

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/366977220>

Producción forrajera y consumo en ganaderías colombianas con diversos sistemas de pastoreo incluyendo sistemas silvopastoriles

Article in *Livestock Research for Rural Development* · January 2023

CITATIONS

0

READS

374

5 authors, including:



Rolando Barahona Rosales

National University of Colombia

249 PUBLICATIONS 3,251 CITATIONS

SEE PROFILE



Julián Chará

Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agro...

163 PUBLICATIONS 3,121 CITATIONS

SEE PROFILE



Enrique Murgueitio

94 PUBLICATIONS 1,880 CITATIONS

SEE PROFILE



Sebastian Montoya

National University of Colombia

15 PUBLICATIONS 126 CITATIONS

SEE PROFILE

Producción forrajera y consumo en ganaderías colombianas con diversos sistemas de pastoreo incluyendo sistemas silvopastoriles

S Montoya Uribe^{1,2,3}, J D Chará², E Murgueitio Restrepo², G A Correa-Londoño³ y R Barahona-Rosales³

¹ *Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Oriente, Rionegro*
smontoyau@gmail.com

² *Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV.*
Carrera 25 No 6-62 Cali, Colombia

³ *Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

Resumen

La ganadería tropical, especialmente la basada en el aprovechamiento de monocultivos de gramíneas de bajo valor nutricional, se caracteriza por bajas cargas animales y baja productividad. Dado que el manejo tradicional de praderas no permite alcanzar las metas de productividad y sustentabilidad ambiental que se esperan de la actividad ganadera tropical, se han venido proponiendo los modelos silvopastoriles como la opción para realizar la reconversión ambiental y social que requiere la ganadería. Puesto que una buena parte de la satisfacción de estos retos está asociada con la productividad forrajera, es necesario validar el desempeño productivo de estas nuevas alternativas ante los modelos convencionales de producción. Con el propósito de valorar el desempeño productivo de diversos arreglos silvopastoriles, se realizó un estudio de la producción y composición forrajera en potreros de 17 fincas ganaderas, caracterizados por poseer diferentes arreglos pastoriles y por estar ubicados en cinco núcleos regionales. Con el fin de explicar el nivel de asociación entre la oferta y calidad composicional del forraje y el consumo en ganado bovino, se evaluó la oferta de nutrientes de las dietas suministradas en las diferentes fincas por medio del software CNCPS, a fin de estimar los parámetros productivos y analizar la posible maximización de los recursos. Se estimó la razón de verosimilitud entre los valores de consumo obtenidos por el aforo y los valores estimados por el software y se generó un reporte para Colombia del desempeño productivo de estos sistemas como estrategia alterna de producción ganadera a los sistemas convencionales. La oferta forrajera fue de 4.55 en setos forrajeros (SF) sin diferencias con 4.12 del sistema silvopastoril intensivo (SSPi) pero mayor al 2.78 y 3.24 (kg / 100 kg Pv/ día) de árboles dispersos (AD) y sistema monocultivo (SC) respectivamente ($P < 0.05$). Los dos primeros sistemas de siembra ofertaron más de un 50 % y un 45 % de proteína cruda y cenizas respectivamente a la oferta observada en AD y SC ($P < 0.05$). Igual tendencia tuvo el consumo de proteína cruda, que fue de 352.30 en SF y 293.77 SSPi superiores a 141.36 y 151.99 (gr de PC /100 kg PV / día) de AD y SC respectivamente ($P < 0.05$). El consumo de cenizas fue de 301.97 en SSPi y superior a 212.37, 206.24 y 258.11 (gr de Cenizas /100 kg PV / día) en AD, SC y SF respectivamente ($P < 0.05$). El consumo de grasa (gr de grasa /100 kg PV / día), tuvo una relación inversa con el consumo de proteína, siendo mayor en los AD y SC ($P < 0.05$). El ($r^2 = 0.0403$) obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de CMS por el aforo y el encontrado con CNCPS fue bajo y el (CMEP=0.6849 (kg/100 kg PV /d)²) fue alto, surgiendo un enfoque diferente en la heurística de las

metodologías, mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos en el consumo bovino de animales en pastoreo.

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

Forage production and consumption in Colombian herds with diverse grazing systems including silvopastoral systems

Abstract

Tropical livestock farming, especially that based on the use of grass monocultures of low nutritional value, is characterized by low stocking rates and low productivity. Since traditional pasture management does not achieve the productivity and environmental sustainability goals expected from tropical livestock farming, silvopastoral models have been proposed as the choice models for the environmental and social reconversion required by livestock farming. Given that a large part of the satisfaction of these challenges is associated with forage productivity, it is necessary to validate the productive performance of these new alternatives compared to conventional production models. A study was carried out to evaluate the productive performance, including forage production and composition of different silvopastoral arrangements, in 17 cattle farms, characterized by possessing different pastoral arrangements (monoculture system = CS, scattered trees = ST, forage hedges = FH and intensive silvopastoral systems = iSPS) and located in five regional nuclei. In order to explain the level of association between forage supply and compositional quality and intake by cattle, the nutrient supply of the diets offered in the different farms was evaluated by means of the CNCPS software, in order to estimate the productive parameters and analyze the possible maximization of resources. The likelihood ratio between intake values obtained by the agronomic method and those estimated with CNCPS was estimated and a report was generated for Colombia on the productive performance of these systems as an alternative livestock production strategy to conventional systems. Forage offer (kg/ 100 kg LW/ day) was 4.55 in FH without differences with 4.12 in iSPS, but higher than 2.78 and 3.24 in ST and CS, respectively ($P < 0.05$). These two systems also offered more than 50% and 45% of crude protein and ash, respectively than what was offered in ST and CS ($P < 0.05$). Crude protein intake (g/100 kg LW/day) was 352 in FH and 294 in iSPS, compared to 141 and 152 in ST and CS, respectively ($P < 0.05$). Ash intake (g/100 kg LW/day) was 302 in iSPS and higher than 212, 206 and 258 in ST, CS and FH respectively ($P < 0.05$). Fat intake (g/100 kg LW/day) had an inverse relationship with protein intake, being higher in ST and CS ($P < 0.05$). The r^2 (0.04) obtained from the regression between the estimate of DMI (kg/100 kg LW/d) by the agronomic method and that found with CNCPS was low and the CMEP (0.68) was high, showing differences in the heuristics of these two methodologies for the maximum and minimum estimates of forage intake by the animals.

