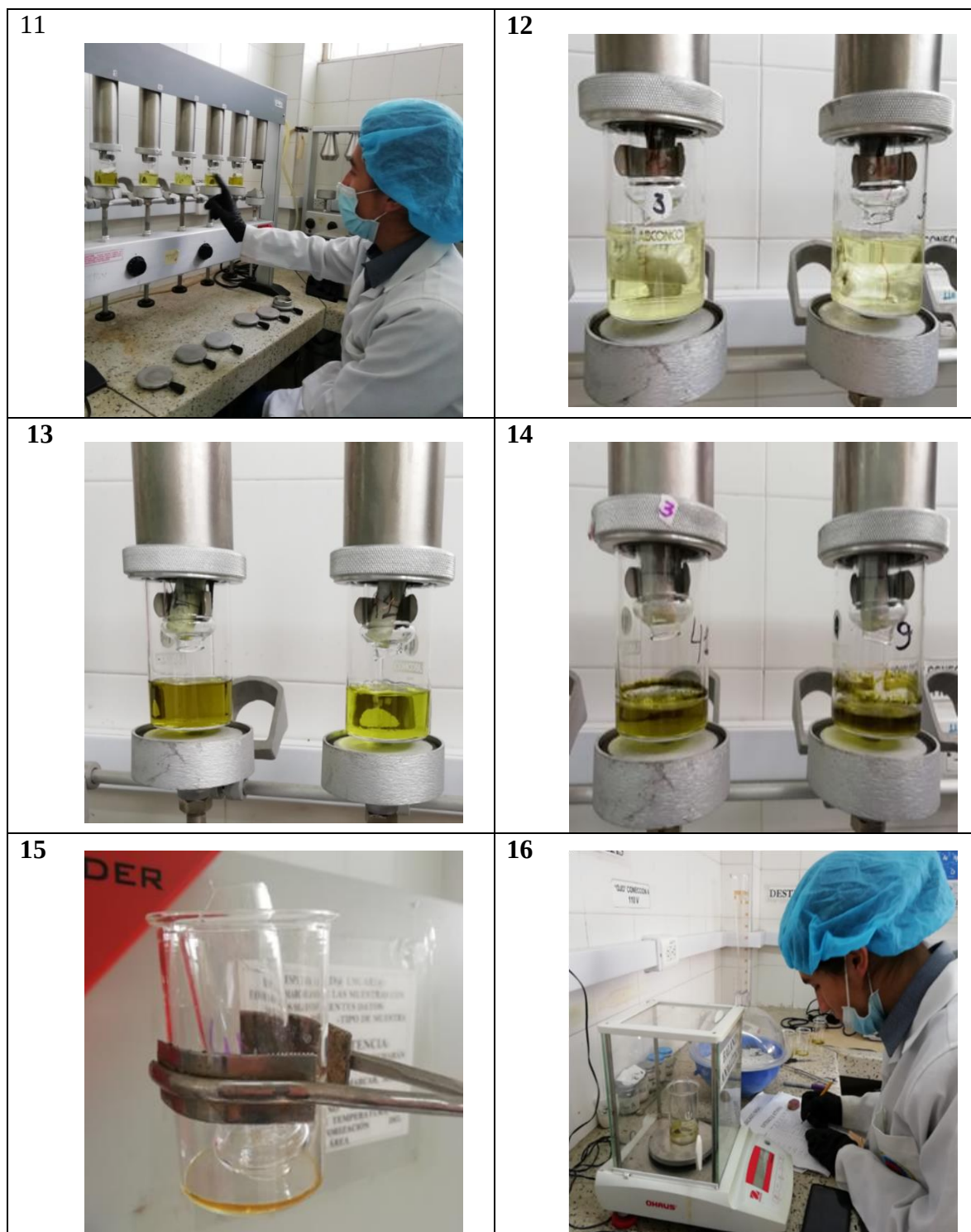


Imagen 11, 12, 13, 14, 15, 16: Equipo y proceso de extracción de grasa, laboratorio UDEC.

Fuente: Los autores.

