

Modelo productivo

de **carne bovina** en la región Caribe colombiana

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana

Autores

Sergio Mejía Kerguelén
Judith Martínez Atencia
Diana Sánchez López
Hugo Cuadrado Capella
Lorena Aguayo Ulloa
Antonio Martínez Reina
Lorena Mestra Vargas
Jeyson Garrido Pineda
Matiluz Doria Ramos
Ketty Ibañez Miranda
Jorge Mejía Luquez
Andrea Sierra Alarcón
Luis Sánchez Rodríguez

Emiro Suárez Paternina
Liliana Atencio Solano
Juan Esteban Pérez García
José Luis Rodríguez Vitola
Olga Mayorga Mogollón
José Jaime Tapia Coronado
Jazmín Pérez Pazos
Juan Carlos Fernández Niño
Yacerney Paternina Paternina
Diego Andrés Medina Herrera
Claudia Ariza Nieto
Diana Parra Forero
Edgar Mancipe Muñoz

Mosquera, Colombia, 2019

Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana/ Sergio Mejía Kerguelén [y otros veintiseis]-- Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2019.

175 páginas

Incluye referencias bibliográficas, tablas, fotos

ISBN E-book: 978-958-740-272-8

1. Ganado bovino 2. Producción de carne 3. Calidad del suelo 4. Forrajes 5. Propiedades físico - químicas suelo 6. Microorganismos del suelo 7. Alimentación de los animales 8. Sistemas agroforestales 9. Recursos genéticos animales 10. Colombia.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)
Centro de Investigación Turipaná. Kilómetro 13, Vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal: 230550, Colombia

Esta publicación es el resultado del proyecto de: "Evaluación multilocal de nuevo germoplasma forrajero"; "Estrategias ecoeficientes para optimizar el establecimiento y manejo de pastos y forrajes en sistemas de producción"

Fecha de recepción: 5 de junio de 2018
Fecha de evaluación: 29 de noviembre de 2018
Fecha de aceptación: 13 de febrero de 2019

Colección Transformación del agro

Publicado en Mosquera, Colombia, mayo de 2019

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co

Editoras: Liliana Gaona García y Ana María Castillo M.
Corrección de estilo: Paola González Osorio
Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Citación sugerida: Mejía Kerguelén, S., Suárez Paternina, E., Martínez Atencia, J., Atencio Solano, L., Sánchez López, D., Pérez García, J. E., ... Mancipe Muñoz, E. (2019). *Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

DOI <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.740-272-8>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Presentación	11
Capítulo I	
Calidad del suelo para la producción de forrajes en sistemas ganaderos. 13	
Introducción	13
Diagnóstico de calidad del suelo	14
Propiedades físicas.....	14
Propiedades químicas	20
Toma de muestra de suelo	20
Recuperación de praderas degradadas.....	21
Indicadores de calidad de suelos.....	22
Materia orgánica del suelo y reciclaje de nutrientes	23
Retorno de nutrientes por residuos vegetales	24
Retorno de nutrientes por excretas y hojarasca.....	26
Fijación de nitrógeno al suelo por tormentas eléctricas.....	30
Referencias.....	30
Capítulo II	
Los microorganismos del suelo: alternativa para mejorar la productividad de los sistemas ganaderos.....36	
Introducción	36
Grupos funcionales	41
Microorganismos solubilizadores de fósforo	41
Microorganismos fijadores de nitrógeno	44
Microorganismos productores fitohormonas.....	46
Microorganismos productores sideróforos.....	48
Microorganismos productores de antibióticos	49
Conclusión.....	50
Referencias.....	50
Capítulo III	
Importancia de las leguminosas en los sistemas ganaderos.....59	
Participación de las leguminosas en las praderas.....	62
Conclusiones.....	69
Referencias.....	69
Capítulo IV	
Cobertura arbórea y fauna edáfica asociada a sistemas ganaderos72	
Fauna edáfica asociada al modelo de producción de carne	77
Conclusiones.....	80
Referencias.....	81

Capítulo V

Utilización de recurso genético animal adaptado a las condiciones del Caribe húmedo colombiano 84

Introducción	84
El cruzamiento de Romosinuano por Brahman como alternativa para producir un biotipo adaptado	86
Indicadores de crecimiento del predestete del biotipo F1 Romosinuano por Brahman	87
Conclusión.....	90
Referencia	91

Capítulo VI

Implementación del modelo de producción de carne 94

Pastura	95
Pastoreo.....	96
Potreros	96
Agua.....	98
Suplementación mineral	99
Estimación de la carga animal bajo pastoreo rotacional	100
Referencias.....	101

Capítulo VII

Ambiente y manejo presacrificio en el ganado de carne y su impacto sobre el bienestar animal, la producción y la calidad de la carne 102

Introducción	102
Contextualizando el bienestar animal en la ganadería	105
Ambiente y manejos sobre la fisiología, el comportamiento y el bienestar de los animales	108
Efecto del ambiente sobre el bienestar animal	108
Efecto del manejo presacrificio sobre el bienestar animal.....	112
Arreo o conducción de animales.....	112
Transporte	118
Problemas de bienestar animal durante el manejo presacrificio y sus efectos sobre la cantidad y la calidad de la carne.....	121
Pérdida de peso	124
Corte oscuro e inadecuado pH de la carne.....	124
Traumatismos, hematomas en la canal	126
Consideraciones finales	127
Referencias.....	127

Capítulo VIII

Modelo de producción de carne con el uso de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle medio del río Sinú 132

Caracterización del sistema de pastoreo rotacional intensivo	134
Conclusiones.....	142
Referencias.....	142

Capítulo IX

Estrategias de mitigación de la emisión de metano entérico en modelos de producción de carne 145

Efectos del cambio climático sobre los sistemas ganaderos	145
Estrategias para mitigar y adaptar la ganadería al cambio climático	146
Contexto de la producción ganadera en el Caribe colombiano.....	147
Emisión de metano entérico de bovinos F1 (Romosinuano x Brahman) en praderas de <i>Megathyrus maximus</i> cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa	149
Respuesta productiva, intensidad de emisión de metano entérico y factor de emisión en un modelo de producción de carne con animales F1 (Romosinuano x Brahman) en praderas de <i>Megathyrus maximus</i> en el valle del Sinú	151
Referencias.....	155

Capítulo X

Análisis de la eficiencia económica de un modelo de producción de carne bovina 157

Valoración de índices económicos en un modelo de producción de carne de 50 ha en el valle del Sinú	158
Desempeño y coeficientes técnicos de producción obtenidos en el modelo de producción de carne.....	161
Análisis de los retornos económicos del modelo de producción de carne	161
Conclusiones.....	163
Referencias.....	163

Los autores 164

Lista de figuras

Figura 1	Medición de la resistencia mecánica del suelo.....	17
Figura 2	Resistencia del suelo a la penetración (MPa) antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre	18
Figura 3	Velocidad de infiltración del agua al suelo antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre.	19
Figura 4	Modelo conceptual del retorno de nutrientes al suelo en sistemas con árboles.....	25
Figura 5	Balance potencial de nutrientes en un sistema ganadero de carne en el valle del Sinú	29
Figura 6	Hojarasca presente en suelo de sistemas silvopastoriles	37
Figura 7	Microorganismos asociados al suelo	38
Figura 8	Microorganismos benéficos asociados a la rizósfera (colonias macroscópicas).....	40
Figura 9	Hongos asociados a la rizósfera.....	42
Figura 10	Asociaciones simbióticas establecidas entre hongos y plantas micorrizas arbusculares	43
Figura 11	Raíces de leguminosas con nódulos de bacterias fijadoras de nitrógeno ...	45
Figura 12	Nódulos de <i>Teramnus labialis</i>	46
Figura 13	Sistema rotacional de potreros con árboles dispersos en las praderas de <i>Megathyrsus maximus</i> cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú	74
Figura 14	Distribución de la sombra en las épocas seca y húmeda en distintas coberturas arbóreas en praderas de <i>Megathyrsus maximus</i> cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú	76
Figura 15	Abundancia absoluta (indiv./m ²) de los órdenes de fauna edáfica...	78
Figura 16	Construcción de galerías en heces por los escarabajos.....	80
Figura 17	Animal F1 del cruce Romosinuano x Brahman	87
Figura 18	Sistema rotacional de praderas	98
Figura 19	Bebedero para suministro de agua a los animales en un sistema de ceba	99
Figura 20	Comportamiento animal.....	111

Figura 21	Manga de manejo animal abierta, con listones discontinuos que permiten la formación de luces y sombras	114
Figura 22	Manejo del ganado	115
Figura 23	Los animales movilizados de forma ordenada generalmente siguen a un líder del rebaño	115
Figura 24	Los animales se mantienen en su sitio, ya que el vaquero no ha entrado aún en su zona de fuga.....	116
Figura 25	Secuencia de movimientos para hacer avanzar animales en una manga de manejo	117
Figura 26	Nivel de estrés necesario para afectar los diversos indicadores de bienestar animal	123
Figura 27	Biotipo animal (Romosinuano x Brahman) utilizado en ciclos de ceba en el valle del Sinú.....	135
Figura 28	Cuantificación de metano entérico con sensor láser en animales F1 (Romosinuano x Cebú) en el CI Turipaná.....	150
Figura 29	Intensidad de la emisión de metano por ganancia diaria de peso corporal: YM: porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano; FE: factor de emisión, $\text{kg CH}_4.\text{cabeza}^{-1}.\text{año}^{-1}$	152
Figura 30	Ganancia diaria de peso corporal y porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano	153

Lista de tablas

Tabla 1	Clasificación del suelo de acuerdo con su resistencia mecánica	16
Tabla 2	Clasificación de la velocidad de infiltración básica del suelo	16
Tabla 3	Densidad aparente del suelo según su clase textural	20
Tabla 4	Especies de leguminosas herbáceas en sistemas ganaderos de Colombia	60
Tabla 5	Ganancia de peso animal con el uso de leguminosas	61
Tabla 6	Arbóreas registradas en praderas de <i>Megathyrus maximus</i> cv. Mombasa y AGROSAVIA Sabanera asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú	74
Tabla 7	Densidad y medidas dasométricas de los árboles presentes en las praderas asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú	75
Tabla 8	Medias para peso al nacimiento (PN) y peso al destete ajustado (PDA) en los grupos raciales Cebú (CE), Romosinuano (RS) y su cruce (RS x CE)	88
Tabla 9	Temperatura ambiental y humedad en tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el CI Turipaná	110
Tabla 10	Temperatura rectal, temperatura de piel y frecuencia respiratoria para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el CI Turipaná ...	110
Tabla 11	Principales factores de estrés durante el transporte de ganado	120
Tabla 12	Consecuencias de un inadecuado manejo presacrificio y estrés del ganado	123
Tabla 13	Factores que pueden producir corte oscuro	125
Tabla 14	Composición botánica de las praderas	136
Tabla 15	Composición nutricional promedio de las pasturas evaluadas durante los cuatro ciclos de ceba realizados en el valle del Sinú	137
Tabla 16	Variación en la composición nutricional de las pasturas durante las épocas de sequía y lluvias en el valle del Sinú	138
Tabla 17	Ingestión promedio de materia seca, proteína y energía durante los cuatro ciclos de ceba	138
Tabla 18	Desempeño productivo de los animales durante los cuatro ciclos de ceba en el valle del Sinú	139

Tabla 19	Variables de calidad de la canal y físicoquímicas de la carne de bovinos cruce de Romosinuano x Cebú bajo pastoreo en praderas de <i>Megathyrus maximus</i> cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle del Sinú durante el cuarto ciclo de ceba 141
Tabla 20	Comparación de la respuesta productiva y el impacto ambiental del sistema durante la etapa de levante-ceba de animales F1 cruce Romosinuano x Brahman bajo condiciones de pastoreo en <i>Megathyrus maximus</i> cv. AGROSAVIA Sabanera 153
Tabla 21	Indicadores económicos que se pueden evaluar en un modelo de producción de carne 158
Tabla 22	Costos de establecimiento de las praderas por hectárea 160
Tabla 23	Costos de producción de bovinos de ceba en una finca de 50 ha en el valle del Sinú 160
Tabla 24	Parámetros productivos de bovinos de ceba en praderas de AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle del Sinú 161
Tabla 25	Análisis de los retornos económicos del sistema de ceba de bovinos en 50 ha en el valle del Sinú 162

Presentación

La ganadería juega un papel importante en Colombia, pues a nivel nacional cubre aproximadamente 31 millones de hectáreas (Rodríguez et al., 2018); genera alrededor del 19 % del empleo agropecuario rural y cerca del 6 % del empleo total nacional (Paz, 2018). Sin embargo, este sector ha sido ampliamente cuestionado por el impacto generado sobre el medio ambiente, principalmente por factores como la deforestación, la compactación, la erosión, la emisión de gases, entre otros. A lo anterior, se suma la limitada competitividad que este sector y en especial el cárnico representan, lo cual se ve reflejado en la baja productividad, los elevados costos de producción y la baja rentabilidad del sistema.

La ganadería debe encaminarse hacia el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales, de tal forma que se pueda tener una alta productividad con el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Para ello, se requiere que el ganadero y sus colaboradores se concienticen de que los sistemas de producción de carne de buena calidad deben basarse en componentes ambientales, sociales, económicos y de bienestar animal.

A través de este libro, se presentan diez capítulos que comprenden distintas áreas temáticas y proporcionan al lector el conocimiento necesario para el desarrollo de un modelo productivo sostenible de carne bovina. Este modelo se basa en una producción orgánica o ecológica, es decir, donde no hay aplicación de productos químicos; Asimismo, permitirá el desarrollo de árboles, arbustos, arvenses de hoja ancha, leguminosas nativas, micro, meso y macroorganismos en el suelo, que van a interactuar con los bovinos y la vegetación, para conducir a un sistema sostenible de producción que se puede llamar: "ganadería bajo árboles: ecológica, verde, regenerativa, limpia, silvopastoril, etc."; que sirva como guía a los ganaderos, para que sean productores de carne de calidad con alta rentabilidad y amigable con el medio ambiente.

Referencias

- Paz, A. (2018). Ganadería en Colombia: ¿dónde sí y dónde no? Recuperado de <https://es.mongabay.com/2018/09/ganaderia-en-colombia-restriccion-areas>.
- Rodríguez, J.; Llano, M.; Fonseca, B. (2018). Estudio sectorial sobre la producción cárnica bovina en la región Caribe. Contraloría General de la República. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/996701/2018+ESD+Carne+bovina+2018+.pdf/156ff515-af06-4047-b5a1-886da96ff09d?version=1.0>

Capítulo I

Calidad del suelo para la producción de forrajes en sistemas ganaderos

Judith Martínez Atencia, Emiro Suárez Paternina,
Jose Luis Rodriguez Vitola y Sergio Mejía Kerguelén

Introducción

La producción ganadera en la región Caribe colombiana ocupa el 51 % de su territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2017). Este sector juega un papel importante en la economía del país, debido a que el hato existente de esta región representa el 29,8 % del hato nacional (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017) y aporta el 40 % del volumen de leche fresca y el 38 % de carne con relación a la producción nacional. A pesar de la importancia que representa este renglón productivo en la economía nacional, el sector primario enfrenta limitantes que influyen en la competitividad y la sostenibilidad de los indicadores productivos.

Una de estas limitantes es la baja capacidad productiva de los suelos en la región, originada por actividades como sobrepastoreo, uso de labranza inadecuada y deforestación, entre otras. Estas limitantes traen consecuencias en el suelo, como pérdida de estructura, aumento de la compactación, baja capacidad de infiltración de agua, reducción de la actividad biológica, deficiente desarrollo de raíces en plantas y baja productividad del sistema. Unido a esto, en la región Caribe se presenta un periodo seco de cinco meses que agudiza más la problemática, ya que durante esta época la disponibilidad de forrajes en las praderas es deficiente para el sistema ganadero. Por ejemplo, *Dichanthium aristatum* en pastoreo en el valle del Sinú presenta reducciones hasta del 50 % en esta época (Cajas-Girón, 2002), y *Botriochloa pertusa*, bajo condiciones de pastoreo en las sabanas de Sucre, presenta reducciones del 54 % con relación al periodo lluvioso (Mejía et al., 2011; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2004).

El manejo de suelos en sistemas ganaderos busca implementar prácticas que contribuyen a mejorar los indicadores de calidad de suelo al disminuir la resistencia vertical y tangencial a la penetración de raíces, aumentar la velocidad de infiltración del agua, disminuir la densidad aparente del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes, como lo demuestran trabajos realizados por Cajas et al. (2010); Martínez, Cajas, Sánchez y Panza (2006); Cuesta et al. (2005) y Amézquita (2004). En este sentido, el análisis del balance de nutrientes en los agroecosistemas puede ser utilizado como una herramienta para incrementar el conocimiento del ciclo de nutrientes, como un indicador del rendimiento y como un instrumento para encaminar el manejo de los nutrientes en el sistema (Kanmegne, Smaling, Brussaard, Gansop-Kouomegne & Boukong, 2006). Por lo anterior, este capítulo revisa los principales componentes que influyen en la calidad del suelo para la producción de forraje en sistemas ganaderos del trópico.

Diagnóstico de calidad del suelo

Para tener un conocimiento real del estado del suelo es necesario realizar un diagnóstico que incluya la descripción de sus características físicas, químicas y biológicas, y que permita determinar el manejo adecuado para recuperar, mejorar y conservar sus propiedades integrales.

Con el diagnóstico se tendrá información sobre la fertilidad del suelo y se podrá determinar la cantidad de nutrientes que requiere la pastura, así como programar los planes de manejo de acuerdo con las limitantes encontradas en el diagnóstico.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas se cuantifican a través del análisis de suelo disturbado (sin preservar su arreglo natural) para examinar la composición mineral y analizar la textura y la densidad de partículas, entre otras, o suelo sin disturbar (preservando su arreglo natural) para determinar la densidad aparente y la capacidad de almacenamiento y drenaje de agua, entre otras.

De acuerdo con el diagnóstico físico del suelo se selecciona el tipo de labranza adecuada, considerada como el conjunto de actividades que se deben realizar con el fin de darle al suelo las mejores condiciones para la germinación del cultivo y el posterior desarrollo de las raíces. Debe partir de un conocimiento de las características del suelo relacionadas con la susceptibilidad a la compactación, la intensidad de la mecanización, la disponibilidad de maquinaria apropiada y los rendimientos de las cosechas anteriores. Concretamente, se debe partir de un diagnóstico de las condiciones del suelo para decidir el tipo de labranza que se debe realizar. Cuando se toma la decisión de utilizar algún tipo de labranza se debe tener claridad de que esta se realiza para establecer pasturas por muchos años, ya que el manejo que se le siga dando a la pastura va a permitir su sostenibilidad a través del tiempo. Si el suelo no presenta limitaciones físicas en el perfil estructural se recomienda no intervenirlo, dado que su naturaleza le permite brindar a las plantas óptimas condiciones de flujo de aire, agua e intercambio de nutrientes, con la consiguiente disminución de los costos.

La condición física del suelo se puede determinar al diagnosticar propiedades como la *resistencia mecánica*, la cual indica el valor del esfuerzo que las raíces deben ejercer para penetrar en el suelo. Por ejemplo, 2 MPa es el valor considerado como máximo esfuerzo que las raíces de gramíneas son capaces de ejercer para penetrar en el suelo; esto quiere decir que si al examinar el suelo esta característica se encuentra con valores superiores a 2 MPa las raíces de las plantas difícilmente penetran el suelo. Lo anterior trae como consecuencia el poco desarrollo de las gramíneas en términos de cantidad y calidad del forraje. La resistencia a la penetración es un efecto combinado de varias propiedades, donde la densidad aparente, la textura, el contenido de humedad y la resistencia al corte son de las más importantes; estas propiedades, al momento de hacer la medida, no solo dependen de la estructura, sino de la composición general del suelo y del contenido de materia orgánica.

La resistencia mecánica a la penetración ha sido muy utilizada como un parámetro que describe el estado de compactación de suelo o las limitantes para el crecimiento de las raíces, lo cual se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del suelo de acuerdo con su resistencia mecánica

Resistencia mecánica del suelo (MPa)	Clasificación del suelo
0,8-1,5	Suficientemente blando
1,5-3,5	Con ligera restricción al crecimiento
3,5-5,0	Con alta restricción al crecimiento
>5,0	Con muy alta restricción al crecimiento

Fuente: Pla (1998)

De igual manera, la *velocidad de infiltración* de agua al suelo es otro indicador del estado físico del suelo. Esta variable indica la capacidad que tiene el suelo para permitir la entrada del agua. La disminución de la infiltración está asociada con una marcada disminución de los macroporos del suelo (poros mayores de 0,5 mm de diámetro). Las prácticas de labranza inadecuadas conducen a la disminución progresiva de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, produciendo encharcamientos que lo hace menos apto para el óptimo crecimiento de las plantas (Primavesi, 1982). En la tabla 2 se relacionan las clases de infiltración básica del suelo de acuerdo con su velocidad.