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

Introducción

La ganadería colombiana ocupa el 33.54% del área nacional, con un hato de 23.5 millones de cabezas de ganado, la gran mayoría manejadas en condiciones extensivas

(FEDEGAN 2016; ICA 2017) y cuyo común denominador es estar constituida principalmente por monocultivos de gramíneas de bajo valor nutricional (Rosales y Pinzón 2005) bajas cargas animales y bajos rendimientos productivos (Wassenaar et al 2007) La ausencia de prácticas adecuadas de manejo de praderas no garantiza un adecuado tiempo de recuperación, exponiendo a los suelos a procesos degradativos y resultando en eficiencias de uso de los forrajes a menudo menores al 50% (Aristizábal J y Londoño W 2002).

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

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

- Los prolongados períodos de espera para el establecimiento de los arbustos y árboles en los potreros, lo cual afecta el retorno en el flujo de efectivo por beneficios de la cría bovina.

- La percepción cultural de que el dosel arbóreo impone condiciones adversas a especies forrajeras megatérmicas (Andrade et al 2002; Souza De Abreu et al 2000).

- La falta de educación forestal de los ganaderos, que no permite ver la forestación de sus parcelas como un ahorro programado y de convenio energético con el ambiente.

Estas limitantes han sido descritas de manera somera, sin que la contraparte productiva favorable sea clara para el ganadero. Por tal razón, es deseable calcular y monitorear ofertas forrajeras, consumos y cargas en fincas ganaderas de forma rápida y precisa. Harmony et al (1997) y López-Guerrero et al (2011) encontraron que los métodos indirectos de estimación visual poseen una buena capacidad para estimar la cantidad de forraje en un predio; siguiendo los lineamientos descritos por (Haydock y Shaw 1975), se obtienen datos que se asocian a la variación de manejo entre las regiones y que permiten comparar diferentes sistemas de producción de forraje en la eficiencia del uso del suelo, productividad, calidad forrajera y consumo. La variación en el consumo voluntario de forraje es indudablemente el principal determinante del estatus nutricional y productivo de los rumiantes (Correa 2009; Mayes y Dove 2000). Esta variación es mayor y más difícil de predecir con animales en pastoreo, ya que los requerimientos del ganado bajo estas condiciones pueden ser modificados por la actividad del pastoreo, las condiciones ambientales y el efecto de la selección sobre el valor nutricional y la digestión de la dieta. La estimación de este parámetro en pastoreo ha sido realizada mediante estimación agronómica (Walters y Evans, 1979) o mediante el uso de marcadores internos y externos en la dieta (Raymond 1955; Mayes 1986). Estos últimos generalmente son preferidos en investigación por su mayor precisión en las estimaciones de ingesta que aquellos basados en muestreo directo (Raymond 1969).

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

Materiales y métodos

Procedimiento general

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

Zonas de estudio

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

Muestreo y medidas

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

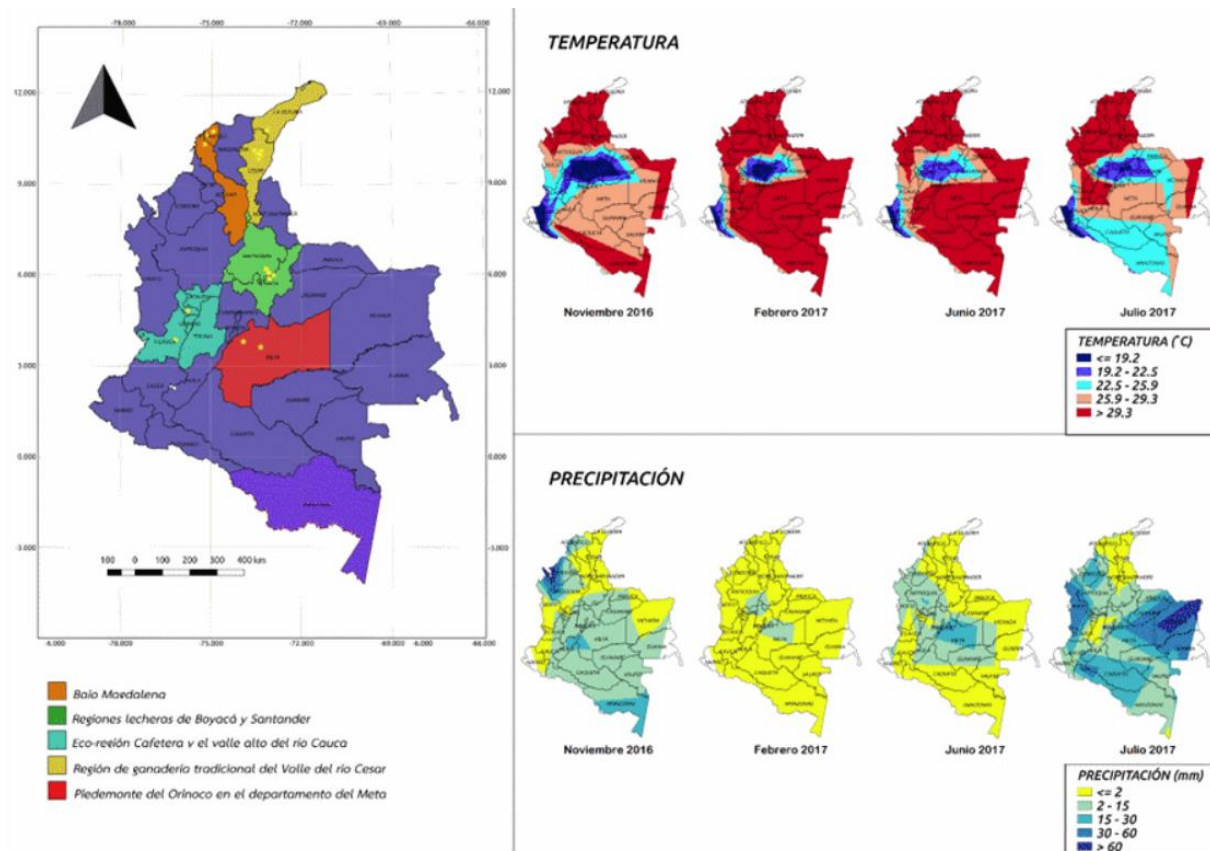


Figura 1. Ecorregiones ganaderas de Colombia y valores de temperatura y precipitación durante el periodo de estudio

Tabla 1. Características de los sistemas productivos en las fincas evaluadas

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

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

De cada franja asignada en el día se tomaron muestras representativas del forraje en oferta. En estas muestras se determinó el contenido de materia seca (MS) por el método gravimétrico, usando una estufa de aire forzado. El contenido de proteína cruda (PC, %) se determinó por el método de Kjeldahl, según NTC 4657 (1999) ; la fibra en detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), según la técnica secuencial de Van Soest et al (1991) ; el extracto etéreo, por extracción Soxhlet por inmersión (NTC 668, 1973), y las cenizas (Cen), por incineración directa en una mufla a 500 °C, según AOAC 942.05 (2005). (Thiex et al 2012)

El consumo voluntario de materia seca se estimó mediante el modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System CNCPS (Fox et al 2004) el cual también predice la productividad del ganado vacuno a partir del contenido nutricional de la dieta. El uso del CNCPS es un buen complemento a la técnica de aforos, que está más encaminada a la evaluación a nivel de predio en el manejo de las praderas, pues el CNCPS ofrece información detallada sobre factores limitantes del metabolismo ruminal y del aporte de nutrientes, que son sumamente útiles para complementar la información obtenida mediante la metodología de aforos.