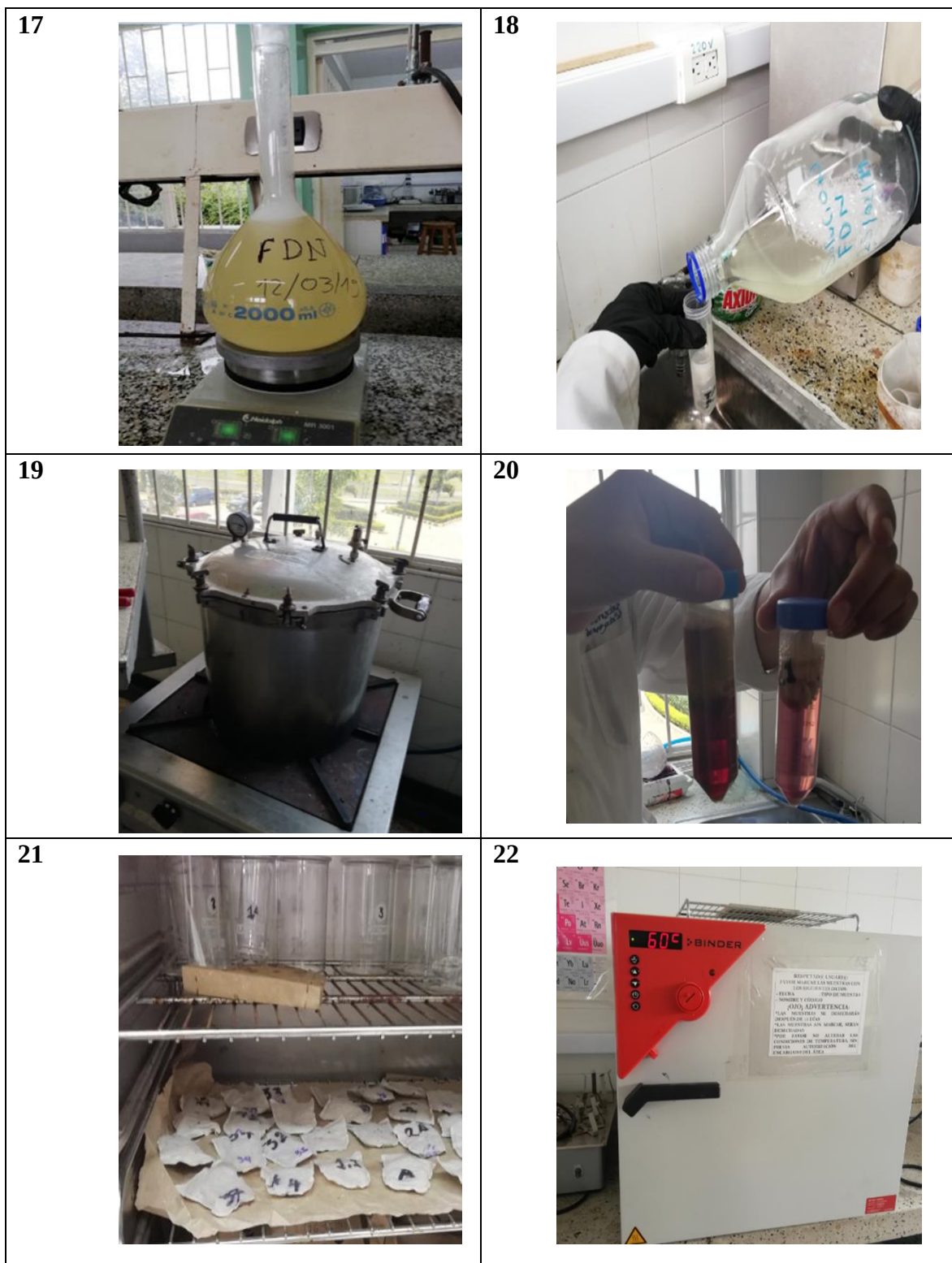


Imagen 17, 18, 19, 20, 21, 22: Preparación de solución FDN, autoclavado y secado para el proceso de determinación de fibra. Fuente: Los autores.



*“La verdadera ignorancia no es la ausencia de conocimientos,
sino el hecho de rehusarse a adquirirlos”*
-Karl Popper.