Tabla 2. Clasificación de la velocidad de infiltración básica del suelo

Clase	Valor (mm/hora)
Muy lenta	<2
Lenta	3-5
Moderadamente lenta	6-12
Moderada	13-30
Moderadamente rápida	31-60
Rápida	61-100
Muy rápida	101-200
Extremadamente rápida	>200

Fuente: Madriñan (1997)

En estudios realizados por Corpoica (2004) en la región Caribe colombiana para cuantificar el efecto de la renovación de praderas con implemento de labranza, se midió la velocidad de infiltración y la resistencia mecánica del suelo en la misma época (mayo) antes y un año después de haber realizado la renovación de praderas, que consistió en remover internamente el suelo en profundidad con

un cincel. La resistencia mecánica del suelo a la penetración se midió durante la época de lluvias, con contenido de humedad cercano a la capacidad de campo, lo cual permitió hacer comparaciones entre épocas usando el penetrógrafo Eijkelkamp y tomar los valores de las lecturas entre 0-75 cm de profundidad (figura 1). La infiltración se determinó por el método del doble cilindro de Lewis.



Foto: Judith Martínez.

Figura 1. Medición de la resistencia mecánica del suelo

Un año después de la renovación de esas praderas la resistencia mecánica del suelo a la penetración disminuyó en los primeros 47 cm de profundidad, con valores inferiores a los encontrados antes realizar la renovación con implemento de labranza (figura 2), es decir, inferiores a 2 MPa. A partir de los 47 cm de profundidad los valores de resistencia fueron similares a los medidos antes de la renovación, lo que sugiere un efecto hasta la profundidad de trabajo del implemento renovador de praderas.

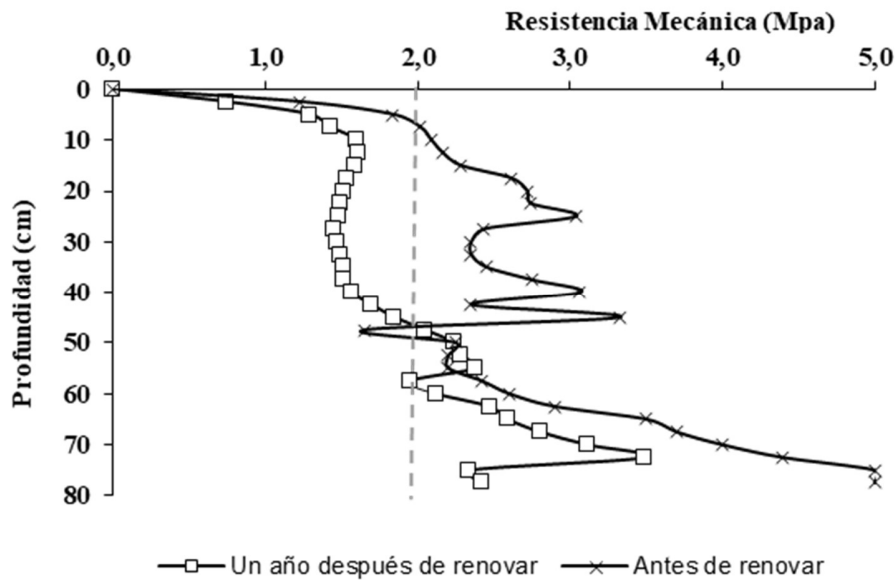


Figura 2. Resistencia del suelo a la penetración (MPa) antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre

Fuente: Cajas-Girón, Martínez, Sánchez y Panza (2004)

Un año después de realizada la renovación de la pradera el suelo presentó una importante respuesta, expresada en cambios en la velocidad de infiltración que pasó de una condición moderada ($20,6 \text{ mm hora}^{-1}$) a una de rápida entrada de agua al suelo, con una infiltración básica de $81,3 \text{ mm hora}^{-1}$, muy por encima de la registrada antes de la renovación (figura 3).

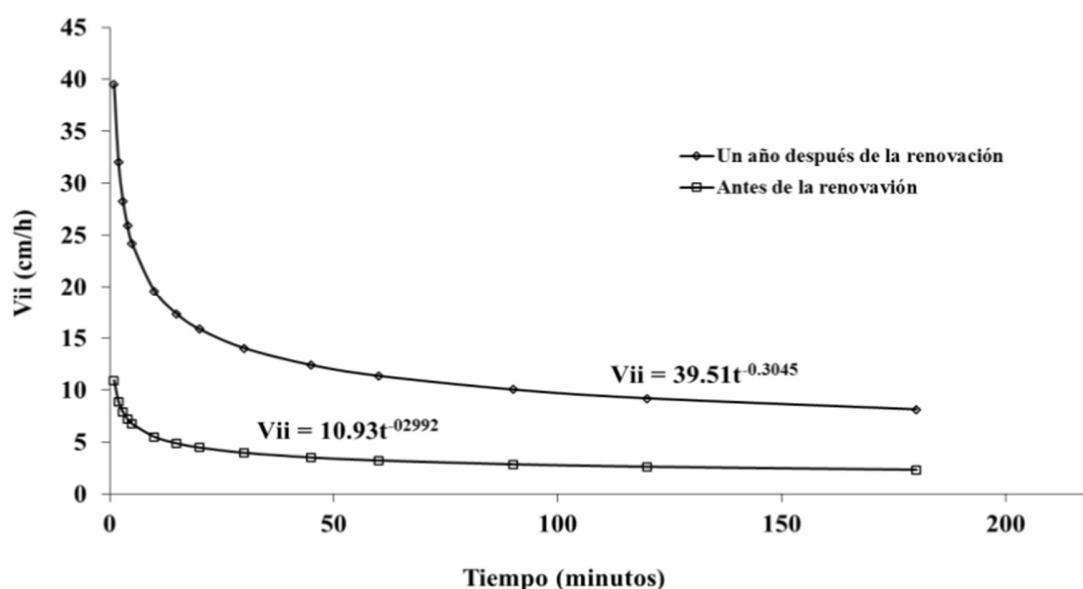


Figura 3. Velocidad de infiltración del agua al suelo antes y un año después de la renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas del departamento de Sucre.

Fuente: Cajas-Girón et al. (2004)

Existen otras variables físicas importantes para determinar el estado del suelo que requieren análisis de laboratorio, como, por ejemplo, la *densidad aparente* del suelo. Esta variable relaciona la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluye el espacio poroso existente entre las partículas sólidas. En general, cuanto mayor es esta variable, menor es el espacio poroso para el movimiento del agua, el crecimiento y la penetración de raíces y el desarrollo de las plantas. Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, que van desde la textura y el contenido de materia orgánica hasta el manejo que se le da al suelo. Los registros más bajos se obtienen en suelos orgánicos, con valores inferiores a 1,0 g.cm³ (Malagón & Montenegro, 1990).

La densidad aparente del suelo puede servir como indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. Las típicas densidades

aparentes del suelo fluctúan entre 1,0 y 1,7 g.cm³ y generalmente aumentan con la profundidad del perfil (Arshad, Lowery & Grossman, 1996).

En praderas estudiadas en la región Caribe colombiana (Corpoica, 2004), se observaron suelos con textura franco-arcillosa y densidades aparentes entre 1,30 y 1,37 g.cm³ en las praderas que incluían árboles o arbustos, mientras que en las praderas de solo gramíneas la densidad aparente del suelo exhibió valores superiores a 1,5 g.cm³. Teniendo en cuenta los límites de restricción de esta variable con respecto a la textura, mostrados en la tabla 3, estas praderas con árboles y arbustos se encuentran en el límite óptimo de densidad aparente de acuerdo con su textura.

Tabla 3. Densidad aparente del suelo según su clase textural

Clase textural	Densidad aparente (g.cm ³)
Arenoso	1,60-1,70
Franco arenoso	1,50-1,60
Franco, franco limoso	1,30-1,50
Franco arcilloso	1,20-1,30
Arcilloso	1,10-1,20

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999)

Propiedades químicas

La caracterización química requiere de análisis de laboratorio y es necesario tomar muestras de suelo que sean representativas del área de estudio para lograr una apropiada recomendación del manejo requerido. El análisis de suelo determina:

- La cantidad de elementos nutricionales presentes en este.
- Los planes adecuados para el uso y la explotación de la tierra.

Toma de muestra de suelo

La toma de muestras para el análisis químico del suelo tiene tanta importancia como la exactitud de la interpretación de sus resultados. Una muestra de suelo debe incluir submuestras representativas del área de interés; estas deben

tomarse por lo menos una vez cada dos años, lo cual indicará el dinamismo que se viene dando en el suelo de acuerdo con el manejo implementado y los ajustes que deban darse.

Se recomienda realizar el análisis a profundidades de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm. Las submuestras pueden ser tomadas con barreno holandés o, en su defecto, con pala, para lo cual se excava un hueco de 30 x 30 cm hasta la profundidad de submuestreo, donde se saca una tajada vertical de 3 a 5 cm de espesor de una de las paredes del hueco. Cuando el suelo se encuentra sobre la pala se cortan los bordes, se deja una tajada de unos 3 a 5 cm de ancho y se eliminan los residuos vegetales de la parte superior, se deposita en un balde y se sigue con el resto del submuestreo, de donde finalmente se saca un kilogramo de suelo, de cada profundidad, y se deposita en una bolsa plástica que debe ir marcada con el nombre de la finca, el nombre del interesado, el nombre del lugar, la fecha de toma de la muestra, el cultivo a establecer, los cultivos anteriores, la pendiente del terreno y el clima.

El análisis químico puede ser de fertilidad, con el que se pueden determinar las carencias o las deficiencias de nutrientes que presente el suelo; otros tipos de análisis más detallados y específicos son los de caracterización, completo y de salinidad, este último cuando se presume que el suelo tiene problemas de este tipo. La fertilización consiste en mantener el suelo con un nivel óptimo de reservas minerales y orgánicas que garanticen la adecuada nutrición de las plantas en el momento oportuno.

Recuperación de praderas degradadas

Como respuesta a los procesos de degradación de suelos, se evidencia la baja calidad y disponibilidad de forraje de las gramíneas en las praderas. En ese proceso, la pastura pierde vigor, productividad y capacidad de recuperación natural después del pastoreo o de periodos intensos de sequía. Las prácticas de recuperación y manejo de praderas a implementar dependerán del tipo y el grado de la limitante que presente el conjunto suelo-pradera.

Las prácticas para la recuperación de praderas degradadas incluyen:

1. Tratamientos físico-mecánicos, cuyo objetivo es descompactar y mejorar las condiciones físicas del suelo al aumentar la infiltración del agua, mejorar la aireación ayudando al mejor desarrollo de las raíces y favorecer la mineralización de la materia orgánica, liberando nutrientes al suelo.
2. Fertilización de mantenimiento, sin alteración mecánica del suelo, cuando la limitante es solo por fertilidad. En este caso, el suelo no presenta limitaciones físicas en el perfil estructural, lo cual le permite brindar a las plantas óptimas condiciones de flujo de aire, agua e intercambio de nutrientes, con la consiguiente disminución de los costos e intensidad del tráfico de maquinaria en las praderas (Cajas et al., 2010; Martínez et al., 2006 y Amézquita, 2004).
3. Esta recuperación de praderas también puede realizarse en sistemas ganaderos ya que no se utilizan herbicidas, fertilizantes químicos e insecticidas, lo que conlleva el resurgimiento de árboles, arbustos, arvenses de hoja ancha, leguminosas nativas, micro, meso y macro organismos que interactúan con la pastura y los bovinos, combinado así sistemas de pastoreo donde grupos de animales se concentran en áreas pequeñas durante muy cortos periodos de tiempo (no es sobrepastoreo), lo cual favorece la infiltración de agua y aire por el pisoteo, las galerías o los túneles realizados por las raíces y la fauna del suelo, que aporta grandes volúmenes de bosta y orina que van mejorando a través del tiempo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Indicadores de calidad de suelos

Los indicadores de calidad del suelo son parámetros de su dimensión física, química y biológica. Estos parámetros requieren ser medidos con el fin de conocer la salud o la calidad de este, para orientar un adecuado establecimiento y manejo de pasturas.

Investigaciones realizadas por Amézquita (2004) permitieron obtener algunos indicadores físicos para definir la calidad del suelo. La porosidad, por ejemplo, debe tener valores cercanos al 50 %, con una buena distribución de macroporos

($\pm 18\%$), mesoporos ($\pm 25\%$) y microporos ($\pm 12\%$) para garantizar condiciones adecuadas de humedad del suelo. La resistencia mecánica a la penetración debe presentar valores menores a 2 MPa, lo cual permite que la presión ejercida por las raíces sea óptima para su crecimiento y desarrollo. El suelo debe poseer un nivel adecuado de todos los elementos nutritivos en formas disponibles y una buena capacidad de restitución. El contenido de material orgánico debe presentar valores mayores o iguales al 5% con el objeto de equilibrar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Materia orgánica del suelo y reciclaje de nutrientes

La materia orgánica del suelo es el resultado de acciones de meso y microorganismos sobre los residuos vegetales y animales depositados sobre él. Estas acciones corresponden a procesos degradativos de los residuos como mecanismo para obtener la energía y los nutrientes requeridos para sus funciones metabólicas. Cuando los microorganismos degradan estos residuos, el carbono contenido en ellos es transformado en CO_2 o incorporado a la biomasa y una pequeña porción se mantiene relativamente estable en el suelo como materia orgánica.

Los residuos orgánicos descompuestos por actividad biológica se constituyen en una fuente de nutrientes aprovechables para las plantas (NO_3^- , SO_4^- , H_2PO_4^-). Los nutrientes contenidos en estos residuos y su liberación dependen de las características de la especie que los origina, de su composición química, de las condiciones edafoclimáticas, del manejo del cultivo y de la actividad de microorganismos (Kaushal & Verma, 2003). Adicionalmente, en este proceso se mejoran las propiedades físicas del suelo, como agregación, aireación, permeabilidad y capacidad de retención de humedad, entre otras (Burgos, Madejon & Cabrera, 2002).

La materia orgánica del suelo puede estar en forma estable, es decir, como una reserva de nutrientes que la planta podría usar en el largo plazo, o en forma lábil o libre, donde los nutrientes son fácilmente disponibles para la planta. La fracción lábil favorece la estabilidad estructural del suelo y la actividad de los

microorganismos que en él se encuentran; sin embargo, sus componentes son muy sensibles a las alteraciones o prácticas de manejo que se realicen en el sistema.

Retorno de nutrientes por residuos vegetales

La cantidad de residuos orgánicos aportados vía hojarasca depende del tipo de vegetación. Osorio (2014) reporta que los aportes de hojarasca en sistemas agrícolas varían entre 500 y 5.000 kg ha⁻¹año⁻¹. En sistemas de solo pasturas, este aporte está alrededor de 800 kg ha⁻¹año⁻¹, y en sistemas de pasturas con árboles está cerca a los 3.200 kg ha⁻¹año⁻¹ (Martínez, 2013).

En los sistemas ganaderos el aporte de residuos vegetales proviene principalmente de raíces muertas, de hojas maduras de la pastura y de los árboles y arbustos que se encuentran en el potrero, incluyendo, en este caso, las ramas, las flores y los frutos que caen al suelo y que comúnmente se denominan hojarasca. Esta hojarasca es transformada por los organismos del suelo en nutrientes que utiliza la pastura para su desarrollo y para el mejoramiento de la calidad del suelo (figura 4).

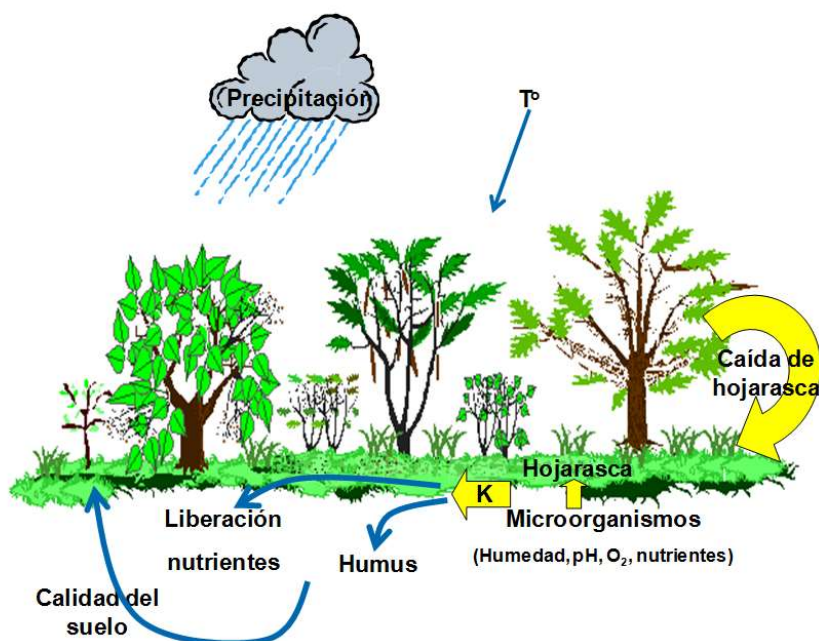


Figura 4. Modelo conceptual del retorno de nutrientes al suelo en sistemas con árboles.

Fuente: Martínez, J. (2013)

Bajo condiciones del valle medio del río Sinú, Martínez (2013) evaluó la producción de hojarasca de gramíneas en monocultivo y gramíneas con árboles en pastoreo rotacional, en sistemas de 13 años de establecidos y sin aplicación de fertilizantes de síntesis química. Encontró que en el monocultivo la cantidad de hojarasca producida por la gramínea y depositada sobre el suelo fue de $770 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y el retorno potencial de nutrientes al suelo producido durante un año fue de $6,8 \text{ kg/ha}$ de nitrógeno, $5,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de calcio, $3,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de potasio, $2,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de magnesio y $1,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fósforo. En las gramíneas con árboles, la producción de hojarasca osciló entre 2.877 y $3.148 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y el retorno potencial de nutrientes por hojarasca de árboles y gramíneas en un año fue de 74 kg ha^{-1} de nitrógeno, $2,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo, $12,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de potasio, $6,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de magnesio y $40,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de calcio.

Lo anterior se evidenció con los valores de los indicadores de calidad de suelo que se registraron en praderas con gramíneas en monocultivo, tales como

fósforo disponible inferior a 10 mg kg^{-1} , potasio intercambiable $0,83 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, calcio intercambiable $10,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y 9 % de materia orgánica del suelo. En contraste, en las praderas con gramíneas y árboles el fósforo disponible en el suelo registró valores entre 20 y 27 mg kg^{-1} , potasio intercambiable $1,44 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, calcio intercambiable $14,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y 10 % de materia orgánica (Martínez, Cajas, León & Osorio, 2014).

Retorno de nutrientes por excretas y hojarasca

La fertilidad de las pasturas está directamente influenciada por la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta-animal, donde los animales en pastoreo juegan un papel importante (Haynes & Williams, 1993; Vendramini et al., 2014). La mayoría de las estimaciones indican que alrededor del 25 % de nitrógeno (N), el 20 % de fósforo (P) y el 15 % de potasio (K) contenidos en los forrajes consumidos por bovinos en pastoreo son retenidos en diversos procesos metabólicos de su organismo. Esto significa que alrededor del 75 % de N, el 80 % de P y el 85 % de K pasan a través del animal y son excretados en orina y heces (Barrow, 1987; Wells & Dougherty, 1997).

Para determinar la forma en que se produce el reciclaje de nutrientes en los sistemas ganaderos, inicialmente se debe conocer la frecuencia con que los bovinos excretan diariamente, así como el área del potrero que logran cubrir. Por lo regular, cada bovino realiza al día entre 10 y 13 defecaciones, las cuales cubren un área de $0,929 \text{ m}^2$ a 2 m^2 . Por otra parte, un bovino puede efectuar 8 a 12 micciones, que cubren $3,8 \text{ m}^2$ (Whitehead, 1995; Wells & Dougherty, 1997; Rodríguez, Crespo, Torres & Fraga, 2005; Crespo, Rodríguez & Lok, 2015). De igual forma, Crespo et al. (2015) estimaron que el peso por bosta de $1,72 \text{ kg}$ (húmeda) equivale a un peso total de $22,3 \text{ kg animal/día}$. Sin embargo, las producciones de heces pueden afectarse por los factores que rigen el consumo animal y, por tanto, están asociadas a la cantidad de alimento consumido (Sugimoto, Ball & Theobald, 1992).