Tratamientos

Para los propósitos de este trabajo, los tratamientos o grupos de interés para fines de comparación estuvieron constituidos por los diferentes sistemas de producción de forraje representados en los predios evaluados: sistema monocultivo, árboles dispersos, setos forrajeros y silvopastoriles intensivos (Figura 2).

Sistema monocultivo (SC)

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

Árboles dispersos (AD)

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

Setos forrajeros (SF)

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

Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi)

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

Análisis estadístico

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

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

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

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

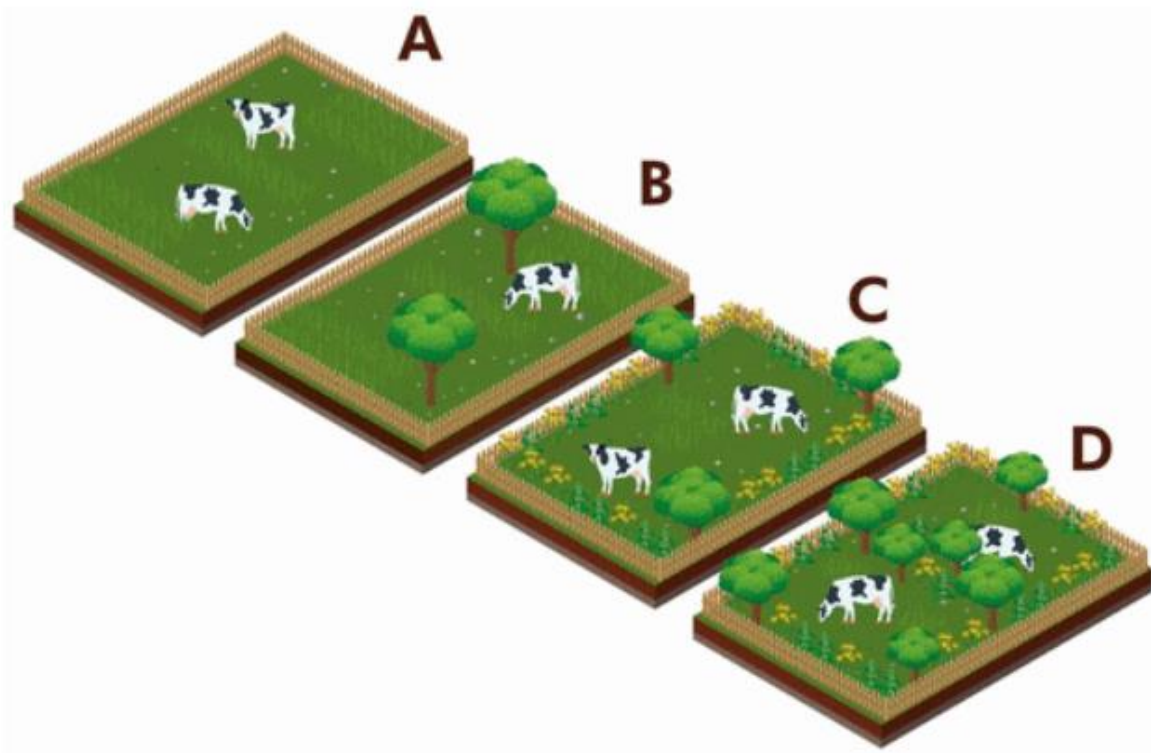


Figura 2. Sistemas de producción evaluados: A) Sistema monocultivo; B) Árboles dispersos; C) Setos forrajeros; D) Sistemas silvopastoriles intensivos

Resultados y discusión

Oferta de forraje y nutrientes

La oferta forrajera fue significativamente mayor en SF y SSPi sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos y seguida de la de AD y SC, también sin diferencia estadísticamente significativas entre ellos. Es importante destacar la diferencia en el tipo de pastoreo que realizan los animales en los diferentes modelos productivos. En los SF, por su conformación estructural, el pastoreo se limita el acceso al forraje por parte de los animales dentro del espacio delimitado por la cerca eléctrica. En cambio, en los SSPi, AD y SC se presenta un patrón de consumo más intenso, en el cual las plantas, además de ser sometidas al efecto del ramoneo en toda su área foliar, también están expuestas al efecto de pisoteo y la compactación del suelo. Estos factores deben recibir más atención, puesto que pueden limitar la recuperación de las praderas y con ello disminuir la producción de FV en los ciclos de pastoreo posteriores. Indiscutiblemente, la incorporación de arbustos no solo aumenta la productividad y calidad del forraje, sino que, al existir mayor diversidad de especies vegetales, se disminuye la presión de pastoreo del ganado hacia una especie forrajera en particular, mientras que los periodos cortos de ocupación disminuyen el riesgo de ausencia forrajera en periodos climáticos críticos.

Hubo diferencias estadísticamente significativas en la oferta de proteína entre los diferentes arreglos, siendo el SF superior a los demás arreglos, seguido del SSPi y en último lugar los AD y el SC. Se debe precisar que los SF, a pesar su mayor oferta de MS comparado con el SSPi, tiene desventajas, como

descartar la posibilidad de implementar arbustos en toda el área y de exigir un costo adicional por el corte y suministro del forraje, pues en los otros sistemas, son los animales los que cosechan el material forrajero. El SC es el arreglo que presentó el menor rendimiento productivo y se caracteriza por praderas conformadas estrictamente en monocultivos de diversas gramíneas forrajeras, que dependiendo de la explotación ganadera (carne o leche) reciben o no enmiendas; es altamente rentable, pues se usufructúa al máximo la capacidad del rumiante para producir carne a partir del pasto, pero puede ser dependiente del uso de insumos derivados del petróleo, poco amigable con el ambiente por a su baja capacidad de reciclaje de nutrientes; además, es altamente susceptible a periodos climáticos críticos.