Cada punto de micción produce una aplicación de nitrógeno equivalente a $600-1.200 \text{ kg.ha}^{-1}$, mientras que cada defecación representa una aplicación de

nitrógeno de 250 a 860 kg.ha⁻¹ (Lory & Roberts, 2000). Los parches de orina y heces son las áreas donde los nutrientes son reciclados de las excretas al suelo y de este a las plantas de la pradera. Aunque estas excretas pueden cubrir solo del 30 al 40 % de la superficie de pasto anualmente, el alto aporte de nutrientes estimula el crecimiento de las plantas y puede representar hasta el 70 % de la producción anual total de las pasturas (Lory & Roberts, 2000). El área que cubren las excretas puede incrementarse utilizando sistemas de pastoreo que concentran grupos grandes de animales en pequeñas áreas por cortos periodos de tiempo, que pueden ser algunas horas, sin sobrepastorear la pastura, lo que conduce a tener forrajes más uniformes y de mayor producción por ha.

Parte de estos nutrientes pueden salir del sistema en forma gaseosa o lixiviados, por lo que en un sistema eficiente estas salidas (pérdidas) serán menores y menor será el requerimiento de fertilizantes para el mantenimiento del sistema. Las emisiones de amoníaco (NH₃) procedentes de las excretas del ganado (orina y heces) están alrededor del 20 % de la ingesta de N y del 23 % de N excretado, con mayores emisiones por orina que por heces (Laubach et al., 2013).

La cantidad de nutrientes en heces y orina puede variar dependiendo del contenido de nutrientes de la dieta (Barrow, 1987). Del mismo modo, el contenido de nutrientes en heces y orina puede variar entre animales que pastorean los mismos pastos y entre animales en diferentes momentos del mismo día (Hutton, Jury & Davies, 1965; 1967; Paquay, De Baere & Lousse, 1970; Betteridge, Andrewes & Sedcole, 1986; Groenwold & Keuning, 1988). Gran parte de esta variabilidad está relacionada con las diferencias entre los animales y entre la frecuencia diaria y el volumen de la orina y heces excretadas. Betteridge et al. (1986) reportan el retorno de N, K y P vía excretas de novillos en pastoreo en praderas de alta calidad, y anotan que la excreción urinaria de N y K se elevó entre 81 y 137 g día⁻¹ y entre 58 y 90 g día⁻¹ respectivamente. Las concentraciones de N y K en orina fueron más altas durante la noche que durante el día. Del mismo modo, el contenido de nutrientes (N, K y P) en heces varió entre 36-62 g día⁻¹, 12-46 g día⁻¹ y 10-23 g día⁻¹ respectivamente.

Al implementar altas cargas de animales en sistemas de pastoreo se genera un aspecto positivo debido al volumen de excretas depositadas por los animales en

las praderas, lo cual puede mejorar los contenidos de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo (Crespo et al., 2015). En cuanto al aporte de materia orgánica al suelo mediante las bostas, Reyes, Vidal, González, González y Fonte (2003) reportaron una mayor producción de materia orgánica hectárea año en sistemas con intensidades altas.

Cabe mencionar que hay otros factores que influyen en la distribución de las excretas de los animales en las praderas, tales como la sombra de los árboles, los saladeros, el horario de pastoreo, las fuentes de agua y los sitios de suministro de alimentos suplementarios, entre otros.

En Colombia, bajo las condiciones del valle del Sinú, al implementarse una carga de 4 animales.ha⁻¹ en praderas de *Megathyrus maximus* se estimó una producción de 32,8 toneladas de bosta húmeda.ha⁻¹.año⁻¹ equivalente a 5,25 toneladas de MS, las cuales pueden aportar al suelo 78, 63 y 79 kg de N, P y K por ha⁻¹.año⁻¹ respectivamente. De igual forma, utilizando la misma carga animal se pueden producir 17.520 L de orina ha⁻¹.año⁻¹, y si se considera que en la orina de los bovinos la concentración de N, P y K puede ser de 1,10, 0,01 y 1,15 % respectivamente, la orina puede aportar al suelo 192, 17 y 262 kg de N, P y K por ha⁻¹.año⁻¹ (datos estimados por los autores). Por otra parte, al considerar los resultados expuestos por Martínez (2013), el aporte de nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca de árboles dispersos, arbustos y material senescente de las gramíneas en sistemas ganaderos de producción de carne en el valle del Sinú puede contribuir con 37, 1,45 y 6,3 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente. En este sentido, si se asume un 20 % de pérdidas de nutrientes en excretas y un 50 % en la descomposición de hojarasca, las entradas potenciales de nutrientes al sistema están alrededor de 304, 95 y 347 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente, provenientes de la descomposición de la hojarasca de árboles dispersos, del material senescente de las gramíneas y de las excretas (orina y heces) de los bovinos (datos estimados por los autores). Otro aspecto por considerar en los sistemas de producción es la salida de nutrientes, que en los sistemas ganaderos está representada por la producción de leche o carne (Abbona, Presutti, Vázquez & Sarandón, 2016). En este orden de ideas, al considerar que un bovino destinado a sacrificio pesa en promedio 450 kg y que su equivalente en carne, hueso, sangre y contenido ruminal puede ser del 70, 10,

8 y 5 % de su peso respectivamente (Garris, 2000; Torrescano, Sánchez, Vásquez, Paz & Pardo, 2010), estos tejidos o fluidos, en términos de N, P y K, pueden contener en la carne un 50, 3,84 y 0,59 %; en hueso, 15 y 10 % de P y K; en sangre, 87, 0,21 y 0,25 % de N, P y K, y en el contenido ruminal, un 6 y 3 % de N y cenizas respectivamente. Con base en esto, la salida de nutrientes en sistemas ganaderos de carne, con una carga de 4 animales por ha⁻¹, está alrededor de 179, 50,3 y 20 kg ha⁻¹.año⁻¹ de N, P y K respectivamente (datos estimados por los autores).

Al considerar la diferencia entre las entradas y las salidas de nutrientes en estos sistemas ganaderos, se genera un balance potencial positivo por unidad de superficie al año (figura 5). Adicionalmente, el aporte de nutrientes por las excretas de los bovinos genera efectos favorables en la productividad de las praderas, como también la descomposición de la hojarasca y material senescente de las pasturas (Martínez, 2013); así, la conversión eficiente del pasto en carne o leche agrega sostenibilidad a los sistemas de producción (Clark et al., 2005).

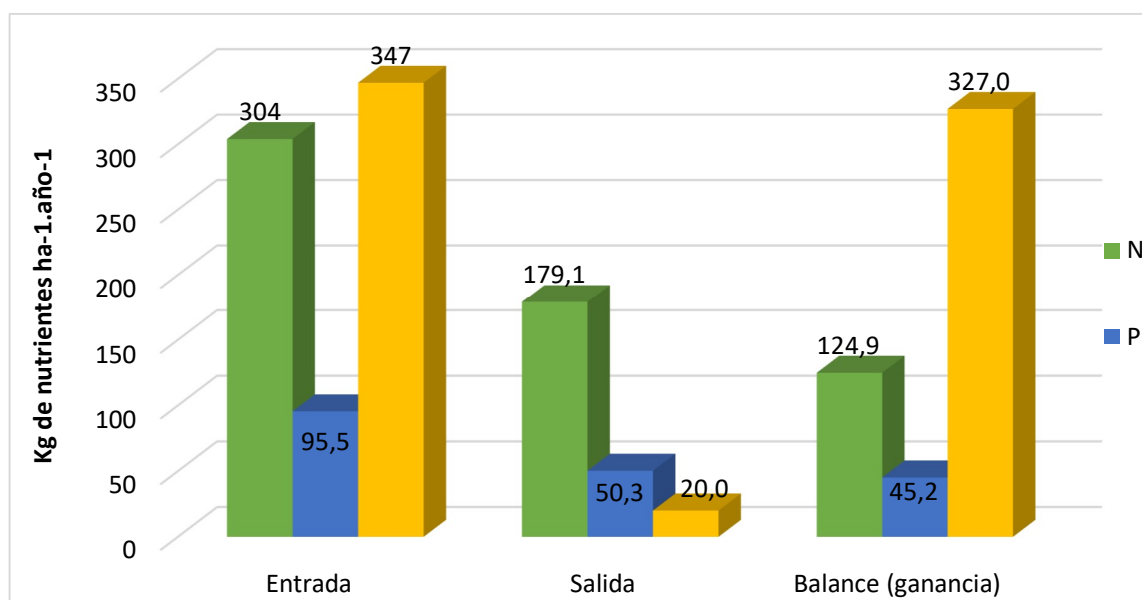


Figura 5. Balance potencial de nutrientes en un sistema ganadero de carne en el valle del Sinú

Fuente: Elaboración propia.

Fijación de nitrógeno al suelo por tormentas eléctricas

Es la forma de fijación espontánea del nitrógeno al suelo. En este proceso, las descargas eléctricas de tormentas, la radiación ultravioleta, los rayos cósmicos, los meteoritos, los combustibles industriales y los incendios proporcionan la energía para que se rompan las moléculas de nitrógeno y sus átomos se combinen con el oxígeno del aire para formar óxidos de nitrógeno. Con la lluvia, estos óxidos de nitrógeno forman nitratos y son arrastrados al suelo. La fijación atmosférica de nitrógeno probablemente aporte alrededor del 5 al 8 % del nitrógeno total fijado (Rodríguez, Sevillano & Subramaniam, 1985).

El estado de pérdidas y ganancias del nitrógeno del suelo está determinado por el clima, el tipo de suelo y las actividades agropecuarias, entre otros. El suelo gana nitrógeno mediante la fijación espontánea o fijación por tormentas eléctricas y por fijación biológica, en la que el nitrógeno atmosférico pasa a amoníaco por acción de microorganismos especializados en este proceso, y por la entrada de nitrógeno en fertilizantes de síntesis química (Rodríguez et al., 1985; James, 2017). La fijación de nitrógeno en la biosfera se estima en unos 275 millones de Tm anuales, de los cuales 175 corresponden a la fijación biológica, 70 a fertilización química y 30 a la espontánea. Las pérdidas de nitrógeno se dan por varias vías: desnitrificación, lavado de nitratos, volatilización de amoníaco y, en suelos cultivados, por la salida del nitrógeno contenido en tejidos de productos de cosecha.

Referencias

Abbona, E., Presutti, M., Vázquez, M. & Sarandón, S. (2016). Los sistemas de producción de carne y leche bovina en la Provincia de Buenos Aires ¿conservan los nutrientes del suelo? *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 115(2), 251-263.

- Amézquita, E. (2004, 20-22 octubre). Indicadores de respuesta: capa arable y árboles de decisión. En *Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo. Conceptos y principios aplicados a la evaluación de la degradación de las tierras*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia.
- Arshad, M. A., Lowery, B. & Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. En J. W. Doran y A. J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 123-141). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Barrow, N. J. (1987). Return of nutrients by animals. En R. W. Snaydon (ed.), *Managed grasslands, analytical studies* (pp 181-186). Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Betteridge, K., Andrewes, W. G. K. & Sedcole, J. R. (1986). Intake and excretion of nitrogen, potassium and phosphorus by grazing steers. *Journal of Agricultural Science*, 106(2), 393-404.
- Burgos, P., Madejon, E. & Cabrera, F. (2002). Changes in soil organic matter, enzymatic activities and heavy metal availability induced by application of organic residues. En A. Violante, P. Huang, M. Bollag & L. Gianfreda (Eds.), *Ecological Significance of the Interactions among Clay Minerals, Organic Matter and Soil Biota* (pp. 346-353). Ámsterdam, Holanda: Elsevier.
- Cajas, Y. S., Amézquita, E., Lascano, C., Arguelles, J., Abuabara, Y., Martínez, J. ... Barragán, W. (2010). *Implementación y difusión de tecnologías para rehabilitación de praderas degradadas en el sistema de producción de carne en los departamentos de Córdoba, Sucre y Atlántico*. [Informe final]. Cereté, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Cajas-Girón, Y. S. (2002). Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia (Tesis doctoral). University of Wales, Cardiff, Gales.
- Cajas-Girón, Y. S., Martínez, J., Sánchez, C. & Panza B. D. (2004). *Desarrollo e implementación de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas ganaderos de doble propósito en las Sabanas de Córdoba y Sucre* [Informe final]. Cereté, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Clark, L. J., Growing, D. J. G., Lark, R. M., Leeds-Harrison, A. B., Miller, A. J., Wells, D. M. & Whalley, W. C. (2005). Sensing the physical and nutritional status of the root environments in the field: a review of progress and opportunities. *The Journal of Agricultural Science*, 143(5), 347-358. doi: 10.1017/S0021859605005253.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2004). *Primer informe de avances de resultados proyecto: "Estrategias de innovación tecnológica para mejorar la competitividad y sostenibilidad de los sistemas de producción bovina en Sabanas de Sucre"*. Cereté, Colombia: autor.
- Crespo, I. G., Rodríguez, S. L. & Lok, S. (2015). Contribución al estudio de la fertilidad del suelo y su relación con la producción de pastos y forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(2), 211-219. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193039698011>.
- Cuesta, P. A., Mateus, E., Barros, H., Cajas, Y., Martínez, J. & Sánchez, C. (2005). Estrategias de manejo de praderas para mejorar la productividad de la ganadería en las regiones Caribe y Valles Interandinos. En P. A. Cuesta (Ed.), *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y Valles Interandinos* (pp. 43-66). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf.
- Groenwold, J., & Keuning, J. A. (1988). *Relation between composition of cow urine and the occurrence of urine scorching patches in grassland*. Wageningen, Holanda: Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek.
- Garris, A. C. (2000). *Subproductos ganaderos: huesos*. ITA. INTA. Castelar *Convenio INTA/CCDH - CCDH 13(110)*. Recuperado de <https://docplayer.es/68441219-Subproductos-ganaderos-huesos.html>.
- Haynes, R. J., & Williams, P. H. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49(8), 119-199. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60794-4.

- Hutton, J. B., Jury, K. E. & Davies, E. B. (1965). Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. IV. The intake and utilization of magnesium in pasture herbage by lactating dairy cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 8(3), 479-496.
- Hutton, J. B., Jury, K. E. & Davies, E. B. (1967). Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures. V. The intake and utilization of potassium, sodium, calcium, phosphorus and nitrogen in pasture herbage by lactating dairy cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 10(3-4), 367-388.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Censo Pecuario Nacional 2017*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaria/Servicios/Epidemiologia-Veterinaria/Censos-2016/Censo-2017.aspx>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2017). *La extralimitada ganadería en la región Caribe*. Recuperado de <http://noticias.igac.gov.co/es/contenido/la-extralimitada-ganaderia-en-la-region-caribe>.
- James, E. K. (2017). Nitrogen Fixation. En B. Thomas, B. G. Murray & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Science* (pp. 271-277). Amsterdam, Holanda: Elsevier Academic Press.
- Kanmegne, J., Smaling, E. M. A., Brussaard, L., Gansop-Kouomegne, A. & Boukong, A. (2006). Nutrient flows in smallholder production systems in the humid forest zone of southern Cameroon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76(2-3), 233-248.
- Kaushal, R. & Verma, K. S. (2003). *Leaf litter decomposition in different agroforestry tree species as influenced by climatic variables and substrate quality*. Trabajo presentado en el XII World Forestry Congress, Quebec, Canada.
- Laubach, J., Taghizadeh-Toosi, A., Gibbs, S. J., Sherlock, R. R., Kelliher, F. M., & Grover, S. S. P. (2013). Ammonia emissions from cattle urine and dung excreted on pasture. *Biogeosciences*, 10, 327-338. Recuperado de <https://www.biogeosciences.net/10/327/2013/>.
- Lory, J. & Roberts, C. (2000). Managing nutrients in pastures to improve profitability and water quality. En G. J. Bishop-Hurley, S. A. Hamilton y R. Kallenbach (Eds.) *Missouri Dairy Grazing Manual* (MU Ext. Publ. M168, pp. 89-98). University of Missouri, Columbia, MO, Estados Unidos.

- Madriñan, R. (1997). *Manual de prácticas de laboratorio de física de suelos*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Malagón, D. & Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Martínez, J. (2013). *Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del río Sinú*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Martínez, J., Cajas, Y. S., León, J. D. & Osorio, N. W. (2014). Silvopastoral Systems Enhance Soil Quality in Grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Science*, ID 359736. Doi:10.1155/2014/359736
- Martínez, J., Cajas, Y., Sánchez, C. & Panza, B. (2006, octubre). *Renovación de praderas en suelos de sabanas colinadas y planas de la región Caribe colombiana*. Trabajo presentado en el XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. La sostenibilidad del suelo y la competitividad agrícola. Bogotá, Colombia.
- Mejía, S., Reza, S., Argel, P., Lascano, C., Cuadrado, H., Rivero, T. ... Mojica, E. (2011). *Alternativas de manejo de pasturas de Colosuana o Kikuyina (Bothriochloa pertusa) en sistemas ganaderos del trópico bajo*. [Informe final]. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico* (2ª ed). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pla, I. (1998). Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En A. Rodríguez, C. Jiménez & M. L. Tejedor (Eds.), *The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures* (pp. 395-412). Logroño, España: Geoforma.
- Paquay, R., De Baere, R. & Lousse, A. (1970). Statistical research on the fate of water in the adult cow. I. Dry cows. *Journal of Agricultural Science*, 74(3), 423-432.
- Primavesi, A. (1982). *Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales*. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.

- Reyes, J. J., Vidal, I., González, M., González, R. M. & Fonte, D. (2003). Efecto de dos intensidades de pastoreo en el método rotacional con ganado lechero. Reciclado de nutrientes al suelo por las excreciones de vacas lecheras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(2), 163-168. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018061010>
- Rodríguez, I., Crespo, G., Torres, V. & Fraga, S. (2005). Effect of the dung patches and the urine on the chemical composition of the pasture and their effect on the soil under grazing conditions or not. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 39(3), 341-350.
- Rodríguez, C., Sevillano, F. & Subramaniam, P. (1985). *La fijación de nitrógeno atmosférico. Una biotecnología en la producción agraria*. Salamanca, España: Centro de Edafología y Biología Aplicada.
- Sugimoto, M., Ball, R. R. & Theobald, P. W. (1992). Dynamics of nitrogen in cattle dung on pasture under different seasonal conditions. I. Breakdown of dung and volatilization of ammonia. *Japanese Journal of Grassland Science*, 38(2), 160-161.
- Torrescano, G., Sánchez, A., Vásquez, M., Paz, R. & Pardo, D. A. (2010). Caracterización de canales y de carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 157-168.
- Vendramini, J. M., Sollenberger, L. E., Soares, A. B., Silva, W. L., Sánchez, J. M., Valente ... Mullenix, M. K. (2014). Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales*, 2, 197-206. Recuperado de <http://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/viewFile/183/123>.
- Wells, K. L. & Dougherty, C. T. (1997) Soil Management for Intensive Grazing. *Soil Science News and Views*, 18(2), s. p. Recuperado de <http://www.uky.edu/Ag/Agronomy/Extension/ssnv/ssv182.htm>.
- Whitehead, D. C. (1995). *Grassland Nitrogen*. Wallingford, Inglaterra: CAB International.

Capítulo II

Los microorganismos del suelo: alternativa para mejorar la productividad de los sistemas ganaderos

Diana Sánchez López y Jazmín Pérez Pazos

Introducción

Uno de los mayores retos que enfrenta el sector agropecuario es el de abastecer de alimentos a la población humana que se encuentra en continuo aumento. En la década de los cincuenta, la revolución verde fue una de las actividades más exitosas, que transformó muchos países, y que tuvo como finalidad generar altas tasas de producción asociadas a la explotación intensiva, permitida por el riego y el uso masivo de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas, tractores y otra maquinaria pesada (Sarandón & Flores, 2014). Si bien la intensificación agrícola ha incrementado enormemente la capacidad productiva de los agroecosistemas al suplir la demanda existente, ha provocado consecuencias como la contaminación ambiental, la degradación de los suelos y la contaminación de aguas, generadas, en gran medida, por el exceso en el uso de fertilizantes químicos como el nitrógeno y el fósforo, que son unos de los nutrientes esenciales de las plantas.

El exceso de fertilizantes químicos y herbicidas e insecticidas presentes en el suelo afecta la composición física, química y biológica de este sustrato y genera cambios en la diversidad de las poblaciones macro y microscópicas, con resultados a mediano y a largo plazo de pérdida de fertilidad, erosión y disminución de la actividad biológica del suelo (Cao et al., 2008; Creus, 2017); sin embargo, cuando hay carencia de estos se restringen severamente los rendimientos de los cultivos, de allí que el uso de los fertilizantes sea una práctica que se ha mantenido a lo largo del tiempo. Con el fin de mitigar los efectos de la fertilización, actualmente se desarrollan alternativas encaminadas a la remediación, la disminución del uso y la sustitución de estos productos químicos.