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

El análisis exploratorio usando PCA identificó que el 83.2 % de la varianza de las cinco variables usadas para elaborar el PCA (cuatro de oferta y una de carga animal), se explicó por las dos primeras componentes principales (Figura 3A). El primer componente explicó el 59.5 % de la varianza y se configuró por la combinación lineal de Oferta de FDN, cenizas, grasa y proteína. El segundo componente explicó el 23.6 % y está comprendido por la combinación lineal de oferta de proteína y cenizas. Hubo una correlación baja pero positiva entre las variables de oferta de nutrientes y el consumo de los miSCos. En el caso de las estimaciones de consumo por la metodología de aforo, se encontró un consumo medio máximo esperados de los animales en alrededor de 2.247 kg MS/100kgPv/día con un $r^2= 0.223$ (Figura 3B) y consumos medios máximos esperados de 1.91 kg MS/100kgPv/día en la estimaciones realizadas por el software CNCPS, con un $r^2= 0.4734$ (Figura 3C).

Tabla 2. Oferta de forraje y consumo de materia seca y nutrientes en los cinco modelos productivos (medias y desviaciones estándar)

Información general	Sistemas de Siembra				p-value
	AD	SC	SF	SSPi	
	OFERTA				
Potreros evaluados, n	19	31	34	36	
Días de descanso, d	57.63 ± 4.20 ^a	49.06 ± 9.87 ^b	54.02 ± 7.68 ^a	54.72 ± 10.33 ^a	2.35e-05
Área, m ² / 100 kg Pv/día	11.30 ± 4.06 ^b	13.08 ± 2.54 ^a	10.76 ± 2.53 ^b	11.44 ± 3.31 ^b	4.37e-06
Oferta forrajera, unidad / 100 kg Pv/ día					
Forraje verde, kg	13.88 ± 3.95 ^b	15.38 ± 8.59 ^b	22.93 ± 7.22 ^a	21.94 ± 5.80 ^a	0.0006
Materia seca, kg	2.78 ± 0.78 ^b	3.24 ± 1.64 ^b	4.55 ± 1.38 ^a	4.12 ± 1.27 ^a	0.0009
Proteína cruda, g	244.34 ± 60.21 ^c	257.29 ± 179.06 ^c	689.01 ± 407.77 ^a	526.25 ± 326.44 ^b	7.37e-11
FDN, g	1983.1 ± 568.0	2345.7 ± 1071.2	2755.9 ± 1062.6	2486.3 ± 823.6	0.371
FDA, g	1133.8 ± 336.5	1342.4 ± 575.0	1594.1 ± 534.8	1605.0 ± 451.0	0.0747
Grasa, g	76.92 ± 28.39	82.72 ± 42.96	94.51 ± 56.40	73.39 ± 44.16	0.685
Cenizas, g	303.71 ± 94.14 ^b	315.09 ± 182.43 ^b	502.95 ± 175.18 ^a	544.97 ± 157.64 ^a	1.84e-06
	CONSUMO				
Potreros evaluados, n	3	5	9	11	
Peso de los animales, kg	287 ± 39.03	426.60 ± 41.26	360 ± 71.54	386.36 ± 72.10	0.2337
Descanso de la pradera, d	56.67 ± 5.77	50.4 ± 9.52	48.77 ± 8.98	50.9 ± 8.61	0.281
Ocupación de la pradera, d	4.96 ± 2.69	14.99 ± 18.60	17.61 ± 12.81	13.54 ± 12.90	0.868
Área, m ² /100 kg PV/día	13.39 ± 3.63 ^a	13.94 ± 2.67 ^a	8.68 ± 2.29 ^c	10.63 ± 2.89 ^b	0.0088
Carga animal, UGG/ha	2.83 ± 0.64	2.84 ± 1.14	4.21 ± 0.760	3.74 ± 1.52	0.05802
Consumo, unidad /100 kg PV / día					
Forraje verde, kg	9.39 ± 1.64 ^c	10.032 ± 1.60 ^{bc}	11.53 ± 2.54 ^{ab}	11.86 ± 0.897 ^a	0.018
Materia seca, kg	1.86 ± 0.160	2.02 ± 0.24	2.17 ± 0.47	2.34 ± 0.424	0.157
Proteína cruda, g	141.36 ± 4.52 ^b	151.99 ± 34.92 ^b	352.30 ± 147.89 ^a	293.77 ± 85.66 ^a	0.0018
FDN, g	1288.60 ± 12.11 ^a	1453.95 ± 218.32 ^a	1383.42 ± 351.83 ^a	1374.73 ± 287.09 ^a	0.0103
FDA, g	713.80 ± 51.14	823.64 ± 143.19	829.47 ± 174.18	889.84 ± 168.4	0.107
Grasa, g	56.60 ± 10.36 ^a	55.78 ± 10.94 ^a	42.77 ± 16.45 ^b	43.02 ± 14.76 ^b	0.000616
Cenizas g	212.37 ± 42.07 ^{bc}	206.24 ± 59.51 ^c	258.11 ± 55.82 ^b	301.97 ± 63.71 ^a	0.012
Consumo, %					
Consumo, kg Ms /kg PM	7.66 ± 0.72	9.2 ± 1.17	9.39 ± 2.08	10.31 ± 1.84	0.172
Eficiencia de pastoreo, %	68.34 ± 8.5	55.24 ± 21.69	53.11 ± 14.01	63.84 ± 18.53	0.175

Las medias con la misma letra en una fila no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