En los últimos años, en Colombia, se han desarrollado varias iniciativas de recuperación de ecosistemas enfocadas a diferentes factores, como generar ciclaje de nutrientes, promover la formación de suelos e incorporar la materia orgánica, entre otros, con el fin de activar las cadenas tróficas. Martínez et al. (2010) afirman que la hojarasca (figura 6) y los abonos verdes que se incorporan a los suelos como materia orgánica pueden incrementar la fertilidad.

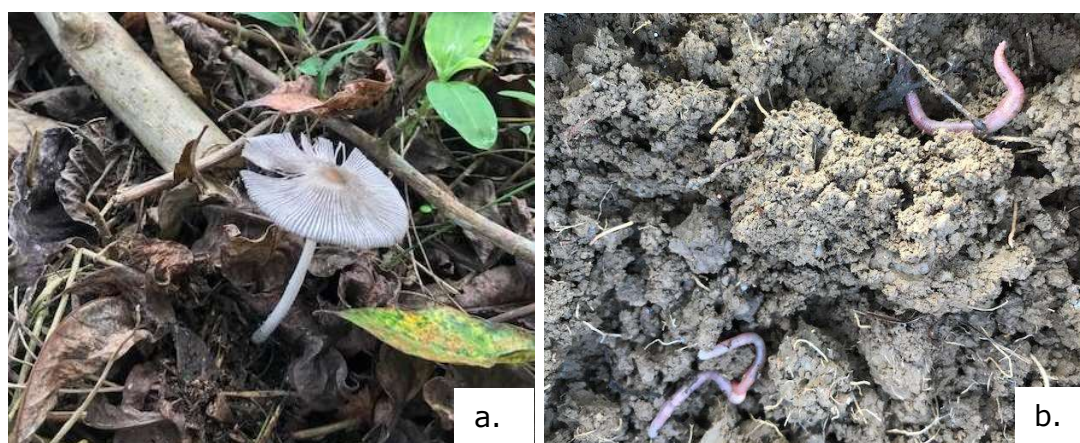


Foto: Diana Sánchez L.

Figura 6. Hojarasca presente en suelo de sistemas silvopastoriles

Según Bashan et al. (2015), la reforestación de áreas erosionadas es esencial para revertir los impactos provocados, debido a que la carencia de vegetación conlleva problemas ambientales y genera riesgos para la salud de la población (Pineda, Gil, Figueroa & Morales, 2017). En el mismo sentido, la incorporación de microorganismos al suelo, que incluye lombrices de tierra, nematodos, protozoos, organismos filamentosos, levaduras, hongos, microalgas y una gran diversidad de bacterias, incluidos los actinomicetos, el grupo Archaea, los quimio y fotolitotrofos y una gran cantidad de formas aun no cultivables (Paul, Harris, Klug & Ruess,

1999) (figura 7), se está desarrollando como una alternativa promisoría para mejorar la estabilidad de los ecosistemas y las condiciones físicoquímicas del suelo (Sánchez-López, Gómez-Vargas, Garrido-Rubiano & Bonilla-Buitrago, 2012; Sánchez & Bonilla, 2014; Sánchez, Pérez & Hinestroza, 2016).



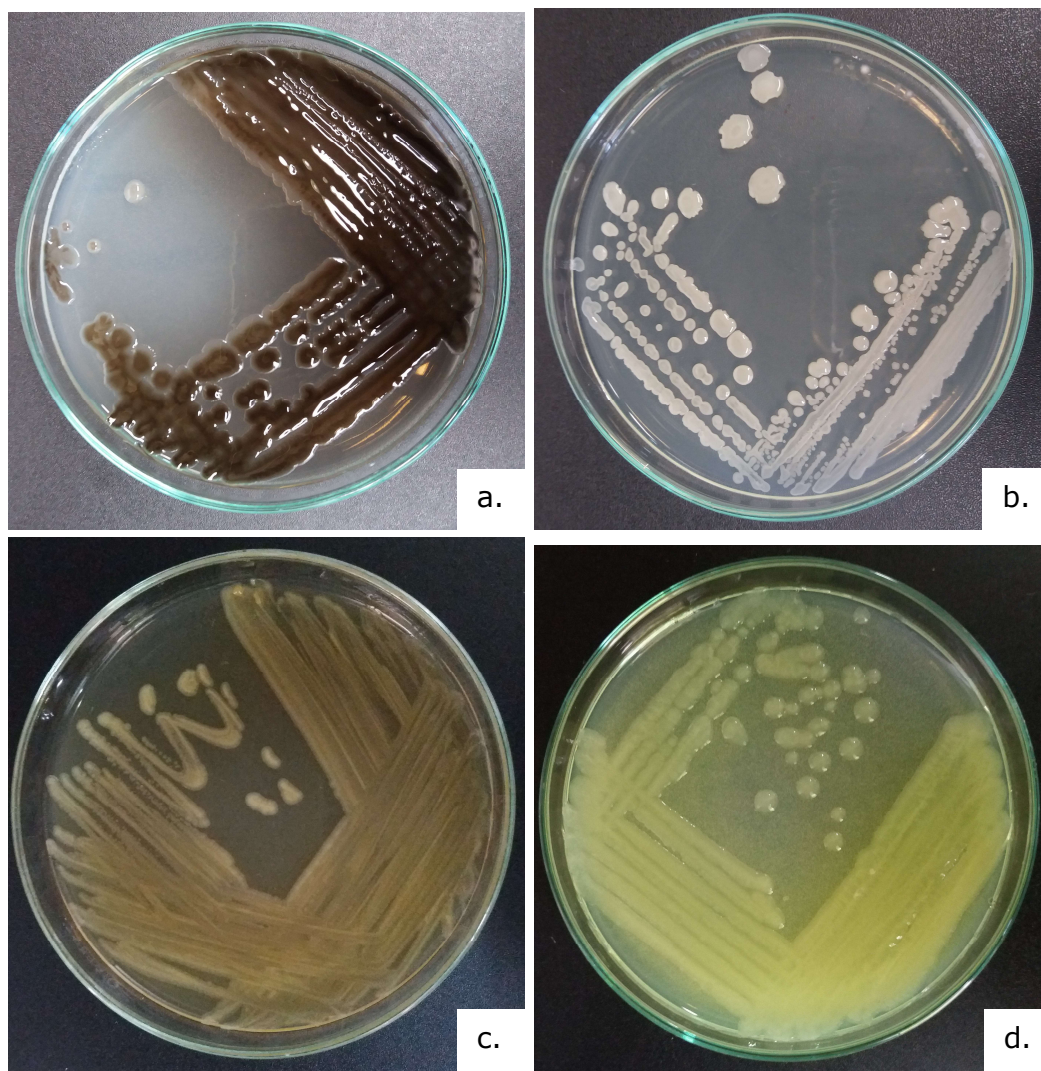
Fotos: Diana Sánchez L.

Figura 7. Microorganismos asociados al suelo. a. Hongos en setas; b. Lombrices de tierra

Entre las diferentes formas de vida presentes en el suelo, Kloepper, Leong, Teintze y Schroth (1980) destacan el grupo de bacterias benéficas para las plantas denominadas rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR, por su sigla en inglés), las cuales, a través de diferentes mecanismos directos como la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Pérez, Carmona, Zamudio, Rivera & Calva, 2017), la solubilización de fósforo (Sánchez-López et al., 2012) y la producción de compuestos estimulantes del crecimiento fitohormonas (Glick, 2014), promueven el crecimiento vegetal mediante el incremento de la toma de agua y minerales, mejorando así el desarrollo radicular (Angulo-Castro et al., 2018). Indirectamente, las PGPR pueden contribuir, mediante la inducción de la resistencia sistémica a fitopatógenos (Rodríguez, Dardanelli & Ruíz-Saínz, 2007), metales, inundaciones, sequía, salinidad y marchitez de flores (Glick, 2014), al control biológico de enfermedades y la producción de antibióticos y sideróforos (Liu, McInroy, Hu & Kloepper, 2018; Santoyo, Valencia-Cantero, Orozco-Mosqueda, Peña-Cabriales & Farías-

Rodríguez, 2010). También actúan como agentes impulsores del ciclo de nutrientes; regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono y la emisión de gases de invernadero; modifican la estructura física del suelo y el régimen de agua, y mejoran la eficiencia en la toma de nutrientes por las plantas (Singh, Pandey & Singh, 2011).

Estos microorganismos habitan el suelo y la rizósfera, y pueden ser endófitos asociados a diferentes partes de la planta como filoplano (en hojas), laimosfera caulosa (en tallos), carposfera (en frutos), espermosfera (en semillas) y anósfera (en flores) (Clay & Holah, 1999), en donde permanecen desde la germinación de la semilla hasta el desarrollo de la fruta (Khan, Hussain, Al-Harrasi, Al-Rawahi & Lee, 2015). Los géneros de PGPR ampliamente reportados incluyen *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Acetobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Rhizobium* (figura 8) y algunos miembros de las Enterobacteriaceae, géneros que han sido utilizados como biofertilizantes, agentes de biocontrol, fitoestimuladores y biorremediadores. Pérez, Rojas y Fuentes (2010) reportan el aislamiento de diferentes morfotipos de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto Colosuana en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia; presentan una densidad poblacional que osciló entre $3,1$ a $6,2 \times 10^5$ UFC.raíz⁻¹, $4,2$ a $6,7 \times 10^5$ UFC.raíz⁻¹ y $3,2$ a $5,0 \times 10^5$ UFC.raíz⁻¹ para los municipios de Corozal, Sampués y Tolú respectivamente.



Fotos: Diana Sánchez L.

Figura 8. Microorganismos benéficos asociados a la rizósfera (colonias macroscópicas). a. *Azotobacter chroococcum*; b. *Bacillus licheniformis*; c. *Stenotrophomonas maltophilia*; d. *Azotobacter vinelandii*

El uso de microorganismos eficientes en la agricultura y la ganadería sostenible es un importante cambio de paradigma, el cual se necesita y debe ser aceptado para contribuir a mejorar la calidad de los suelos y mitigar el grave impacto ambiental

generado por las inadecuadas prácticas de cultivo, con el objetivo de incrementar la productividad de los cultivos y, por ende, la calidad de vida de los productores.

Grupos funcionales

Microorganismos solubilizadores de fósforo

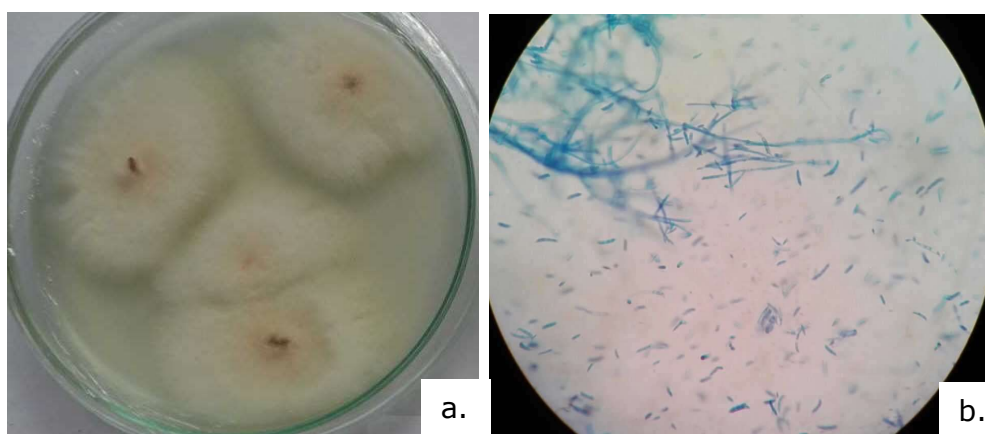
Los microorganismos solubilizadores de fosfato están involucrados en un amplio rango de procesos que afectan la transformación del fósforo y son componentes integrales del ciclo edáfico de este nutriente (Fankem, Nwaga, Deubel, Dieng & Merbach, 2006). Estos microorganismos solubilizan el fosfato inorgánico insoluble que se encuentra en el suelo y de esta forma puede ser absorbido por las raíces de las plantas (Pérez, De la Ossa & Montes, 2012b).

Existen varios géneros bacterianos reconocidos como solubilizadores: *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Delftia*, *Burkholderia*, *Chryseobacterium*, *Erwinia*, *lavobacterium*, *Thiobacillus*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Klebsiella* y *Ralstonia*, entre otros (Paredes & Espinosa, 2010).

Guang-Can, Shu-Jun, Miao-Ying y Guang-Hui (2008) reportaron que las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) que se encuentran en el suelo son del 1 al 50 % de la población de microorganismos, en comparación con los hongos y actinomicetos que se encuentra en un porcentaje bajo (Banik & Dey, 1982; Kucey, Janzen & Leggett, 1989; Gyaneshwar, Naresh, Kumar, Parekh & Poole, 2002). Las bacterias que se encuentran en el suelo pueden ser de vida libre o estar asociadas a alguna planta (simbiótica); estas bacterias se establecen y permanecen en la rizósfera de la planta favoreciendo su crecimiento y su desarrollo por medio de la solubilización de fosfatos minerales, entre los cuales se pueden destacar rocas fosfóricas, fosfatos bicálcicos y fosfatos tricálcicos (Restrepo-Franco et al., 2015). Entre las BSF, cabe mencionar las que, además de aumentar la disponibilidad de fósforo inorgánico en el suelo, incrementan el rendimiento vegetal. Lara-Mantilla, Peñata y Luis (2015) evaluaron biofertilizantes con capacidad solubilizadora de fosfatos en consorcios formados por bacterias nativas de los géneros *Burkholderia*, *Pseudo-monas* y *Pantoea* en la gramínea *Dichanthium aristatum* (pastos Angleton) y obtuvieron beneficios notables

en diversos parámetros biométricos, como área foliar, longitud de la raíz y peso seco. Esta planta es muy apetecible por el ganado y es utilizada en la fabricación de heno para suplir las necesidades alimenticias de los animales en sistemas de producción de carne o leche (Cuadrado, Mejía, Contreras, Romero & García, 2003).

Los hongos solubilizadores de fosfatos (HSF) pertenecen a la biota del suelo, y su cantidad depende de la profundidad y las condiciones nutricionales del suelo (Chakraborty, Chakraborty, Saha, Sunar & Dey, 2010). Una diversidad de géneros de hongos en suelo ha sido reportada como solubilizadores de fosfatos insolubles, entre los cuales se pueden destacar *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Sclerotium*, *Talaromyces*, *Syrialidium* y *Trichocladium* (figura 9) (Pérez et al., 2012b; Muleta, Assefa, Börjesson & Granhall, 2013; Oliviera et al., 2008).



Fotos: Eliana Revelo G.

Figura 9. Hongos asociados a la rizosfera. a. Colonias macroscópicas de *Fusarium* sp.; b. Esporas e hifas de *Fusarium* sp.

Dentro de este grupo de microorganismos, las asociaciones simbióticas establecidas entre hongos y raíces, denominadas micorrizas, y entre estas las micorrizas arbusculares (MA) (figura 10), son consideradas como una comunidad biológica diversa y activa, esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas (Pérez, Sierra & Montes, 2011). La simbiosis permite a las plantas obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estreses bióticos y abióticos, reducir la competencia entre plantas mediante la

transferencia de carbono a través de la red de hifas extrarradical y así pueden mejorar la productividad de la planta (Simard & Durall, 2004). Pérez y Vertel (2010) informan que la colonización de las micorrizas arbusculares (HMA) en raíces del pasto Colosuana (*Bothriochloa pertusa* [L.] A. Camus) se encuentra determinada por diversas condiciones, como los factores fisicoquímicos, las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas. De igual forma, Pérez, Botero y Cepero (2012a) reportan la caracterización de hongos formadores de HMA en la rizósfera del pasto Colosuana en fincas ganaderas del municipio de Corozal, departamento de Sucre, con un 96,9% correspondiente a características similares al género *Glomus* sp. y 3,1% al género *Gigaspora* sp.

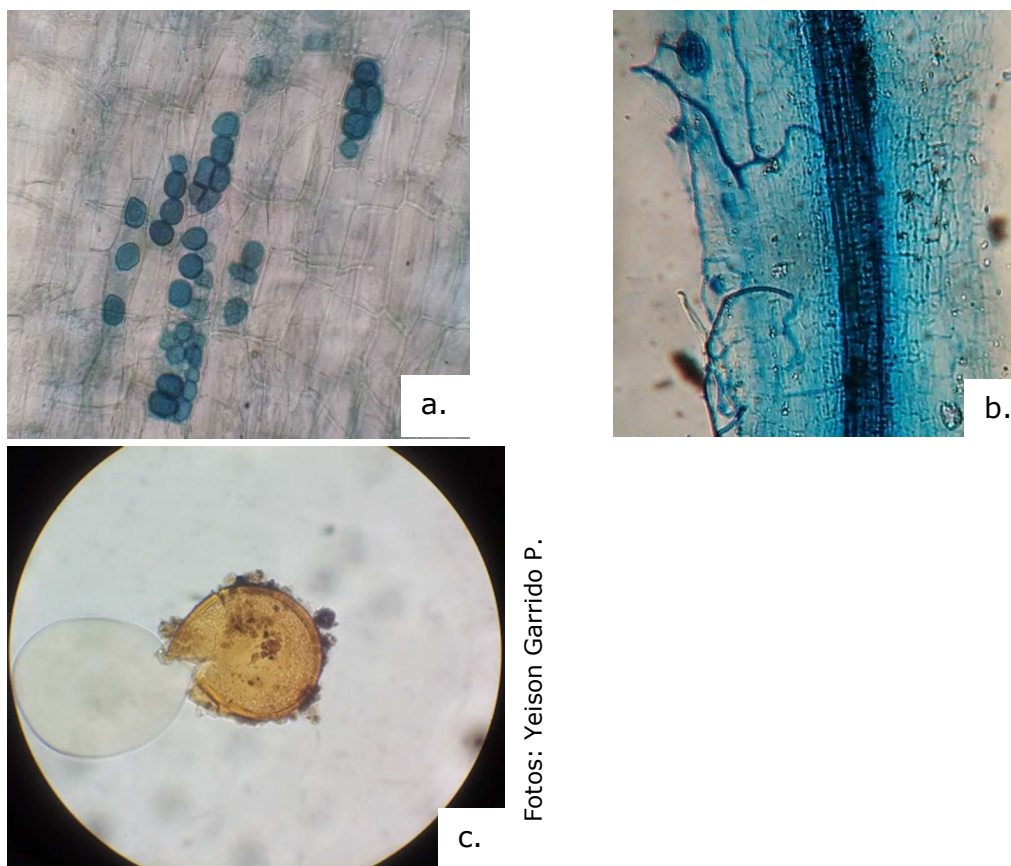


Figura 10. Asociaciones simbióticas establecidas entre hongos y plantas micorrizas arbusculares: a. Esporas presentes en células de raíz; b. Micelio de endomicorriza en tejidos radiculares; c. Espora de *Glomus* sp.

Microorganismos fijadores de nitrógeno

El nitrógeno (N) es un componente importante de las proteínas y ácidos nucleicos, y por lo tanto es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas (Pajares & Bohannan, 2016). El N existe en múltiples estados de oxidación y formas químicas en la naturaleza, de las cuales unas pocas son asimiladas. Cerca del 60 % del nitrógeno presente en el suelo no es absorbido por las plantas y la mayor parte se infiltra en las aguas subterráneas (Tkacz & Poole, 2015), de allí que el requerimiento de este elemento en los cultivos sea constante. En la atmósfera existe una importante fuente de nitrógeno atmosférico, el cual puede ser incorporado al suelo por medio de la acción de los microorganismos.

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) se define como la reducción del nitrógeno atmosférico a amonio (NH_4), y es realizada por un grupo de bacterias que han desarrollado sistemas enzimáticos complejos para la reducción del N_2 a NH_4 (Vessey, 2003; Hayatsu, Tago & Saito, 2008; Rueda et al., 2015). Entre los microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre o asimbióticos reportados se pueden destacar las bacterias del género *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter*, *Azoarcus*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Citrobacter* y *Serratia* (Pedraza, Bellone, de Bellone, Sorte & dos Santos Teixeira, 2010; Baldani, Reis, Videira, Boddey & Baldani, 2014; Reed, Yang & Thornton, 2015).

El otro grupo son los simbióticos, que además del aporte de nitrógeno que hacen a través de la FBN son capaces de colonizar la rizósfera o tejidos de raíces, lo cual resulta en una interacción beneficiosa para el crecimiento de las plantas (Döbereiner, Baldani & Reis, 1995; Cely et al., 2016); además proveen a la planta de nitrógeno a cambio de carbono y de un hábitat de protección. Entre estos microorganismos se destacan las especies *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium* y *Allorhizobium*, que tiene la capacidad de asociarse con las raíces de diferentes leguminosas formando nódulos para la fijación biológica del nitrógeno (figura 11) (Wei, Wang, Tan, Zhu & Chen, 2002).