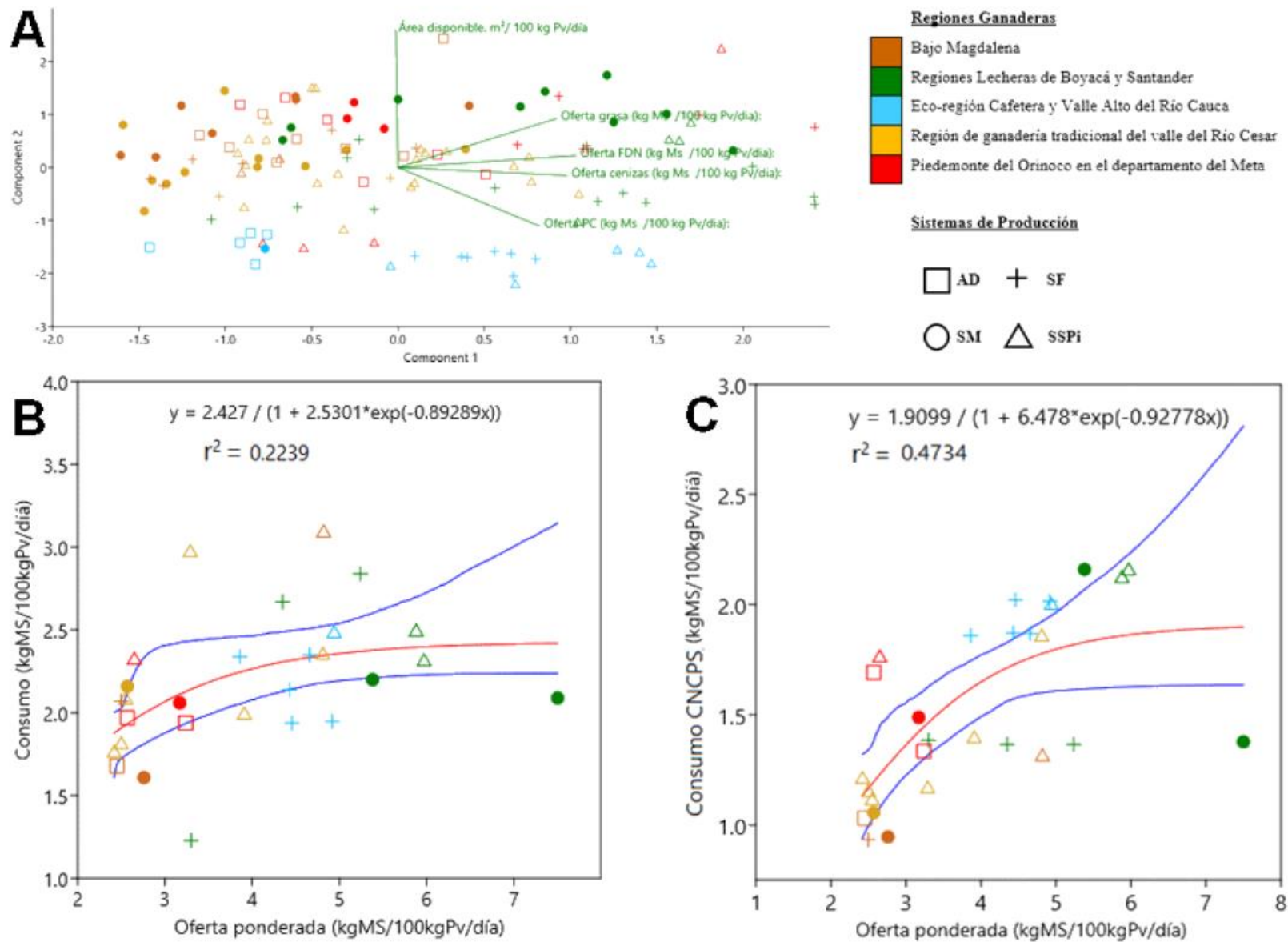


Figura 3. Análisis de componentes principales (PCA) y regresión de la oferta forrajera con el consumo estimado con metodología de aforo y CNCPS

En la evaluación zonal del desempeño productivo de los arreglos, es importante resaltar el aumento de oferta de MS y PC de los SF y SSPi con respecto a AD y SC (Figura 6A), principalmente en la Región de ganadería tradicional del valle del Río Cesar, Ecorregión Cafetera y Valle Alto del Río Cauca y Regiones Lecheras de Boyacá y Santander (véase Figura 4). El contenido de ceniza siguió el miSCo patrón que el de PC (Figura 6D), pero al comparar por zonas este contenido fue mayor en el Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta y las Regiones Lecheras de Boyacá y Santander (véase figura 5).