Figura 11. Raíces de leguminosas con nódulos de bacterias fijadoras de nitrógeno. a. Nódulos de *Desmodium* sp.; b. Nódulos de *Teramnus labialis*

Las leguminosas son ricas como fuente de proteínas para la alimentación humana y para el ganado (Becker et al., 2016). La producción de plantas leguminosas depende, en gran medida, de la fijación de nitrógeno molecular que realiza en simbiosis con especies específicas del género *Rhizobium*. Solo se conocen los simbioses para aproximadamente el 1 % de las leguminosas que forman nódulos fijadores de nitrógeno (Villanueva & Quintana, 2012). La efectividad de los nódulos se evidencia mediante la presencia de una coloración rojiza en el interior de los nódulos, característica de la proteína leghemoglobina (figura 12). Para el Caribe húmedo colombiano se destacan las leguminosas *Desmodium* sp. y *Teramnus labialis* que, junto con las pasturas, se constituye en uno de los principales alimentos para el ganado destinado a producción de carne.



Fotos: Diana Sánchez L.

Figura 12. Nódulos de *Teramnus labialis*: a. Nódulo radical; b. Coloración rojiza en el interior de los nódulos funcionales, característica de la proteína leghemoglobina

Se ha calculado que el total de N₂ fijado por los microorganismos FBN es del orden de 1.011 kg por año, alrededor del 60 % del nitrógeno fijado de nuevo en el suelo (Rueda et al., 2015), hecho que perfila a estos microorganismos como una alternativa sustentable para la incorporación de nitrógeno en los sistemas agrícolas.

Microorganismos productores fitohormonas

Las principales fitohormonas son las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico (Zahir, Arshad & Frankenberger, 2003). Estas moléculas son sintetizadas por las plantas y también son obtenidas del suelo a través de los microorganismos que tienen la capacidad de síntesis y excreción de sustancias fitoestimuladoras e incluso pueden activar compuestos orgánicos que brindan inmunidad vegetal, como el ácido jasmónico, el ácido salicílico y las fitoalexinas (Ahmad, Ahmad & Khan, 2008).

Una de las fitohormonas ampliamente reportadas son las auxinas (ácido indol-3-acético) (AIA) (Khalid, Arshad & Zahir, 2004). Estas hormonas están asociadas

a efectos directos en el desarrollo y la regulación de la planta e influyen de forma decisiva en procesos como la división celular, la diferenciación vascular, la formación de raíces adventicias, la dominancia apical y el desarrollo de frutos (Azcón-Bieto & Talón, 2008). Diversas PGPR producen AIA, entre las cuales se destacan *Azospirillum brasilense*, reportada en plantas de sorgo, con efecto de promotor de crecimiento (peso fresco y peso seco) (Sevilla, Burris, Gunapala & Kennedy, 2001); *Bacillus amyloliquefaciens* en plantas maíz (*Zea mays*), con efecto promotor de elongación de raíces (Patten & Glick, 2002); *Burkholderia cepacia* RRE25, reportada en plantas de arroz (*Oryza sativa*), con efecto promotor de elongación de raíces, brotes y número de raíces (Singh, Malik & Singh, 2013); *Bacillus amyloliquefaciens* KISA 34 y *Bacillus subtilis* KISA 71, reportadas en pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), con efecto de promotor de crecimiento (peso fresco y peso seco) y elongación de raíces (Sánchez et al., 2016); *Pantoea deleyi* ACSA12, *Enterobacter amnigenus* ACSA14 y *Serratia liquefaciens* ACSA19, que alivianan los efectos bajo condiciones de estrés salino en *Acacia decurrens* (Sánchez & Bonilla, 2014).

Las giberelinas (GA) son fitohormonas involucradas en el crecimiento de los tallos por la estimulación en la división y la elongación celular, que favorece los procesos de crecimiento y desarrollo de los frutos y la inducción de germinación de semillas. Estas GA estimulan la producción de numerosas enzimas, en particular la α -amilasa, las cuales incrementan la hidrólisis del almidón, fructano, sacarosa y el ácido giberélico (AG3), que rompe la latencia de las semillas (Davies, 2010). Se han podido identificar 121 giberelinas en plantas, bacterias y hongos, de las cuales solo tres poseen actividad biológica (GA1, GA3 y GA4); las restantes giberelinas identificadas son precursores o metabolitos (Hedden, 1999). Entre los microorganismos reportados como productores de estas fitohormonas se encuentran *Acetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Bacillus* sp., *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Bacillus pumilus* y *Bacillus licheniformis* (Bottini, Cassán & Piccoli, 2004).

Las citoquininas son hormonas que estimulan la división celular en los tejidos no meristemáticos y presentan diversos efectos a destacar como la dominancia apical, ya que estimulan el crecimiento de yemas laterales e inhiben la apical, y

estimulan la formación de raíces y tallos; en conjunto con las auxinas, estimulan la proliferación de células meristemáticas y la expansión de cotiledones (Davies, 2010). Se ha reportado la síntesis de este tipo de fitohormonas en las bacterias *Halomonas desiderata*, *Proteus mirabilis*, *P. vulgaris*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus megaterium*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *Pseudomonas aeruginosa* (Hussain & Hasnain, 2009).

Microorganismos productores sideróforos

El hierro (Fe) es un elemento esencial en los seres vivos porque actúa como catalizador de diferentes funciones celulares, como la síntesis de ADN, la respiración, la transferencia de electrones y es cofactor en procesos enzimáticos (Aguado-Santacruz, Moreno-Gómez, Jiménez-Francisco, García-Moya & Preciado-Ortiz, 2012). Tanto los microorganismos como las plantas bajo condiciones de déficit de hierro han desarrollado una estrategia de obtención de este elemento, que es la producción de sideróforos (Ali & Vidhale, 2013; Ahmed & Holmström, 2014).

Los sideróforos son componentes orgánicos de bajo peso molecular que tienen como función principal ser agentes quelantes de Fe para hacerlo disponible (Ali & Vidhale, 2013; Ahmed & Holmström, 2014). Adicionalmente, los sideróforos producidos por microorganismos del suelo pueden promover la disolución mineral en las fases insolubles del suelo e inmovilización de metales (Kraemer, 2004; Shirvani & Nourbakhsh, 2010). En las plantas, los sideróforos han sido reportados como agentes de control biológico, puesto que son considerados inhibidores del crecimiento de varios hongos fitopatógenos como *Phytophthora parasitica*, *Phythium ultimum*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum* (Ali & Vidhale, 2013; Ortiz-Texon, Delgadillo-Martínez, Rodríguez-Mendoza & Calderón-Zavala, 2016).

En las bacterias catalogadas como promotoras de crecimiento vegetal, la producción de sideróforos se constituye en un mecanismo indirecto de promoción de crecimiento, puesto que el incremento de absorción de hierro promueve el crecimiento de raíces y tallos (Verma, Singh & Prakash, 2011). Adicionalmente, los sideróforos son considerados catalizadores en procesos de asimilación de nitrógeno, ya que la nitrogenasa es un complejo enzimático

dependiente del hierro, por tanto, los sideróforos favorecen el proceso de fijación del nitrógeno en microorganismos con esta capacidad (Neilands, 1995). Dentro de los géneros bacterianos que producen sideróforos se destacan *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Azospirillum*, *Pseudo-monas* y *Rhizobium* (Glick, Patten, Holguin & Penrose, 1999; Ali & Vidhale, 2013).

Microorganismos productores de antibióticos

Los antibióticos comprenden un grupo diverso de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que afectan el crecimiento de microorganismos que no presentan resistencia a estas sustancias (Silveira, Ambrosini & Passaglia, 2012). En el suelo se encuentra una gran cantidad de microorganismos, capaces de sintetizar moléculas con capacidad antibiótica, las cuales se producen generalmente en respuesta a condiciones de estrés ambiental y competencia con otros microorganismos (Wilson, Salyers, Whitt & Winkler, 2011).

La producción de antibióticos es otro de los mecanismos asociados a las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, las cuales actúan como agentes biocontroladores de microorganismos fitopatógenos (Glick et al., 1999). El mecanismo principal de la actividad de los antibióticos está basado en la secreción de moléculas, generalmente policétidos y lipopéptidos (Fernando, Nakkeeran & Zhang, 2005), que destruyen o reducen el crecimiento o la actividad metabólica del patógeno objetivo (Silveira et al., 2012). Entre los antibióticos sintetizados por microorganismos que pueden causar supresión en patógenos se destacan el ácido fenazina-1-carboxílico, 2,4-diacetilfloroglucinol, oomicina, pirrol-atina, pirrol-nitrina, ficocianina, kanosamina, zwittermicina-A y pantocina (Fernando et al., 2005; Ramadan, AbdelHafez, Hassan & Saber, 2016). Junto con la acción antipatógena directa, los antibióticos producidos por las bacterias también están relacionados con el proceso de resistencia sistémica inducida (ISR) en el sistema de la planta (Fernando et al., 2005). Entre los géneros reportados como productores de antibióticos, se encuentran *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Rhizobium* y *Serratia* (Fernando et al., 2005).

Conclusión

Los microorganismos del suelo le dan formación y estabilidad e influyen positivamente en el ecosistema, dándole un equilibrio, ya que proporcionan una fuente de nitrógeno para las plantas y son necesarios para evitar la degradación y la pérdida de nutrientes, debido a sus diversas funciones; así mismo, exhiben la producción de polisacáridos y compuestos orgánicos que forman agregados en las capas del suelo y contribuyen a su conservación, por lo cual se convierten en la vida de suelo.

Referencias

- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E. & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidóforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 9-21.
- Ahmad, F., Ahmad, I. & Khan, M. S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163(2), 173-81.
- Ahmed, E. & Holmström, S. J. (2014). Siderophores in environmental research: roles and applications. *Microbial Biotechnology*, 7(3), 196-208. doi.org/10.1111/1751-7915.12117
- Ali, S. S. & Vidhale, N. N. (2013). Bacterial siderophore and their application: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(12), 303-312.
- Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M. & García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 178-188. doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Barcelona, España: McGraw-Hill Interamericana de España, S. L.

- Baldani, J. I., Reis, V. M., Videira, S. S., Boddey, L. H., & Baldani, V. L. D. (2014). The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and Soil*, 384(1-2), 413-431. doi: 10.1007/s11104-014-2186-6.
- Banik, S. & Dey, B. (1982). Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. *Plant and Soil*, 69(3), 353-364. doi: 10.1007/BF02372456.
- Bashan, Y., Puente, E., Salazar, B., De-Bashan, L., Bacilio, M., Hernández, J. ... Bethlenfalvay, G. (2015). Reforestación de tierras erosionadas en el desierto: el papel de las bacterias promotoras de crecimiento en plantas y la materia orgánica. *Suelos Ecuatoriales*, 35(1), 70-77.
- Becker, C. J., Galdo, Y., Ramos, Y., Peña, Y., Mirabal, A., Quintana, M. & Puentes, A. (2016). Rizobios aislados de leguminosas forrajeras de un ecosistema ganadero árido de Holguín, Cuba. Nodulación y evaluación morfo-cultural (Fase I). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(4), 607-617.
- Bottini, R., Cassán, F. & Piccoli, P. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65(5), 497-503. doi:10.1007/s00253-004-1696-1
- Cao, C., Jiang, D., Teng, X., Jiang, Y., Liang, W. & Cui, Z. (2008). Soil chemical and microbiological properties along a chronosequence of *Caragana microphylla* Lam. plantations in the Horqin sandy land of Northeast China. *Applied Soil Ecology*, 40(1), 78-85.
- Cely, M. V. T., Siviero, M. A., Emiliano, J., Spago, F. R., Freitas, V. F., Barazetti, A. R. & Andrade, G. (2016). Inoculation of *Schizolobium parahyba* with Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Increases Wood Yield under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1708. doi:10.3389/fpls.2016.01708.
- Chakraborty, B. N., Chakraborty, U., Saha, A., Sunar, K. & Dey, P. L. (2010). Evaluation of phosphate solubilizers from soils of North Bengal and their diversity analysis. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(2), 195-200.
- Clay, K. & Holah, J. (1999). Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science*, 285(5434), 1742-1744.

- Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(3), 207-209. doi: 10.1016/j.ram.2017.07.001
- Cuadrado, H., Mejía, S., Contreras, A., Romero, A. & García, J. (2003). *Manejo agronómico de algunos cultivos forrajeros y técnicas para su conservación en la costa Caribe colombiana*. Cereté, Colombia: Corpoica, Pronatta.
- Davies, P. J. (2010). The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. En P. J. Davies (Ed.), *Plant hormones* (pp. 1-15). Dordrecht, Holanda: Springer.
- Döbereiner, J., Baldani, V. L. & Reis, V. M. (1995). Endophytic occurrence of diazotrophic bacteria in non-leguminous crops. En I. Fendrik, M. Del Gallo, J. Vanderleyden & M. De Zamaroczy (eds.), *Azospirillum VI and related microorganisms* (pp. 3-14). Berlin, Alemania: Springer.
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, W. & Merbach, W. (2006). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, 5(24), 2450-2460.
- Fernando, W. D., Nakkeeran, S. & Zhang, Y. (2005). Biosynthesis of antibiotics by PGPR and its relation in biocontrol of plant diseases. En Z. A. Siddiqui (Ed.), *PGPR: Biocontrol and Biofertilization* (pp. 67-109). Dordrecht, Holanda: Springer.
- Glick, B. R., Patten, C. L., Holguin, G. & Penrose, D. M. (1999). *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria*. Londres, Inglaterra: Imperial College Press.
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*, 169(1), 30-39. doi: 10.1016/j.micres.2013.09.009
- Guang-Can, T., Shu-Jun, T., Miao-Ying, C. & Guang-Hui, X. (2008). Phosphate-Solubilizing and-Mineralizing Abilities of Bacteria Isolated from Soils. *Pedosphere*, 18(4), 515-523. doi:10.1016/S1002-0160(08)60042-9
- Gyaneshwar, P., Naresh, G., Kumar, L., Parekh, J. & Poole P. (2002). Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*, 245(1), 83-93.

- Hayatsu, M., Tago, K. & Saito, M. (2008). Various players in the nitrogen cycle: diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 54(1), 33-45. doi:10.1111/j.1747-0765.2007.00195.x
- Hedden, P. (1999). Recent advances in gibberellin biosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 50(334), 553-563.
- Hussain, A. & Hasnain, S. (2009). Cytokinin production by some bacteria: its impact on cell division in cucumber cotyledons. *African Journal of Microbiology Research*, 3(11), 704-712.
- Khalid, A., Arshad, M. & Zahir, Z. A. (2004). Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 96(3), 473-80. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x
- Khan, A. L, Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A. & Lee, I. J. (2015). Endophytic fungi: a source of gibberellins and crop resistance to abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(1), 62-74. doi:10.3109/07388551.2013.800018.
- Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M. & Schroth, M. N. (1980). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature*, 286(5776), 885.
- Kraemer, S. M. (2004). Iron oxide dissolution and solubility in the presence of siderophores. *Aquatic Sciences*, 66(1), 3-8. doi:10.1007/s00027-003-0690-5
- Kucey, R. M. N., Janzen, H. H. & Leggett, M. E. (1989). Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. En N.C. Brady (Ed.), *Advances in agronomy* (pp. 199-228). Nueva York, EE. UU.: Academic Press.
- Lara-Mantilla, C., Peñata, N. & Luis, J. (2015). Effect of bio-inoculant from microbial consortia phosphate solubilizing natives in development of pastures (*Dichanthium aristatum*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 122-130. doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50741.
- Liu, K., McInroy, J. A., Hu, C. H. & Kloepper, J. W. (2018). Mixtures of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Biological Control of Multiple Plant Diseases and Plant-Growth Promotion in the Presence of Pathogens. *Plant Disease*, 102(1), 67-72. doi:10.1094/PDIS-04-17-0478-RE.

- Martínez, J. C., Romero, J., Zuluaga, J. J., Berrío, E. E., Gutiérrez, B., Roveda, G. ... Rodríguez, M. (2010). Efecto de la labranza y coberturas leguminosas sobre propiedades físicas del suelo en sistemas con melina en el Caribe colombiano. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 40, 189-194.
- Muleta, D., Assefa, F., Börjesson, E. & Granhall, U. (2013). Phosphate-solubilising rhizobacteria associated with *Coffea arabica* L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12(1), 73-84. doi: 10.1016/j.jssas.2012.07.002
- Neilands, J. B. (1995). Siderophores: structure and function of microbial iron transport compounds. *Journal of Biological Chemistry*, 270(45), 26723-26726.
- Oliviera, C., Alves V., Marriel I., Gómez E., Scotti M., Carneiro M. ... Sa, N. (2008). Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1782-1787. doi: 10.1016/j.soilbio.2008.01.012
- Ortiz-Texon, J. A., Delgadillo-Martínez, J., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N. & Calderón-Zavala, G. (2016). Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 177-185.
- Pajares, S. & Bohannan, B. J. (2016). Ecology of nitrogen fixing, nitrifying, and denitrifying microorganisms in tropical forest soils. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1045. doi:10.3389/fmicb.2016.01045
- Paredes, M. & Espinosa, D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfatos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61-70.
- Patten, C. L. & Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8), 3795-3801. doi: 10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002
- Paul, E. A., Harris, D., Klug, M. J. & Ruesch, R. W. (1999). The determination of microbial biomass. En G. P. Robertson, D. C. Coleman, C. S. Bledsoe & P. Sollins (Eds.), *Standard soil methods for Long-Term Ecological Research Network Series* (pp. 291-317). Nueva York, EE. UU.: Oxford University Press.

- Pedraza, R. O., Bellone, C. H., de Bellone, S. C., Sorte, P. M. F. B. & dos Santos Teixeira, K. R. (2009). Azospirillum inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *European Journal of Soil Biology*, 45(1), 36-43. doi: 10.1016/j.ejsobi.2008.09.007
- Pérez, A. F., Rojas, J. N. & Fuentes, J. R. (2010). Diversidad de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto Colosuana (*Bothriochloa pertusa*) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 219-228.
- Pérez, A. & Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Revista MVZ Córdoba*, 15(3), 2165-2175.
- Pérez, A., Botero, C. & Cepero, M. (2012a). Diversidad de micorrizas arbusculares en pasto Colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Sucre. *Revista MVZ Córdoba*, 17(2), 3024-3032.
- Pérez, A., De la Ossa, J. & Montes, D. (2012b). Hongos solubilizadores de fosfatos en Fincas ganaderas del departamento de Sucre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 4(1), 35-45.
- Pérez, A., Sierra, J. R. & Montes, V. D. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 3(2), 366-385.
- Pérez, J., Carmona, S., Zamudio, E., Rivera, N. & Calva, G. (2017). Bioremediation of soils from oil spill impacted sites using bioaugmentation with biosurfactants producing, native, free-living nitrogen fixing bacteria. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 105-114. doi: 10.20937/RICA.2017.33.esp01.09.
- Pineda, M. E. B., Gil, Z. E. R., Figueroa, A. A. B. & Morales, L. A. P. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20(2), 159-170. doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a05

- Ramadan, E. M., AbdelHafez, A. A., Hassan, E. A. & Saber, F. M. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria and their potential for biocontrol of phytopathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 10(15), 486-504. doi.org/10.5897/AJMR2015.7714.
- Reed, S. C., Yang, X. & Thornton, P. E. (2015). Incorporating phosphorus cycling into global modeling efforts: a worthwhile, tractable endeavor. *New Phytologist*, 208(2), 324-329. doi: doi.org/10.1111/nph.13521.
- Restrepo-Franco, G. M., Marulanda-Moreno, S., de la Fe-Pérez, Y., Díaz-de la Osa, A., Lucia-Baldani, V. & Hernández-Rodríguez, A. (2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(1), 6376.
- Rodríguez, D. N., Dardanelli, M. S. & Ruíz-Saínz, J. E. (2007). Attachment of bacteria to the roots of higher plants. *FEMS Microbiology Letters*, 272(2), 127-136. doi: 10.1111/j.1574-6968.2007.00761.x.
- Rueda, E., Ortega, J., Barrón, J., López, E., Murillo, A. ... Valdez, R. (2015). Los fertilizantes biológicos en la agricultura. *Invurnus*, 10(1), 10-17.
- Sánchez-López, D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido-Rubiano, M. F. & Bonilla-Buitrago, R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401-1415.
- Sánchez, L. D. B., Pérez P. J. V. & Hinestroza, D. A. H. (2016). Efecto de las PGPB sobre el crecimiento *Pennisetum clandestinum* bajo condiciones de estrés salino. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 65-72. doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.50413.
- Sánchez, D. B. & Bonilla, R. R. (2014). Respuesta vegetal de acacia decurrens a la inoculación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal bajo estrés salino. *Temas Agrarios*, 19(2), 159-172.
- Santoyo, G., Valencia-Cantero, E., Orozco-Mosqueda, M., Peña-Cabriales, J. J. & Farías-Rodríguez, R. (2010). Papel de los sideróforos en la actividad antagónica de *Pseudomonas fluorescens* ZUM80 hacia hongos fitopatógenos. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 53-60.
- Sarandón, S. J. & Flores, C. C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Recuperado de <https://www.mec.gub.uy/innovaportal/file/75868/1/agroecologia.pdf>.

- Sevilla, M., Burris, R. H., Gunapala, N. & Kennedy, C. (2001). Comparison of benefit to sugarcane plant growth and 15N2 incorporation following inoculation of sterile plants with *Azotobacter diazotrophicus* wild-type and nif mutant strains. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 14(3), 358-366.
- Shirvani, M. & Nourbakhsh, F. (2010). Desferrioxamine-B adsorption to and iron dissolution from palygorskite and sepiolite. *Applied Clay Science*, 48(3), 393-397. doi: 10.1016/j.clay.2010.01.012.
- Silveira, A. B. D., Ambrosini, A. & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4), 1044-1051.
- Simard, S. W. & Durall, D. M. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1140-1165. doi: doi.org/10.1139/b04-116.
- Singh, J. S., Pandey, V. C. & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 140(3-4), 339-353. doi: 10.1016/j.agee.2011.01.017.
- Singh, R. K., Malik, N. & Singh, S. (2013). Improved Nutrient Use Efficiency Increases Plant Growth of Rice with the Use of IAA-Overproducing Strains of Endophytic *Burkholderia cepacia* Strain RRE25. *Microbial Ecology*, 66(2), 375-384. doi:10.1007/s00248-013-0231-2.
- Tkacz, A. & Poole, P. (2015). Role of root microbiota in plant productivity. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2167-2175. doi:10.1093/jxb/erv157.
- Verma, V. C., Singh, S. K. & Prakash, S. (2011). Bio-control and plant growth promotion potential of siderophore producing endophytic *Streptomyces* from *Azadirachta indica* A. Juss. *Journal of Basic Microbiology*, 51(5), 550-556. doi: 10.1002/jobm.201000155.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571-586. doi:10.1023/A:1026037216893.
- Villanueva, T. E. E. & Quintana, D. A. (2012). Aislamiento y selección de bacterias nativas de rizobios fijadores de nitrógeno, a partir de nódulos radiculares de *Phaseolus vulgaris*. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 32(1), 24-103.

- Wei, G. H., Wang, E. T., Tan, Z. Y., Zhu, M. E., & Chen, W. X. (2002). *Rhizobium indigoferae* sp. nov. and *Sinorhizobium kummerowiae* sp. nov., respectively isolated from *Indigofera* spp. and *Kummerowia stipulacea*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52(6), 2231-2239. doi: 10.1099/ijs.0.02030-0.
- Wilson, B. A., Salyers, A. A., Whitt, D. D. & Winkler, M. E. (2011). Chap. 15. Antimicrobial Compounds. En B. A. Wilson, A A. Salyers, D. D. Whitt & M. E. Winkler, *Bacterial pathogenesis: a molecular approach* (pp. 317-346). Washington, D. C., EE. UU.: ASM Press.
- Zahir, Z. A., Arshad, M. & Frankenberger, W. T. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168. doi: 10.1016/S0065-2113(03)81003-9.

Capítulo III

Importancia de las leguminosas en los sistemas ganaderos

Hugo Cuadrado Capella, Emiro Suárez Paternina, José Jaime Tapia Coronado, Sergio Mejía Kerguelén y Liliana Atencio Solano

La alimentación de los bovinos en Colombia se basa principalmente en el uso de gramíneas forrajeras, ya que debido a su bajo costo con relación a otros productos resulta la forma más económica de producir carne y leche. Sin embargo, estas se caracterizan por presentar bajos aportes de nutrientes (proteína, energía y minerales), contenidos altos de fibra, baja degradabilidad y, en ocasiones, baja cobertura por el tipo de crecimiento de la pastura, asociados a problemas de erosión que limitan la productividad de los bovinos en condiciones de pastoreo. En este orden de ideas, la búsqueda de alternativas que sean viables y económicas para la alimentación de los bovinos es fundamental, por lo cual las leguminosas nativas o establecidas pueden contribuir a mejorar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos y, por ende, la dieta base de los bovinos.

Las leguminosas forrajeras hacen parte de la familia de las fabáceas, las cuales contemplan alrededor de 20.000 especies (Lewis, Schrire, Mackinder & Lock, 2005), que pueden ser anuales o perennes, herbáceas, tipo arbusto o árboles, con adaptación específica a determinadas condiciones. Su uso presenta múltiples ventajas: aportan nitrógeno atmosférico al suelo y mejoran el ciclo de este; mejoran el ciclo del fósforo (Rao et al., 2015; Clavero, 2011; Schultze-Kraft et al., 2018); son una fuente importante de minerales (calcio, fósforo, potasio, magnesio, manganeso, sodio y molibdeno); muchas de las especies presentan un sistema de raíz profundo, que brinda eficiencia en el uso del agua, tolerancia a la sequía (Shelton, 2004) y proporciona nutrientes en las capas profundas del suelo.

Algunos consideran que no es conocido en su totalidad el número de leguminosas forrajeras que se utilizan a nivel mundial, sin embargo, según el repositorio de

la FAO, se tiene que son 169 las especies de leguminosas que son utilizadas como forrajeras (INRA, CIRAD, AFZ & FAO, 2017), entre las cuales se han reportado algunas de tipo herbáceas en sistemas ganaderos en Colombia (tabla 4) (Uribe, Zuluaga, Valencia, Murgueitio & Ochoa, 2011).

Tabla 4. Especies de leguminosas herbáceas en sistemas ganaderos de Colombia

Nombre común	Nombre científico	Clima
Kudzu	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth	Cálido, medio
Pega pega	<i>Desmodium</i> spp.	Cálido, medio
Maní forrajero	<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W. C. Greg.	Cálido, medio
Centrosema	<i>Centrosema</i> spp.	Cálido, medio
Clitoria	<i>Clitoria</i> spp.	Cálido, medio
Estilosantes	<i>Stylosanthes</i> spp.	Cálido, medio
Calopogonio	<i>Calopogonium</i> spp.	Cálido, medio
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i> L.	Frío
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i> L.	Frío
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L.	Frío, medio

Fuente: Uribe et al. (2011)

En el caso de las leguminosas forrajeras tipo arbustivas, estas se caracterizan por presentar, generalmente, mayor producción de biomasa que las herbáceas. Tienen la capacidad de rebrotar y ofrecer forraje en épocas de sequía, toleran el manejo y consumo de los animales y les proporcionan sombra (Shelton, 2004; Kebede, Assefa, Feyissa & Mengistu, 2016). Adicionalmente, presentan la ventaja de que pueden ser utilizadas como fuente de leña y barreras vivas, y controlan la erosión, la fijación de nitrógeno y el secuestro de carbono. *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana*, *Sesbania sesban*, *Calliandra calothyrsus* son algunas de las especies leguminosas arbustivas más conocidas y estudiadas en la alimentación animal en varios países (Pizarro, 2005).

Todas estas especies representan una amplia diversidad taxonómica y genética (Schultze-Kraft et al., 2018) y pueden ser alternativas alimenticias de alto potencial para los sistemas ganaderos de leche y carne en el trópico. Al mejorar

las características del forraje y la producción de biomasa, en asocio con el uso de las gramíneas, se generan algunas ventajas, como valores de alimentación más equilibrados y mayor eficiencia en el uso de recursos, que permiten mejorar la productividad, la capacidad de carga animal y la sostenibilidad de las praderas en los sistemas ganaderos (Phelan et al., 2015; Hernández et al., 1999)

Es importante mencionar que la productividad animal, además de estar determinada por la cantidad de nutrientes que consume el animal, representada en la cantidad y la calidad de las pasturas y el tipo de alimento, depende también de la capacidad fisiológica del animal (habilidad genética, historia nutricional y estado de lactancia) (Juárez, 2006).

Al respecto, diversos estudios manifiestan las bondades de utilizar leguminosas en la alimentación de rumiantes (tabla 5). Según Schultze-Kraft et al. (2018) y Rao et al. (2015), se puede tener un aumento en la productividad de los sistemas de producción ganaderos con la implementación de leguminosas en potreros con gramíneas.

Tabla 5. Ganancia de peso animal con el uso de leguminosas

Pastura	País	Leguminosa	Ganancia de peso vivo	
			Pastura	Pastura + Leguminosa
Urochloa humidicola ¹	Venezuela	Desmodium ovalifolium	336 g/animal/día	385 g/animal/día
Urochloa decumbens ¹	Colombia	Pueraria phaseoloides	124 kg/animal/año	174 kg/animal/año
Andropogon gayanus	Colombia	Stylosanthes capitata	120 kg/animal/año	180 kg/animal/año
Urochloa dictyoneura ¹	Colombia	Centrosema acutifolium cv. Vichada Stylosanthes capitata	Promedio de 3 ciclos (385	456 g/animal/día

Continuación tabla 5

			días) 191 g/animal/día	446 g/animal/día
Urochloa decumbens ¹	Brasil	Calopogonium muconoides	327 kg/ha/año	385 kg/ha/año
Penisetum Purpureum cv. Kurumi	Brasil	Arachis pintoi	716 g/animal/día	790 g/animal/día

¹ Anteriormente clasificadas como *Brachiaria*.

Fuente: Schultze-Kraft et al. (2018) y Rao et al. (2015)

Así mismo, Mejías et al. (2003) reportaron que la asociación de gramíneas con leguminosas rastreras contribuyó de manera significativa al crecimiento y el desarrollo de terneras al proveer una mayor disponibilidad de materia seca (5 kg por cada 100 kg de peso vivo) y de nutrientes.

A pesar de los beneficios que trae el uso de leguminosas en los sistemas ganaderos, estas presentan algunas desventajas frente a las gramíneas, ya que son de menor persistencia, su consumo alto genera hinchazón en el ganado y no se facilita su conservación como ensilaje o heno (Phelan et al., 2015).

Participación de las leguminosas en las praderas

Para conocer las contribuciones de las leguminosas nativas forrajeras en los sistemas ganaderos, se hace necesario cuantificar la participación de estas en la composición botánica de las praderas, así como su calidad nutricional y su aporte en la producción de leche y carne. Para esto, se realizan evaluaciones de disponibilidad de forraje y composición botánica utilizando el método poblacional estratificado, con base en el hábito de crecimiento de la pastura establecida (Franco, Calero & Durán, 2006); se toma una submuestra de 250 g de forraje verde, a partir de la que se determina el porcentaje de materia seca (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2000), y se toma una muestra de 250 g para analizar en laboratorio y determinar la proteína cruda según el método de la AOAC (2002).

Las evaluaciones se deben de realizar un día antes de la entrada de los animales al potrero y la frecuencia de estas depende del periodo de descanso. Es decir que, con periodos de descanso de 21 días, el día 21 se realiza la evaluación en la pastura en aquel potrero donde al día siguiente entrarán los animales.

En investigaciones desarrolladas en AGROSAVIA, se observó que en sistemas de pastoreo rotacional intensivo establecidos en las pasturas de Guinea (*Megathyrsus maximus*) cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa en el valle del Sinú estas presentaron la habilidad de asociarse con las leguminosas nativas *Desmodium incanum*, *Desmodium scorpiurus*, *Teramnus labialis* y *Centrosema molle*. A continuación, se detallan las características de estas leguminosas y su contribución al sistema de producción de carne.

Teramnus labialis (Swartz)

Nombre común. Bejuco de yegua, ahorca lobo

Taxonomía. Reino Plantae

Phylum. Magnoliophyta

Clase. Magnoliopsida

Orden. Fabales

Familia. Leguminosae

Familia. Leguminosae

Género. Teramnus

Epíteto específico. Labialis

Nombre científico. Teramnus labialis

Origen y distribución. Es originario de América tropical; se distribuye en Cuba, Jamaica, Haití, Brasil, Paraguay, Argentina y Colombia.

Adaptación. Suelos con pH entre 5,5 y 8, precipitaciones desde 700 hasta 1.500 mm, altura sobre el nivel del mar hasta 2.500 m y temperaturas ente 14 y 30 °C.



Foto: Emiro Suárez.

Descripción. Plantas perennes de tallos finos, hojas trifoliadas con estípetas agudas más pubescente en el envés que en el haz; flores blancas, con manchas rosadas y coloreadas, cáliz de 4-7 mm, estambres diadelfos con 5 estaminoides, estilo muy pequeño, estigma abultado, ovario peloso. Vainas ligeramente mucronadas, comprimidas, algo pubescentes, con más de 3 cm de longitud, que contienen de 7-12 semillas de forma ovalada-globosa, de coloración pardo claro y pardo oscuro o negra (Tropical Forages, 2017).

Uso. Pastoreo asociado con pasturas rastreras, semierectas, erectas y decumbentes. Consumo fresco, en corte y acarreo y como cobertura de sistemas agroforestales; también se puede conservar en forma de heno.

Valor nutritivo. Proteína cruda 20 %, fibra 30 %, digestibilidad >60 %, calcio 1-1,2 % y P 0,2-0,3 %.

Participación en la composición botánica del modelo productivo.

Teramnus labialis participó con un porcentaje promedio anual del 3,45 %, en asocio con cv. AGROSAVIA Sabanera y con 3,53 % con el cv. Mombasa.

Materia seca ofrecida al modelo. Su aporte acumulado al año con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera fue 437,5 kg ha⁻¹, y asociado con el cv. Mombasa, 395,8 kg ha año⁻¹.

Proteína cruda ofrecida al modelo. La oferta de proteína cruda, en asocio con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, fue de 96,25 kg ha⁻¹ año⁻¹; con el cv. Mombasa, su aporte proteico fue de 87,08 kg ha año⁻¹.

Contribución al modelo en la producción de carne. A partir de su participación porcentual en la composición botánica, el aporte de proteína de esta especie y los requerimientos de proteína para mantenimiento y ganancia de peso establecidos por el National Research Council (NRC, 2000), para ganar un (1) kilogramo diario se estimó que la contribución al modelo, en la producción de carne ha⁻¹ año⁻¹, fue de 127,2 kg. Con Mombasa, su aporte fue de 114,5 kg de carne ha⁻¹ año⁻¹.

***Centrosema molle* Mart. ex Benth.**

Nombre común: Campanilla, bejuco de chivo, bejuquillo, espuela

Taxonomía. Reino Plantae

Subreino: Traqueobionta

Phylum. Magnoliophyta

Clase. Magnoliopsida
 Subclase: Rosidae
Orden. Fabales
Familia. Leguminosae
Género. Centrosema
 Especie. Molle
Origen y distribución. México, América Central y Sudamérica tropical. Se distribuye en África y Asia.



Adaptación. Requiere suelos fértiles, pero se adapta a suelos de baja fertilidad y alta acidez. Desde el nivel del mar hasta 1.600 m y con precipitaciones desde 800 a 1.600 mm.

Descripción. Planta perenne que se enreda, arrastra y trepa; raíces vigorosas, profundas y laterales. Tallos delgados, redondos, un poco angulares y con pocas vellosidades; hojas verde oscuro y trifoliadas, de 4 cm de largo x 3,5 cm de ancho; flores en racimos axilares, desde color blanco hasta lila, con rayas violeta; vainas lineales, ligeramente torcidas, que contienen hasta 20 semillas (Tropical Forages, 2017).

Uso. Pastoreo asociado con gramíneas, corte y acarreo en fresco y conservado, en forma de heno y ensilaje.

Valor nutritivo. De 17 a 26 % de proteína cruda, digestibilidad de la materia seca 45 a 65 %, fibra 39,5 %, 0,84 % de P, 0,24 % de Ca y ceniza 56 %.

Participación en la composición botánica del modelo productivo. *Centrosema* ha participado en la composición botánica con un porcentaje promedio anual del 0,06 % asociada con cv. AGROSAVIA Sabanera, y con 0,05 % asociada con cv. Mombasa.

Forraje ofrecido al modelo. Esta leguminosa, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, contribuyó con 6,94 kg de materia seca ha⁻¹año⁻¹. En asocio con cv. Mombasa, participó con 4,04 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹.

Proteína cruda ofrecida al modelo. Su aporte de proteína cruda, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, fue de 1,53 kg ha⁻¹ año⁻¹; en asocio con el cv. Mombasa, aportó 0,89 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Contribución al modelo en la producción de carne. El tributo de esta leguminosa en la producción de carne asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera fue de 2,01 kg ha⁻¹ año⁻¹; en asocio con cv. Mombasa, su contribución en la producción de carne fue de 1,17 kg ha⁻¹ año⁻¹.

***Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv.**

Nombre común. Cadillo, pega pega

Taxonomía. Reino Plantae

Subreino: Traquebionta

Phylum. Magnoliophyta

Clase. Magnoliopsida

Orden. Fabales

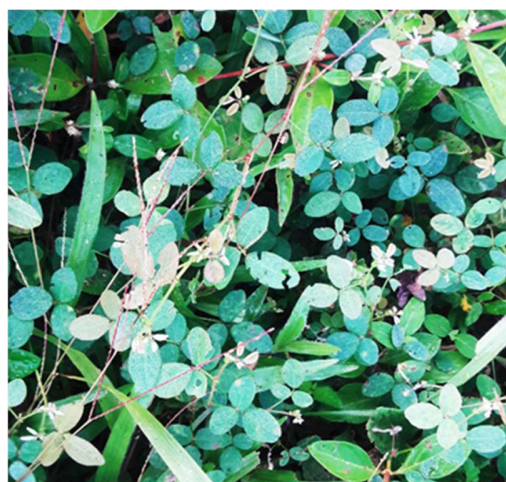
Familia. Leguminosae

Género. *Desmodium*

Especie. *Scorpiurus*

Origen y distribución.

Originario de América tropical, ahora distribuido a los trópicos.



Adaptación. Requiere suelos fértiles, pero se adapta a suelos de baja fertilidad y alta acidez. Desde el nivel del mar hasta 1.600 m y con precipitaciones desde 800 a 1.600 mm.

Descripción. Planta perenne, de tallos cilíndricos, fibrosa y poco pubescente; hojas con pelos largos y suaves uncinados (con ganchos) en ambas caras, pero más en el envés; flores azules, rosadas o moradas; corola y filamento de 5 mm de largo, fruto seco y simple, que abre al madurar; semillas de 1 mm de largo y 0,7 mm de ancho y en forma de riñón (Tropical Forages, 2017).

Uso. Pastoreo asociado con gramíneas y en banco de proteína.

Valor nutritivo. Proteína cruda 15,5 a 20 %, de la cual 7,5 % es digerible, fibra cruda 30 % y 54 % de digestibilidad.

Participación en la composición botánica del modelo productivo. Con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, participó con un porcentaje promedio anual de 1,30 %, y con cv. Mombasa, 1,67 %.

Forraje ofrecido al modelo productivo. Esta leguminosa, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, contribuyó con 177 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹. Con Mombasa, aportó 229,2 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹.

Proteína cruda ofrecida al modelo productivo. Su aporte proteico, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, fue de 39,09 kg ha⁻¹ año⁻¹. Con Mombasa, su aporte fue de 50,4 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Contribución al modelo en la producción de carne. Produjo, con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, 57 kg de carne ha⁻¹ año⁻¹. Con Mombasa, su producción fue de 66,7 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Desmodium incanum

Nombre común. Cadillo, pega pega

Origen y distribución. México, Centroamérica y Sudamérica

Taxonomía. Reino Plantae

Subreino: Traquebionta

Phylum. Magnoliophyta

Clase. Magnoliopsida

Subclase. Rosidae

Orden. Fabales

Familia. Leguminosae

Género *Desmodium*

Especie. *Incanum*



Origen y distribución. México, Centroamérica y Sudamérica. Está distribuido en EE. UU., Hawái, Oceanía y trópicos del viejo mundo.

Adaptación. Se adapta a suelos neutros y alcalinos, y de alta acidez (pH: 4,5); desde el nivel del mar hasta 1.600 m y con precipitaciones desde 800 a 1.600 mm. Posee buena tolerancia a la sombra.

Descripción. Planta perenne de porte bajo, con tallos cilíndricos, hojas trifoliadas con pecíolos de hasta 3,5 cm de largo, con estípulas de 3-11 mm de largo por 1-3 mm de ancho. Los folletos son muy variables, pero en su mayoría son elípticos. La valva terminal puede tener hasta 9 cm de largo y 4,5 cm de ancho, con folletos laterales de hasta 6 cm de largo y 3 cm de ancho, pero generalmente las hojas en las ramas superiores son más grandes y puntiagudas que las de las ramas inferiores. La inflorescencia es un racimo terminal o axilar, de hasta 20 cm de largo, con flores azules, rojas o púrpuras simples en estándares de hasta 6 mm de largo. Las vainas de las semillas pueden tener hasta 4 cm de largo, con un margen superior recto y un margen inferior fuertemente indentado, y están cubiertas con pelos en forma de gancho. Las semillas de color marrón claro usualmente tienen forma de riñón, 1 mm x 0,5 mm (Tropical Forages, 2017).