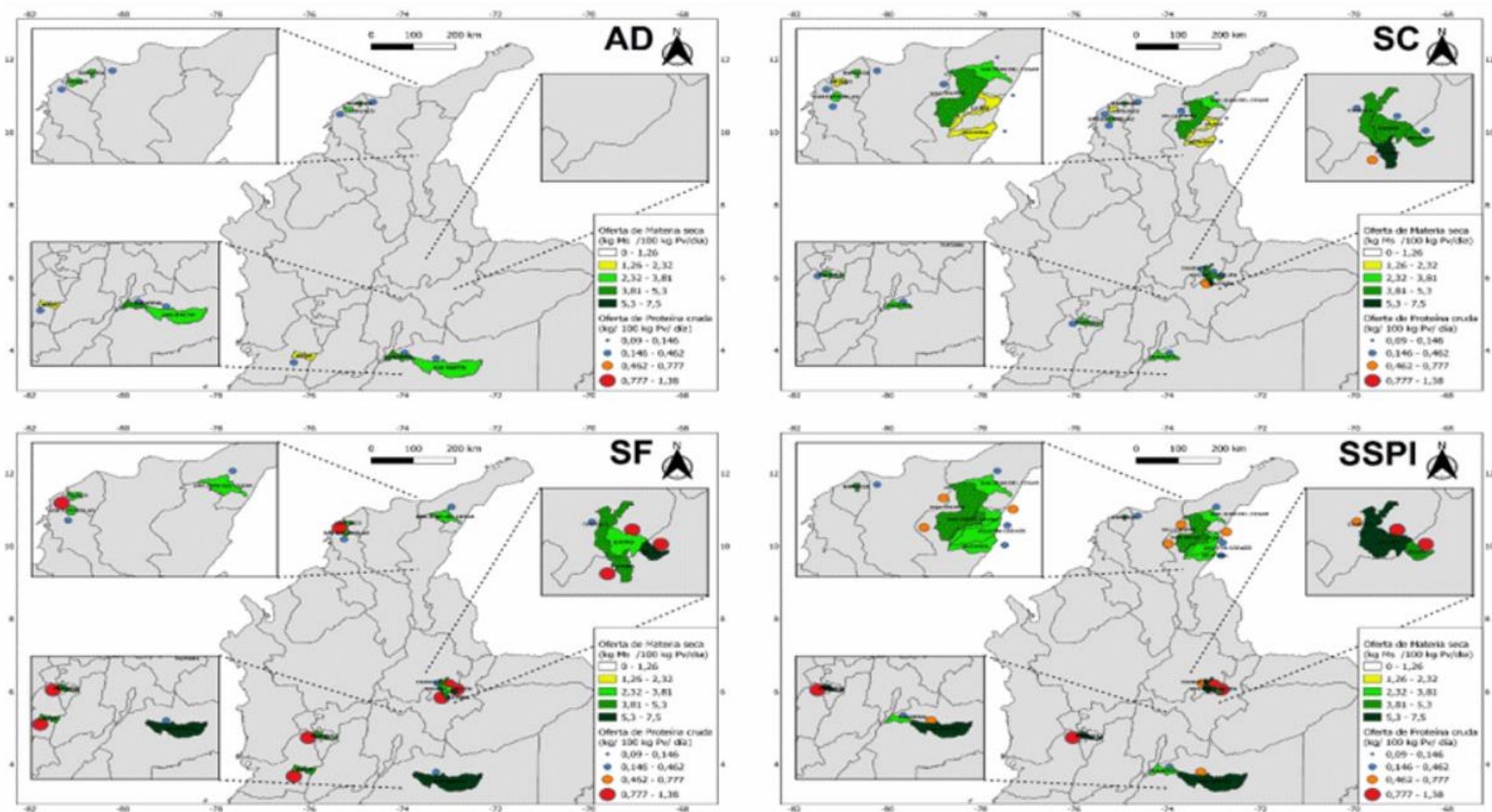


Figura 4. Mapa de oferta forrajera de MS y su respectivo contenido proteico

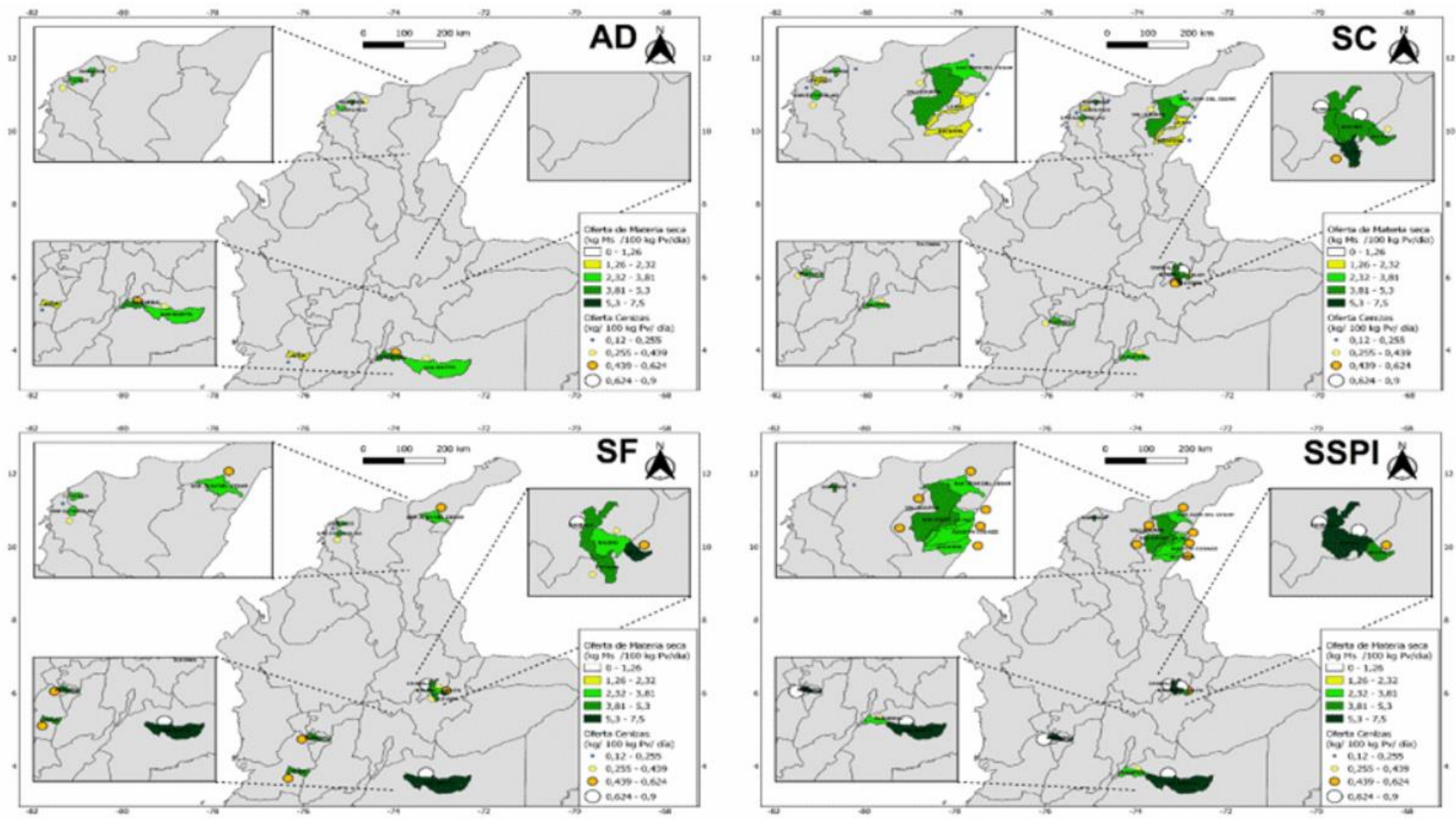


Figura 5. Mapa de oferta forrajera de MS y su respectivo contenido de minerales

La oferta de FDN no presentó un patrón tan marcado entre los sistemas evaluados, pero entre regiones es muy claro como la zona de la Región Lecheras de Boyacá y Región de ganadería tradicional del valle del Río Cesar presentan los mayores aportes de fibra en la dieta de los animales. En la primera zona de vida, esto está asociado a la mayor producción de MS, parámetro con el que el FDN posee una proporcionalidad positiva (Gráfico 6C). Ya en la zona de Región de ganadería tradicional del valle del Río Cesar, la explicación más probable es la baja calidad de las pasturas a las que tienen acceso los animales, pues es un ambiente con una época de verano muy marcada, lo que afecta la lignificación de los miSCos.

La oferta de grasa, al igual que la de FDN, no presentó diferencias claras entre sistemas, pero a nivel regional, la zona Piedemonte del Orinoco en el departamento del Meta tuvo la mayor oferta de grasa de todo el estudio (Figura 6B).

La oferta forrajera y su relación con el consumo bovino

La estimación del consumo de materia seca (CMS; kg /100 kg PV / día) no presentó diferencia entre los arreglos de siembra comparados (véase Tabla 3). Es importante resaltar el diferencial en consumo de proteína, el cual fue al menos dos veces mayor en los SF y SSPi que en los AD y SC. El consumo de grasa, tuvo una relación inversa con el consumo de proteína, siendo mayor en los AD y SC. Una posible explicación a esto es la mayor participación de las gramíneas en las dietas de AD y SC, las cuales poseen mayores contenidos de grasa que la *Tithonia diversifolia*, que sería un componente importante en la dieta en los sistemas SF y SSPi. Por su parte, el consumo de cenizas (minerales) fue mayor en los SSPi, seguido de los SF y luego de los AD y SC.

En la evaluación regional del consumo encontrado en los diferentes arreglos, es importante resaltar el aumento de carga animal de los sistemas de siembra SF y SSPi al contraste de AD y SC en todas las zonas de ganadería evaluadas por este estudio (Figura 7); con lo cual se resalta que en sistemas de siembra con una mayor complejidad botánica caso SSPi y SF, no solo permiten un mayor consumo por animal en forraje verde (resaltando el aporte de agua en zonas donde escasea este recurso), sino que también permiten un suministro mayor de proteína y minerales principalmente debido a un número mayor de animales por área de producción.

En la Tabla 3 se presenta la comparación en la estimación del CMS realizada con el método del aforo y con CNCPS (Fox et al 2004)

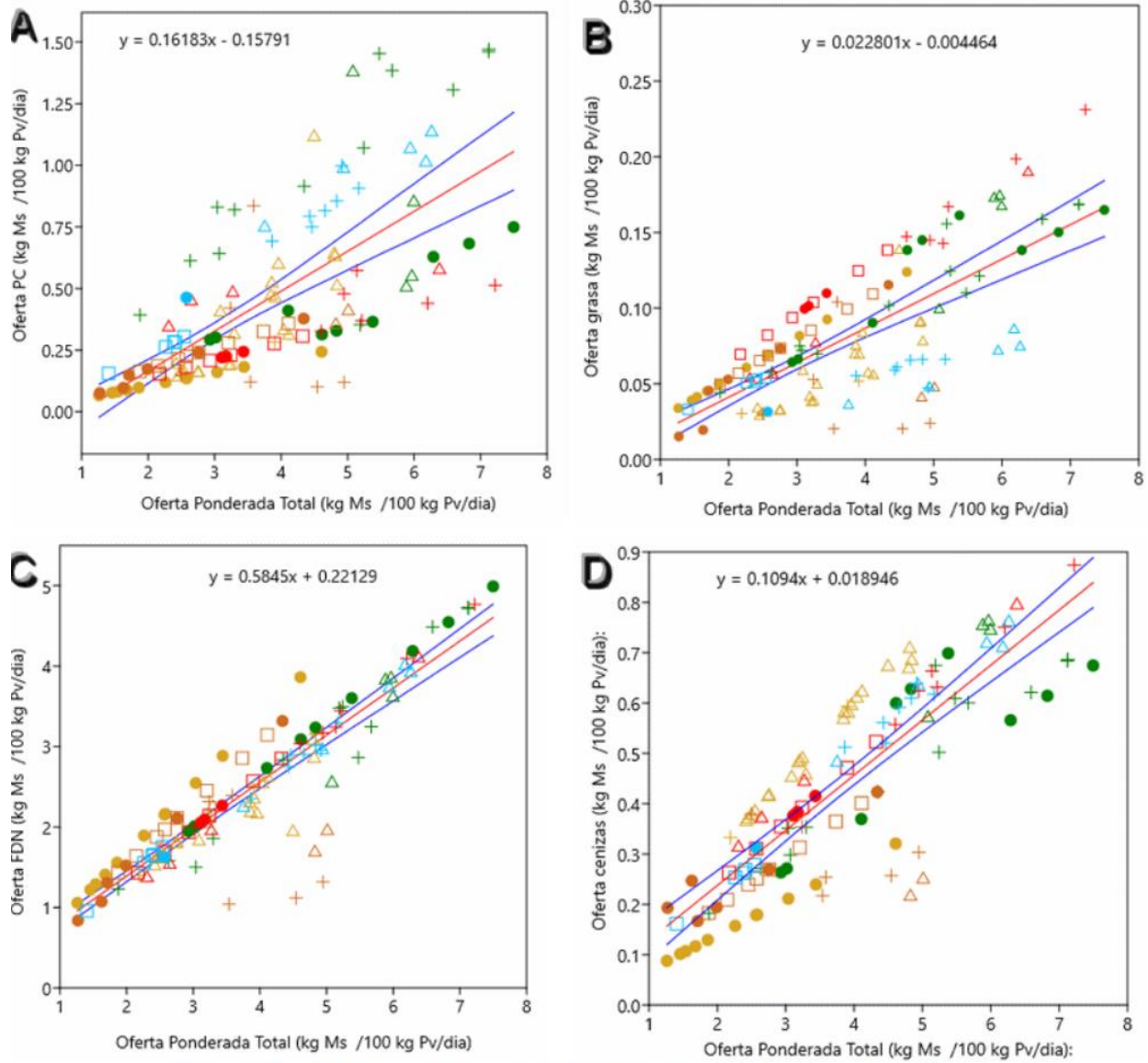


Figura 6. Valores de nutrientes ajustados en función de la oferta forrajera e intervalos de confianza del 95%

Figura 6. Valores de nutrientes ajustados en función de la oferta forrajera e intervalos de confianza del 95%