Uso. Pastoreo, en asociación con gramíneas rastreras, erectas y semierectas.

Valor nutritivo. De 17 a 20 % de proteína cruda, digestibilidad de la materia seca 25 a 60 %, fibra 48,2 %, 0,18 % de P, 0,25 % de Ca y 0,46 % de EE. Posee cantidades intermedias de taninos condensados que disminuyen un poco la palatabilidad en la época de lluvias, pero en época seca estos niveles bajan y se aumenta su consumo.

Participación en la composición botánica del modelo productivo. Tuvo una participación porcentual promedio del 0,65 % en AGROSAVIA Sabanera y 0,38 % con Mombasa.

Forraje ofrecido al modelo. Esta leguminosa, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, contribuyó con 82,06 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Asociada en el modelo con cv. Mombasa, ofreció 42,06 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹.

Proteína cruda ofrecida al modelo. Su aporte de proteína cruda, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, fue de 18,7 kg ha⁻¹ año⁻¹. Con el cv. Mombasa, aportó 9,25 kg ha⁻¹ año⁻¹ de proteína cruda.

Contribución al modelo en la producción de carne. Contribuyó con 28,7 kg de carne ha⁻¹ año⁻¹, asociada con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera; contribuyó con 12,2 kg de carne ha⁻¹ año⁻¹, asociada con cv. Mombasa.

Otras leguminosas herbáceas que se pueden encontrar en sistemas ganaderos de la región Caribe colombiana, y que también contribuyen a mejorar la calidad de nutricional de la dieta base de los bovinos, son *Desmodium intortum*, *Desmanthus virgatus* y *Rhynchosia minima*. La participación de estas en la composición botánica de las praderas de-penderá del tipo de manejo brindado por los productores. En este sentido, se recomienda evitar el uso de agroquímicos. Asimismo, en la región existen leguminosas arbóreas y arbustivas como *Gliricidia sepium* (matarratón) y *Leucaena leucocephala*, que también aportan múltiples beneficios a los sistemas ganaderos.

Otras especies que, a pesar de no ser leguminosas, contribuyen de gran forma en la alimentación de bovinos, son *Crescentia cujete* (totumo) y *Guazuma ulmifolia* (guasimo), los cuales se caracterizan por presentar excelente adaptación al Caribe húmedo.

Conclusiones

El asocio de leguminosas nativas con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa es una alternativa que mejora la calidad nutricional, aumenta la producción de materia seca y hace más sostenibles las praderas.

Se ha encontrado que las leguminosas nativas en la composición botánica de la pastura *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y el cv. Mombasa puede estar por encima del 5 %, sin embargo, se debe aumentar esa participación en la pradera a niveles cercanos al 20 % mediante estrategias de manejo del pastoreo.

Referencias

AOAC International. (2002). *Official methods of analysis of the AOAC International* (17ª ed.). Gaithersburg, EE. UU.: Association of Analytical Communities.

- Clavero, T. (2011). Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. *Revista de la Universidad del Zulia. Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología*, 2(2), 11-35. Recuperado de https://issuu.com/revistadelauniversidaddelzulia/docs/a_o_2_n_2_enero-abril_2011_opt
- Franco, Q. L. H., Calero, Q. D. & Durán, C. C. V. (2005). *Manejo y utilización de forrajes tropicales multipropósito*. Palmira, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, N., Hernández, C., Martínez, H. L., Bécquer, C. J., Vega, S., Nápoles, J. A. & Catalá, Z. (1999). Leguminosas naturalizadas en las regiones ganaderas de Sancti Spíritus. *Pastos y Forrajes*, 22(3), 303-309.
- INRA, CIRAD, AFZ & FAO. (2017). List of feeds. Feedipedia. Animal feed resources information system. Recuperado de <https://www.feedipedia.org/content/feeds?category=13594>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2000). *NTC 4888. Alimentos para animales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil*. Bogotá D. C., Colombia: Icontec.
- Juárez, F. (2006). *Evaluación nutricional de leguminosas tropicales* [Curso: Evaluación Nutricional de Forrajes en la Región del Golfo de México, Cornell University]. Recuperado de <http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse1/minisite/pdf/3/Evaluaci%C2%A2n%20Nutricional%20de%20Leguminosas%20Tropicales.pdf>.
- Kebede, G., Assefa, G., Feyissa, F. & Mengistu, A. (2016) Forage legumes in crop-livestock mixed farming systems: A review. *International Journal of Livestock Research*, 6(4), 1-18.
- Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. & Lock, M. (2005). *Legumes of the World*. Londres, Reino Unido: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Mejías, R., Michelena, J. B., Ruiz, T. E., Cino, D. M., González, M. E. & Albelo, N. (2003). Sistema de crianza de hembras bovinas, en la etapa de terneras, con la utilización de leguminosas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(3), 251-256. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018048005>.
- National Research Council (NRC). (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/9791.

- Phelan, P., Moloney, A. P., McGeough, E. J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O'Riordan, E. G. & O'Kiely, P. (2015). Forage Legumes for Grazing and Conserving in Ruminant Production Systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3), 281-326.
- Pizarro, E. (2005). Especies arbustivas, gramíneas y leguminosas para el trópico americano. En Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) (Ed.), *IX Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en los Sistemas de Producción Animal* (pp. 30-49). Recuperado de http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/ESPECIES_ARBUSTIVAS_GRAM%C3%8DNEAS_Y_LEGUMINOSAS_WWW.pdf
- Rao, I. M., Peters, M., Castro, A., Schultze-Kraft, R., White, D., Fisher, M. J., ... Rudel, T. (2015). LivestockPlus - The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical Grasslands. Forrajes Tropicales*, 3(2), 59-82.
- Schultze-Kraft, R., Rao, I. M., Peters, M., Clements, R. J., Bai, C. & Liu, G. (2018). Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. *Tropical Grasslands. Forrajes Tropicales*, 6(1), 1-14.
- Shelton, H. M. (2004). Perspectives on forage tree legumes. En S. G. Reynolds & J. Frame (Eds.), *Grassland: Development, opportunities, prospective* (87-118). Roma: FAO and Science Pub.
- Tropical Forages: An Interactive Selection Tool (2005). *Teramnus labialis*. Recuperado de http://www.tropicalforages.info/key/forages/Media/Html/entities/teramnus_labialis.htm.
- Uribe, F., Zuluaga, A. F., Valencia, L., Murgueitio, E. & Ochoa, L. (2011). *Buenas prácticas ganaderas*. [Manual n.º 3. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible]. Bogotá: GEF, Banco Mundial, Fedegán, Cipav, Fondo Acción, TNC.

Capítulo IV

Cobertura arbórea y fauna edáfica asociada a sistemas ganaderos

José Luis Rodríguez Vitola, Emiro Suárez Paternina,
Jeyson Garrido Pineda y Judith Martínez Atencia

La creciente presión sobre el suelo debido a la agricultura y la ganadería ha conducido a la degradación de este y la disminución del rendimiento de cultivos y animales. Una de las alternativas para frenar este proceso es la recuperación de estas áreas a través del manejo de sistemas agroforestales. Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en donde las plantas leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos o animales, con el propósito de diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible (Beer et al., 2003).

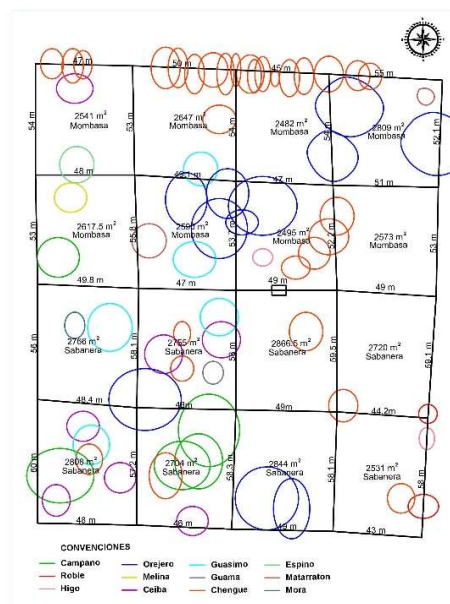
En ganadería, los sistemas agroforestales pecuarios empiezan a generar un enfoque sostenible como opción de producción pecuaria, y entre estos se destaca el mantenimiento de árboles y arbustos dispersos en potreros (Serrano, Andrade & Mora-Delgado, 2014). La presencia del componente arbóreo brinda una serie de beneficios ambientales, como secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad, fuente de alimentación, fuente de sombra y restauración de ecosistemas, y beneficios económicos, como producción de madera, fibras y frutos (Sauceda Olivera, 2010; Serrano et al., 2014; Trujillo, Cuellar, Huaca, Velásquez & Suárez, 2015).

La provisión de sombra para el ganado es una de las principales razones por las que se fomenta la presencia de árboles en los potreros (Sauceda Olivera, 2010; Serrano et al., 2014; Encinozo-González, Camacaro-Calvete, Pinto-Santini & Ríos de Álvarez, 2017), principalmente en la temporada seca, en donde los factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar influyen drásticamente no solo en la calidad del alimento, sino también en el consumo, la digestibilidad, el metabolismo y la disipación de calor corporal, que

ocasionan reducciones significativas en los índices productivos del ganado, tales como la producción de leche y carne. Por lo tanto, la sombra resulta ser una alternativa para minimizar su impacto debido a que se mejora el estado de bienestar térmico del animal, condición que está relacionada con valores menores en la tasa de respiración, aumento en el consumo de alimento y reducción del gasto de energía (Serrano et al., 2014; Trujillo et al., 2015; Encinozo-González et al., 2017), lo cual genera cambios positivos en la respuesta productiva del ganado.

A pesar de que el componente arbóreo aporta múltiples beneficios a los sistemas ganaderos, no siempre la asociación entre gramíneas y árboles suele ser compatible, ya que se pueden registrar interacciones positivas y negativas. Un ejemplo de ello es que la utilización de altas densidades de árboles mejora el bienestar animal debido a un mejor confort térmico; sin embargo, la producción de forraje de la gramínea se vería comprometida, dado el exceso de sombra (Harvey & Ibrahim, 2003). En este contexto, para aumentar los beneficios del componente arbóreo es importante conocer y entender las interacciones que se presentan en los sistemas.

Bajo las condiciones del Caribe húmedo colombiano, se ha observado cómo las hojas y los frutos de árboles y arbustos contribuyen a la dieta de los bovinos y al bienestar animal en los sistemas ganaderos (figura 13) donde se ha implementado un modelo de producción de carne con el uso de las pasturas *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y *M. maximus* cv. Mombasa. Las principales arbóreas identificadas en este modelo están contenidas en la tabla 6, donde se evidencian once especies, de las cuales *Erythrina fusca* (chengue) y *Enterolobium cyclocarpum* (orejero) se destacaron por su mayor abundancia. Estas especies han emergido a través de regeneración natural en los potreros, y debido al significativo aporte de sombra que proveen se han conservado para mitigar las altas temperaturas en ciertas épocas de año y horas del día, favoreciendo así el confort de los animales. De igual forma, especies como *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman*, a través de sus follajes y sus frutos, representan una buena fuente de alimento y de nutrientes para los bovinos.



Fotos: Emiro Suárez y José Luis Rodríguez.

Figura 13. Sistema rotacional de potreros con árboles dispersos en las praderas de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú.

Tabla 6. Arbóreas registradas en praderas de *Megathyrus maximus* cv. Mombasa y AGROSAVIA Sabanera asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú

Especie	Mombasa				AGROSAVIA Sabanera			
	#	Altura (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa (m)	#	Altura (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa (m)
<i>Gliricidia sepium</i> (matarratón)	2	11,5	24,6	13	-	-	-	-
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (orejero)	8	25,88	117,35	27	3	27	104,13	31,67
<i>Erythrina fusca</i> (chengue)	23	20,78	65,96	17	7	17	53,66	15,71
<i>Maclura tinctoria</i> (mora)	1	20	37	18	1	21	54	13
<i>Pachira quinata</i> (ceiba)	1	26	92,5	18	6	25	88,72	16,33
<i>Ficus benjamina</i> (higo)	1	13	34	10	1	19	25	11
<i>Guazuma ulmifolia</i> (guasimo)	2	17,5	70,9	19	3	17	54	20

Continúa

Continuación tabla 6

Samanea saman (campano)	1	28	50,5	21	4	32	112,75	30,5
Gmelina arborea (melina)	1	25	60,1	16				
Inga edulis (guama)					1	18	39	11
Tabebuia rosea (roble)					2	24	47	12

Fuente: Elaboración propia

El número de árboles registrados en las praderas en donde se ha desarrollado el modelo de producción de carne osciló entre 14 y 20 árboles.ha⁻¹ (tabla 7). Dichas densidades han permitido que las praderas mantengan aceptables rendimientos de materia seca durante todo el año y se registraron producciones de forraje en las épocas seca y de lluvias entre 1,200 y 2,500 kg MS.ha⁻¹ respectivamente. Belsky y Amundson (1992) manifiestan que al establecer densidades bajas de árboles se pueden incrementar los rendimientos de las praderas debido a mejoras en la fertilidad del suelo y a un mejor balance hídrico de las plantas que crecen debajo de los árboles. Sin embargo, con densidades altas de árboles se puede reducir la productividad de biomasa herbácea debido a la competencia por nutrientes, luz y agua.

Tabla 7. Densidad y medidas dasométricas de los árboles presentes en las praderas asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú

Variables	Mombasa	AGROSAVIA Sabanera
Árboles identificados (#)	40	28
Densidad de árboles/ha	18,2	13,3
DAP* (cm)	73,02	73,05
Altura total (m)	21,38	22,79
Altura de copa (m)	8,05	10,50
Diámetro de copa (m)	18,63	19,43
Área de muestreo (ha)	2,0	2,0

*DAP: diámetro de altura al pecho.

Fuente: Elaboración propia

Sin duda alguna, la sombra emitida por el componente arbóreo es de suma importancia en los sistemas ganaderos, especialmente en aquellos que están ubicados en zonas tropicales. Durante el año, la sombra proyectada por los árboles puede variar debido a que muchos de estos emplean mecanismos

fisiológicos (pérdida de hojas, caducifolios) para contrarrestar las épocas críticas. En este sentido, bajo las condiciones del Caribe húmedo colombiano el porcentaje de sombra en las praderas donde se implementó el modelo de producción de carne varió entre el 19 y el 31 % en las épocas de sequía y lluvia respectivamente.

Por otra parte, al modelar la sombra emitida por los árboles durante las épocas seca y húmeda (figura 14) se evidencia una variación en el porcentaje de sombra cercano al 38 % entre ambas, que obedece a la presencia de especies arbóreas caducifolias como ceiba (*Pachira quinata*), orejero (*Enterolobium cyclocarpum*) y roble (*Tabebuia rosea*).

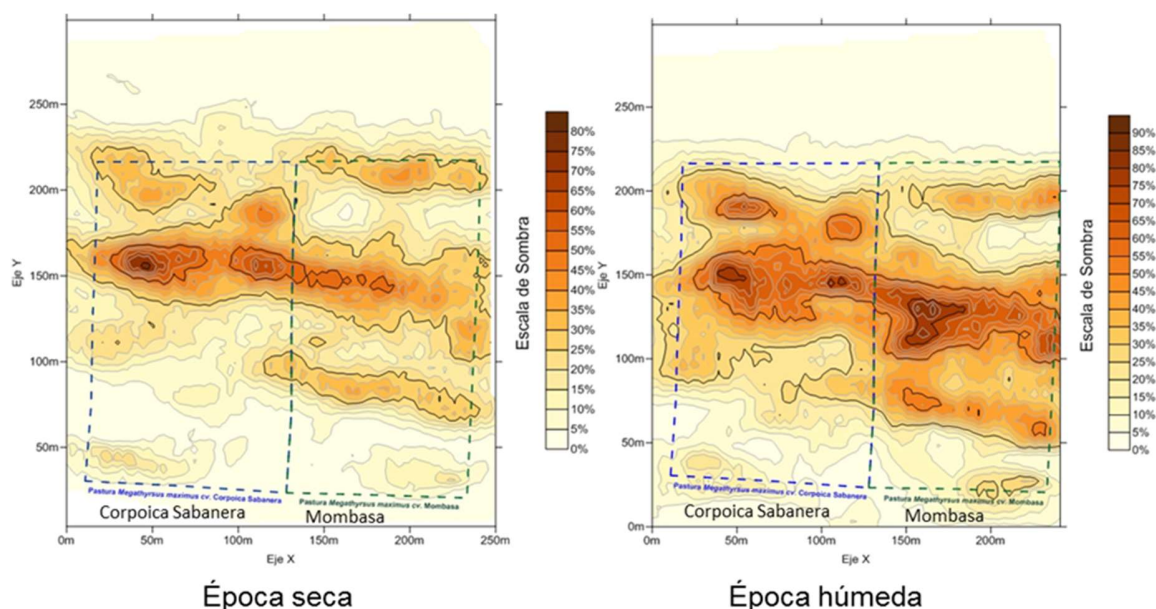


Figura 14. Distribución de la sombra en las épocas seca y húmeda en distintas coberturas arbóreas en praderas de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa asociadas al modelo de producción de carne en el valle del Sinú Fuente: Elaboración propia

Hay que destacar que, en temas de producción, se trata de promover el bienestar de los animales a través de un mejor confort térmico aportado por la sombra de los sistemas silvopastoriles presentes. De esta manera, Navas (2010) demuestra una disminución de entre 2 y 9 °C en la temperatura bajo la sombra

de los árboles durante las horas más calurosas del día. De igual forma, Cajas-Girón (2002) y Barragán (2013) llevaron a cabo investigaciones en la región Caribe y valles interandinos, en las cuales afirman que este tipo de sistemas de producción bovina tienen un efecto positivo sobre el bienestar animal y presentan una tendencia positiva hacia la mitigación del efecto negativo de la radiación directa sobre los animales. En adición, reportan efectos benéficos de los agroecosistemas ganaderos sobre la salud del suelo y la biodiversidad.

Fauna edáfica asociada al modelo de producción de carne

En las praderas donde se ha establecido el modelo de producción de carne, se ha logrado identificar diferentes órdenes, los cuales pueden ser observados en la figura 15. En promedio se ha logrado cuantificar entre 1.200 y 2.256 individuos/m² en las praderas asociadas al modelo (*Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa), distribuidos en seis órdenes; sobresalen los órdenes *Haplotaxida* (lombrices) y *Diplopoda* (milpiés). Resultados similares fueron obtenidos por Rodríguez, Torres, Crespo y Fraga (2002) y Sánchez y Reyes (2003), quienes evaluaron pastizales con diferente manejo ganadero en Cuba y obtuvieron hasta nueve órdenes de la macrofauna edáfica. La abundancia de lombrices en este tipo de sistemas es de gran importancia debido a la estrecha relación que tienen con las propiedades físicas de los suelos, especialmente las hídricas, a través de las galerías, los canales y las madrigueras, que pueden extenderse hasta varios metros bajo la superficie del suelo; además producen grandes cantidades de excretas, las cuales, por lo general, poseen un contenido de nutrientes superior comparado con el del suelo. Diversos autores han encontrado que estas excretas poseen niveles elevados de carbono orgánico, que favorece el reciclaje de nutrientes en el sistema (Sánchez & Reinés, 2001). Por su parte, Brussaard, Lavelle y Laurent (1996) y Kolmans y Vásquez (1999) plantearon que las excretas de las lombrices pueden aumentar de tres a once veces el contenido de fósforo, potasio y magnesio en forma disponible en el suelo, así como de cinco a diez veces el de nitrato y calcio.

Por su parte, los milpiés son un eslabón importante en los ecosistemas de pastizales, ya que consumen grandes cantidades de hojas de poco valor nutritivo y excretan la mayoría de ellas relativamente sin ningún cambio físico, pero muy fragmentadas, lo que facilita su aprovechamiento por los microorganismos (Sánchez & Reinés, 2001). Según Lavelle (1994), el consumo de hojarasca por estos ejemplares trae como consecuencia una desintegración, alguna hidrólisis de la celulosa, hemicelulosa y pectina y la activación de microorganismos en los pellets fecales, los cuales pueden ser reingeridos después de días o semanas. Esta estrategia alimentaria permite considerar este grupo dentro de los de mayor impacto en la descomposición de la hojarasca (Scheu & Poser, 1996; Setälä, Marshall & Trofymow, 1996; Reinés, 1998).