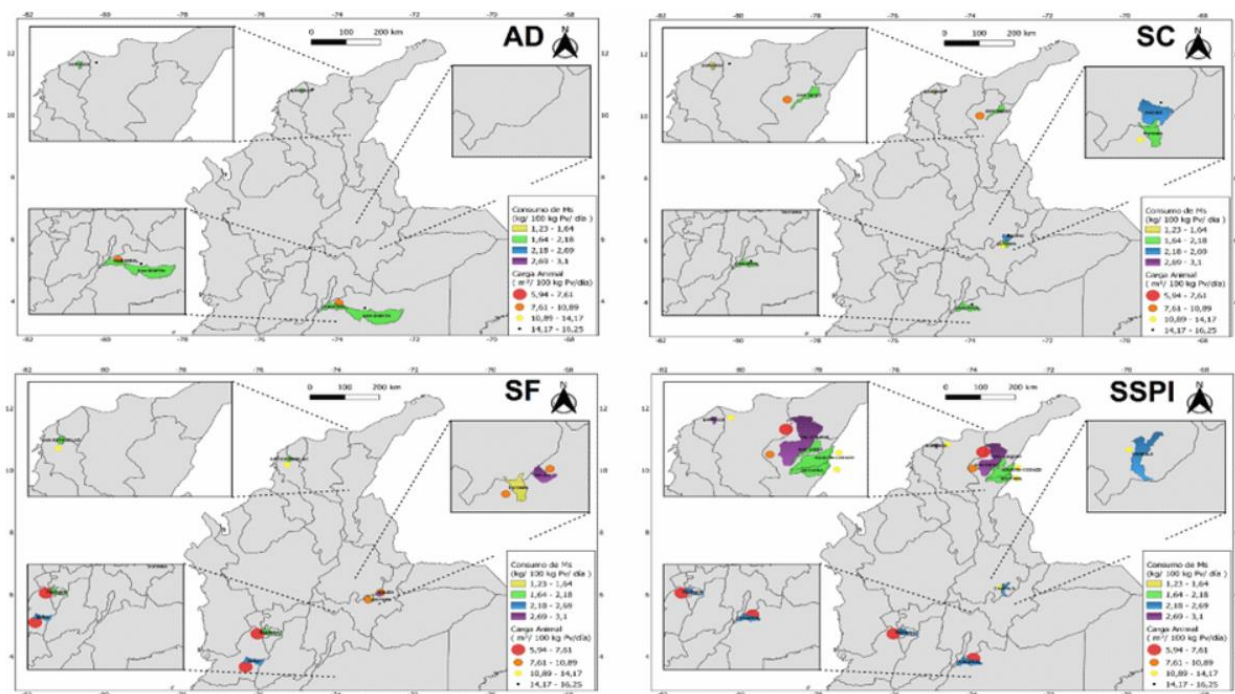


Figura 7. Mapa de Consumo de materia seca (CMS) y su respectiva carga animal

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

Tabla 3. Consumo de materia seca (CMS; kg/100 kg PV /día) y comparación de la estimación del CMS utilizando técnica de aforos y CNCPS (Fox et al 2004)

Estimador	Promedio ± D.E.
Técnica de Aforo	2.18 ± 0.409
CNCPS	1.54 ± 0.399
EEM	0.163
<i>p value</i>	2.32e-07

	R ²	CMEP (kg/100 kg PV /d) ²	CMEP			EMP (kg/d100 kg PV/d)	ERP (%)	Dif (kg/100 kg PV /d)
			Medio	Lineal	Aleatorio			
CNCPS	0.04	0.69	0.41	0.13	0.15	0.83	0.38	0.64

El r^2 obtenido de la regresión encontrada entre el estimado de CMS por el aforo y el encontrado con CNCPS fue bajo y el CMEP fue alto (véase Figura 8). Esto sugiere un enfoque diferente en la heurística de las metodologías, pero que podrían tomarse como mutuamente complementarias para un rango de valores de máximos y mínimos

en el consumo bovino de animales en pastoreo, con baja inversión y con aplicabilidad en campo si se cuenta con técnicos capacitados.

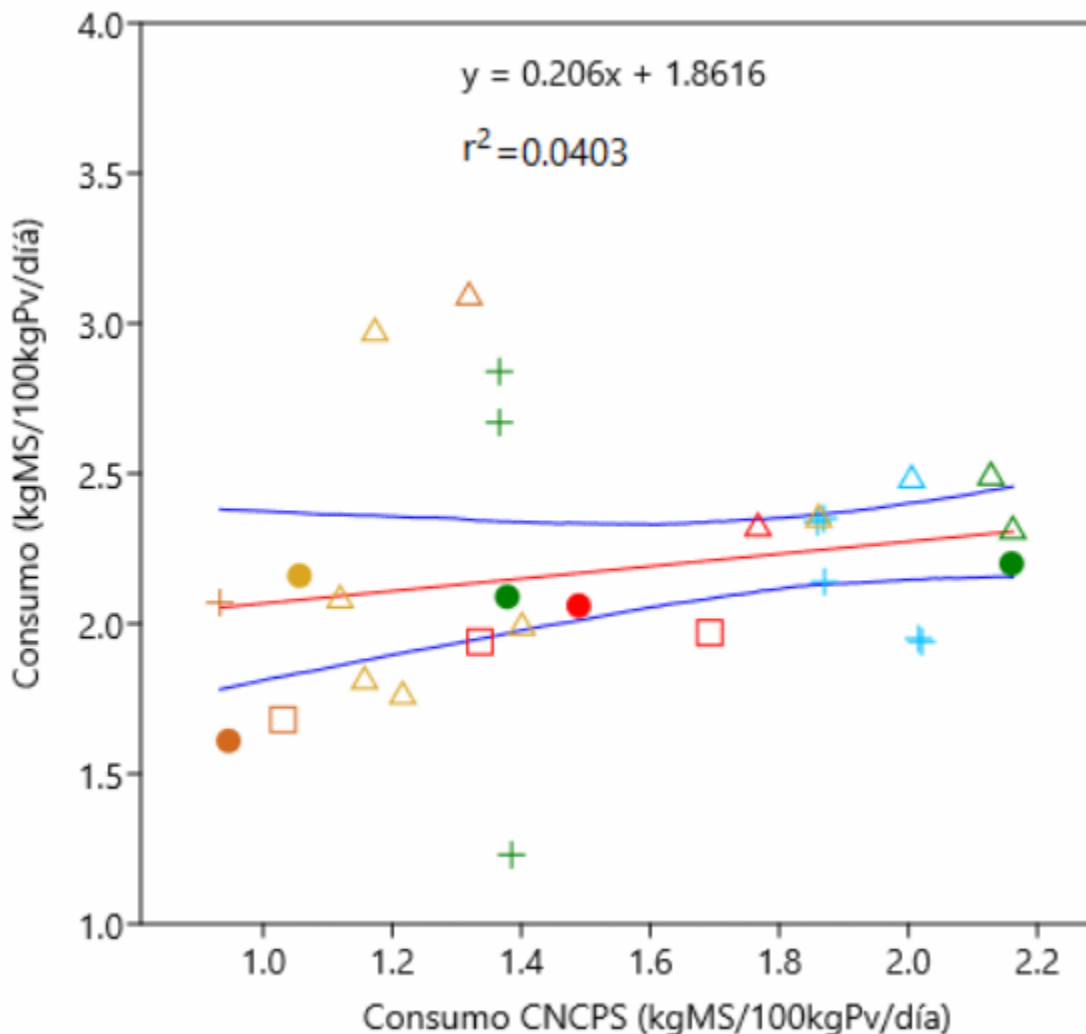


Figura 8. Ecuaciones de regresión entre el CMS estimado con CNCPS (Fox et al 2004) y la metodología de aforo

Conclusiones

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

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

Bibliografía

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Haydock, K P and Shaw NH 1975 The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 15(76).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Received 5 September 2022; Accepted 17 October 2022; Published 1 January 2023