Así mismo, se encontró una abundancia de coleópteros de 80 individuos/m², que están catalogados como un grupo importante por el rol que cumplen en el funcionamiento de los ecosistemas, y como bioindicadores de calidad para la evaluación de los cambios producidos por la actividad antrópica en ecosistemas naturales y sistemas derivados. La presencia de estos organismos en los sistemas ganaderos tiene mucha importancia debido a que descomponen e incorporan materia orgánica al suelo, lo cual contribuye con el reciclaje de nutrientes y la dispersión de semillas; conforman galerías, lo que disminuye las escorrentías superficiales, y ayudan con el esparcimiento de semillas y el control de ectoparásitos (moscas) y parásitos gastro-intestinales (Escobar, 1997).

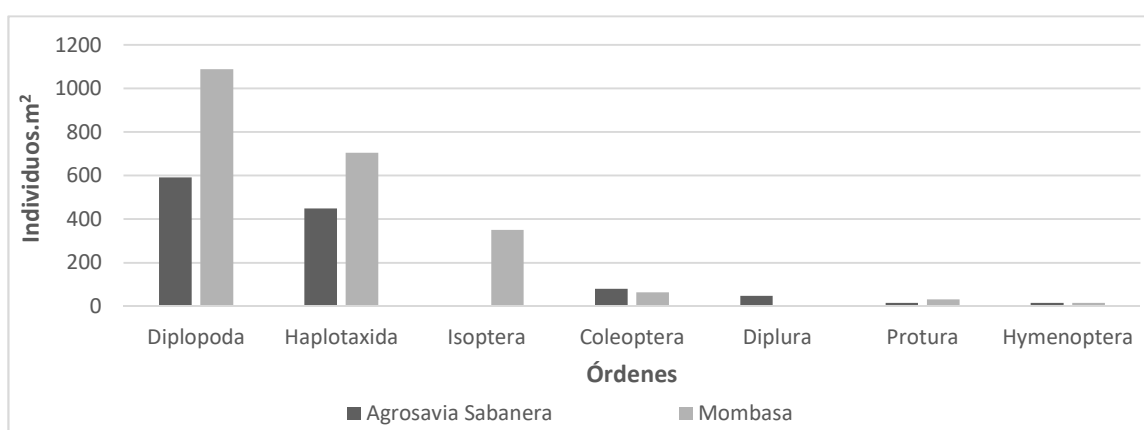
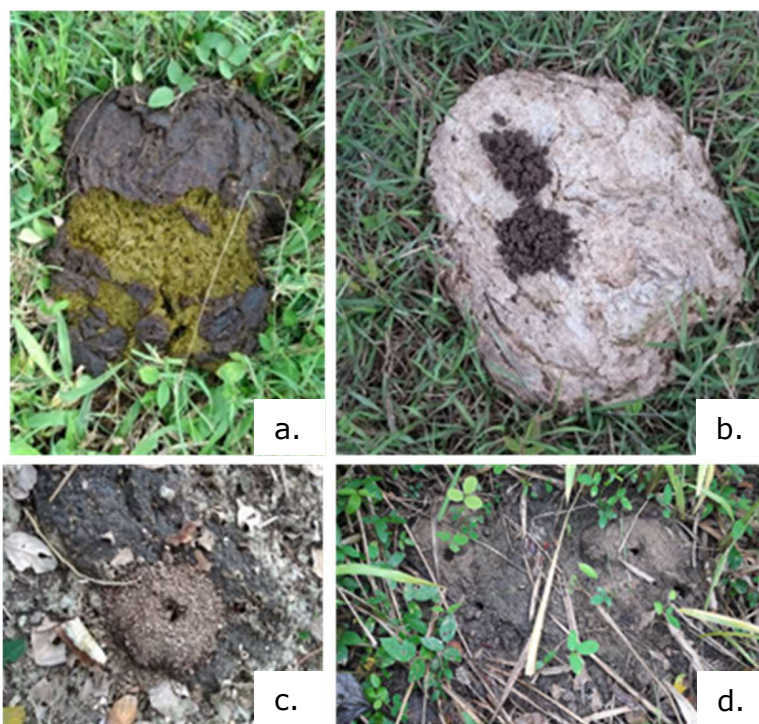


Figura 15. Abundancia absoluta (indiv./m²) de los órdenes de fauna edáfica.

Fuente: Elaboración propia

En Colombia, estudios adelantados por Zuluaga, Giraldo y Chará (2011) destacan que en sistemas silvopastoriles hay una mayor abundancia de escarabajos estercoleros en comparación con sistemas tradicionales de pastoreo. Otro beneficio de los escarabajos en los sistemas silvopastoriles es que reducen en un 40 % las poblaciones de moscas hematófagas (*Hematobia irritans*), las cuales usan el estiércol como nicho para su reproducción (figura 16). En este contexto, estudios realizados por Giraldo, Chará y Noriega (2009) reportan diferencias significativas en la población de escarabajos asociados a fincas con cercas vivas en comparación con fincas que manejaban cercas muertas. Esta diferencia representó un ahorro del 70 % en los costos de control de las moscas en el ganado de las fincas con cercas vivas. Indirectamente, el control biológico que realizan los escarabajos estercoleros permite reducir el estrés y el gasto de energía que emplean los animales al tratar de quitarse las moscas y optimiza el tiempo de pastoreo e ingestión de agua, lo que aumenta la productividad de los animales (De la Vega, Elizalde, González-Chang & Reyes, 2014).



Fotos: Sergio Mejía y Emiro Suárez.

Figura 16. Construcción de galerías en heces por los escarabajos. a. Bosta fresca; b. Bosta sin descomponer por baja presencia de escarabajos; c. Acción de escarabajos estercoleros; d. Galerías formadas por la acción de escarabajos estercoleros.

Conclusiones

La regeneración natural de la flora permitió identificar once especies de árboles, de las cuales *Erythrina fusca* (chengue) y *Enterolubium cyclocarpum* (orejero) se destacaron por su mayor abundancia.

En sistemas silvopastoriles con árboles dispersos provenientes de regeneración natural, el efecto sombra es dependiente de la época del año y de las especies arbóreas que conforman el sistema. El menor porcentaje de sombra durante la época seca estuvo determinado por la presencia de especies arbóreas cadusifolias.

Dentro de la macrofauna edáfica presente en el modelo se lograron identificar seis órdenes, de los cuales *Haplotaxida* (lombrices), *Diplopoda* (milpiés) y coleópteros (escarabajos) son de gran importancia por su contribución al mejoramiento de los suelos.

Referencias

- Barragán, W. (2013). *Sistemas silvopastoriles para mejorar la producción de leche y disminuir el estrés calórico en la región Caribe colombiana* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba Chávez, E. & Jiménez Otárola, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-28), 80-87.
- Belsky, A. J. & Amundson, R. G. (1992) Effects of trees on understorey vegetation and soils at forest-savanna boundaries in East Africa. En P. A. Furley, J. Proctor & J. A. Ratter (Eds.), *The Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries* (pp. 353-366). Londres, Reino Unido: Chapman and Hall.
- Brussaard, M., Lavelle, P. & Laurent, J. (1996). Digestion of a vertisol by the endogeic earthworms *Polypheretina elongata*, Megascolecidae, increases soil phosphate extractability. *European Journal of Soil Biology*, 32(2), 107-111.
- Cajas-Girón, Y. S. (2002). *Impacts of tree diversity on the productivity of silvopastoral systems in seasonally dry areas of Colombia* (Tesis doctoral). University of Wales, Cardiff, Gales.
- De la Vega, C., Elizalde, H., González-Chang, M. & Reyes, C. (2014). *Escarabajos estercoleros para la ganadería de la Región de Aysén*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/291974516_Escarabajos_estercoleros_para_la_ganaderia_de_la_Region_de_Aysen.
- Encinozo-González, O., Camacaro-Calvete, S., Pinto-Santini, L. & Ríos de Álvarez, L. (2017). Efecto de la presencia de sombra en áreas de pastoreo de ovinos. 1. Selección de especies forrajeras. *Pastos y Forrajes*, 40(1), 65-72.
- Escobar, S. F. (1997). Estudio de la comunidad de coleópteros coprófagos (Scarabidae) en un remanente de bosque seco al norte del Tolima, Colombia. *Caldasia*, 19(3), 419-430.

- Giraldo, C., Chará, J. & Noriega, J. (2009). *Efecto de los sistemas silvopastoriles en la población de escarabajos coprófagos en la cuenca del río La Vieja, Colombia* [Reporte de investigación]. Cali, Colombia: Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV).
- Harvey, C. A. & Ibrahim, M. (2003). Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ecológicos. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 4-5.
- Kolmans, E. & Vásquez, D. (1999). *Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. La Habana: Grupo de Agricultura Orgánica de ACTAF.
- Lavelle, P. (1994). *Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystems function*. Recuperado de https://iuss.boku.ac.at/files/volume_1_inaugural_and_state_of_the_art_conferences_compressed.pdf.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19, 113-122.
- Reinés, A. M. (1998). *Lombricultura, alternativa del desarrollo sustentable*. Jalisco, México: Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
- Rodríguez, I., Torres, V., Crespo, G. & Fraga, S. (2002). Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con leucaena para la ceba de toros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(2), 181-186.
- Sánchez, S. & Reinés, M. (2001). Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 24(3), 191-202.
- Sánchez, S. & Reyes, F. (2003). Estudio de la macrofauna edáfica en una asociación de *Morus alba* y leguminosas arbóreas. *Pastos y Forrajes*, 26(4), 315.
- Sauceda Olivera, M. (2010). *Impacto del arreglo espacial del componente arbóreo en sistemas silvopastoriles sobre el nivel de sombreado y la conectividad estructural de los paisajes en los municipios de Belén y Matiguás, Nicaragua* (Tesis de maestría). Escuela de posgrado CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Scheu, S. & Poser, G. (1996). The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology*, 3(2), 115-125.

- Serrano, J. R., Andrade, H. J. & Mora-Delgado, J. (2014). Caracterización de la cobertura arbórea en una pastura del trópico seco en Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 99-110.
- Setälä, H., Marshall, V. G. & Trofymow, J. A. (1996). Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and 15N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12), 1661-1675.
- Trujillo, L. A., Cuellar, Y. K., Huaca, D. Y., Velásquez, J. E. & Suarez, J. C. (2015). Caracterización de árboles dispersos en potreros y su efecto en la cobertura herbácea en pasturas del piedemonte amazónico colombiano. *Momentos de Ciencia*, 9(1), s. p. Recuperado de <https://www.udla.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/view/227>.
- Zuluaga, A. F., Giraldo, C. & Chará, J. (2011). *Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad*. Recuperado de <https://www.cipav.org.co/pdf/4.Servicios.Ambientales.pdf>.

Capítulo V

Utilización de recurso genético animal adaptado a las condiciones del Caribe húmedo colombiano

Juan Esteban Pérez García, Juan Carlos Fernández Niño, Matiluz Doria Ramos y Sergio Mejía Kerguelén

Introducción

Para obtener productos de calidad al menor costo posible en los sistemas de producción ganaderos, se requiere hacer uso eficiente de los recursos, ajustar los sistemas a la oferta ambiental de cada región, utilizar recursos genéticos localmente adaptados y usar herramientas biotecnológicas e informáticas, entre otras, todo esto orientado al desarrollo de modelos sostenibles.

Según Plasse (1994), en lo que se refiere al cruzamiento en los trópicos, el aspecto que más consideración merece y que ha sido ignorado es la necesidad de armonizar el potencial genético y las condiciones ambientales, que en el ganado de carne tropical son principalmente la cantidad y la calidad de forrajes, el nivel de suplementación factible y los aspectos sanitarios.

Los sistemas de cría para producción de carne bovina en Colombia se caracterizan por ser extensivos, utilizan como fuente de alimentación exclusiva el forraje y no es frecuente el uso de inseminación artificial, por ello la fertilidad del toro constituye un baluarte en el modelo.

El uso inadecuado del recurso genético animal es uno de los factores que ocasiona la baja eficiencia reproductiva de los sistemas de producción bovina del trópico bajo colombiano, por la utilización de razas foráneas y sus cruzamientos de una manera desordenada, sin una evaluación que muestre superioridad en los indicadores

reproductivos, lo cual se ve favorecido por el hecho de que se ha dejado de utilizar el ganado criollo, adaptado a las condiciones cálidas del trópico (Ossa et al., 2013).

En Colombia existen siete razas criollas de ganado, nombradas según sus características sobresalientes y la región de origen. En el caso de la región Caribe se cuenta con dos de estas razas: Costeño con Cuernos, denominada de esa forma por su lugar de procedencia, la costa Caribe, y por la presencia de cuernos, y Romosinuano, originaria del valle del río Sinú, y, por la ausencia de cuernos, llamada *romo*.

El ganado Romosinuano es una raza de tamaño mediano y cuerpo cilíndrico, de pelaje amarillo claro (bayo) o rojo cereza; una pequeña proporción posee cabeza negra (hosco). Se destaca por su alta fertilidad (tasas de natalidad superiores al 80 %), docilidad y habilidad combinatoria con el Cebú (Hernández, 1981). Por su adaptabilidad a las condiciones adversas del trópico, es una raza longeva, característica de suma importancia económica: se pueden encontrar vacas con más de 15 años en etapa productiva, lo que compensa el aparente retardo en su desarrollo corporal o crecimiento.

En estudios realizados por Hernández (1981) con animales cruzados criollo por Cebú se alcanzaron niveles de heterosis entre el 6 al 12 % para el peso al destete y entre el 13 al 25 % para el peso a los 18 meses de edad, donde se muestra claramente la superioridad del animal cruzado con respecto a sus padres. Se debe tener en cuenta que la mayoría de los cruzamientos se hicieron sin un criterio estricto de selección en los paternos (ni en la raza criolla ni en el Cebú). En la actualidad hay herramientas disponibles que permiten mejorar la confiabilidad de los resultados esperados, tales como las evaluaciones genéticas y genómicas, que facilitan la selección de reproductores y hembras de razas criollas, así como de reproductores y hembras Cebú para uso en programas de cruzamiento industrial o comercial, donde todos los animales F1 son destinados a la ceba para su posterior sacrificio.

El cruzamiento de Romosinuano por Brahman como alternativa para producir un biotipo adaptado

El valor productivo y genético del ganado Romosinuano, al utilizarlo en cruzamiento con ganado Brahman comercial, lo convierte en una alternativa para mejorar la ganadería del Caribe colombiano al mejorar los índices productivos. El uso del toro Romosinuano presenta la ventaja de producir un mayor número de nacimientos y mayor peso al destete de sus hijos.

Con el objetivo de evaluar y aprovechar el vigor híbrido y la complementariedad entre razas, AGROSAVIA ha venido desarrollando cruzamientos entre animales Cebú Brahman y Romosinuano durante los años 2013 a 2016 en el valle del Sinú, departamento de Córdoba, con temperatura promedio 28 °C, humedad relativa de 79-84 % y precipitaciones anuales de 1.200 mm, donde aproximadamente el 80 % caen entre los meses de mayo a noviembre.

Se utilizaron alrededor de 100 vientres de la raza Cebú Brahman. En el apareamiento se utilizó, cada año, un reproductor de la raza Romosinuano para 50 vientres, en un modelo de monta natural estacional, por espacio de cuatro meses (mayo-agosto). La totalidad de los animales F1 resultantes de estos cruzamientos, una vez destetados, pasaron a la etapa de levante y ceba.



Foto: Sergio Mejía Kerguelén.

Figura 17. Animal F1 del cruce Romosinuano x Brahman

La base de la alimentación de los animales utilizados para el cruzamiento fue pasto, manejado bajo un sistema de pastoreo rotacional, en praderas de Angleton (*Dichantium aristatum*) y Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*). En la época seca se suplementaron con ensilaje de maíz o sorgo. Se realizaron evaluaciones reproductivas por palpación al inicio y 45 días después del periodo de monta, el manejo sanitario fue preventivo para las enfermedades que tienen plan de vacunación y curativo para las ocasionales, y el destete se realizó a los ocho meses de edad.

Indicadores de crecimiento del predestete del biotipo F1 Romosinuano por Brahman

Se obtuvieron los registros productivos, como peso al nacer y al destete de cada cría. Con estos datos se construyeron los indicadores de crecimiento predestete (peso al nacer y destete), los cuales son utilizados como criterio de selección en el sistema de producción de carne. Los pesos al destete fueron ajustados para los 270 días de edad por medio de la siguiente fórmula:

$$PDA = ((PD-PN)/EDD) \times 270 + PN$$

Donde:

PDA = peso ajustado al destete (270 días); PD = peso al destete; PN = peso al nacer; y EDD = edad al destete.

El peso al nacimiento presentó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre los grupos raciales evaluados (tabla 8). En este sentido, los animales de la raza Cebú presentaron los mayores pesos, con valores medios de $32,2 \pm 1,9$ kg, seguidos de los animales cruzados, con valores de $29,7 \pm 3,1$ kg, mientras que los animales Romosinuano registraron los menores valores, con $28,7 \pm 2,8$ kg.

Tabla 8. Medias para peso al nacimiento (PN) y peso al destete ajustado (PDA) en los grupos raciales Cebú (CE), Romosinuano (RS) y su cruce (RS x CE)

Raza	Año	Peso al nacimiento		Peso destete ajustado 270 días	
		N	Kg	N	Kg
Cebú	2013	12	$35,0 \pm 1,2$	12	189 ± 15
	2014	30	$29,5 \pm 3,7$	30	232 ± 28
	Promedio	42	$32,2 \pm 1,9$	42	211 ± 22
Romosinuano	2014	40	$28,8 \pm 2,9$	35	169 ± 32
	2015	48	$28,9 \pm 3,1$	40	171 ± 31
	2016	72	$28,3 \pm 2,3$	27	186 ± 28
	Promedio	160	$28,7 \pm 2,8$	102	175 ± 30
Romosinuano x Cebú	2014	24	$31,4 \pm 3,8$	24	211 ± 34
	2015	25	$30,1 \pm 2,2$	23	241 ± 36
	2016	39	$29,7 \pm 3,4$	26	234 ± 34
	Promedio	125	$29,7 \pm 3,1$	73	225 ± 37

Fuente: Elaboración propia

El peso al nacimiento es la primera medida de crecimiento a evaluar en los animales, ya que con esta se infiere sobre el desarrollo en el periodo prenatal, que depende en gran medida de factores que afectaron a la madre antes y durante la gestación. Especialmente en el último tercio de la gestación tiene lugar una mayor tasa de crecimiento del feto y, consecuentemente, existe una mayor exigencia de nutrientes por parte de la madre (Martínez, Pérez & Herazo, 2006).

Es, además, un indicador de la capacidad de la vaca de parir crías cuyo tamaño posibilite tener un parto normal o eutócico, característica que está ligada al vigor y a la sobrevivencia del ganado de carne, y es uno de los factores de mayor importancia en la mortalidad hasta las 24 horas (Bolívar et al., 2009). Pesos al nacer cercanos a los 30 kg fueron informados en otras razas criollas por Gallego, Martínez y Moreno (2006) en blanco orejinegro, y Martínez, Onofre y Polanco (2009) los reportaron en la raza sanmartinero. Este indicador es inferior al del Brahman reportado por Montes, Vergara, Prieto y Barragán (2009) y Rodríguez, Martínez y Galíndez (2009): 35 y 34,6 en Colombia y Venezuela respectivamente.

El peso al destete promedio para los tres grupos raciales fue de 204 ± 29 kg (tabla 8) y difirió significativamente ($p < 0,05$) entre los grupos raciales. En este contexto, los animales cruzados (Romosinuano x Cebú) registraron los mayores pesos, superiores en un 6,0 y un 22 % al peso obtenido por los animales Cebú y Romosinuano respectivamente. Los mayores pesos al destete alcanzados por los animales cruzados son explicables por la complementariedad entre las razas o heterosis, que sumada a las buenas condiciones alimenticias, nutricionales, sanitarias y a la habilidad materna de las vacas lograron expresar su potencial.

En este orden de ideas, el peso al destete (PD) de los terneros es el reflejo del potencial individual del animal para crecer, así como de la habilidad materna para criarlo. El crecimiento predestete es uno de los caracteres principales en la selección de bovinos de carne. Así mismo, es de gran importancia económica porque generalmente en esta etapa el ternero alcanza aproximadamente entre el 25 y el 50 % de su peso al sacrificio (Ossa, Suárez & Pérez, 2007; Cañas et al., 2008; Depablos, Pacheco, Martínez & Vargas, 2013). Además, está correlacionado con futuros pesos, que se asocian a la reproducción y al sacrificio e influyen en el éxito del proceso de producción (Ossa, Narváez, Noriega, Pérez & Vergara, 2014). Resultados similares a los encontrados en el presente estudio fueron reportados por Correa, Martínez y Echeverri (2011) en ganado blanco orejinegro (192 kg a los 270 días); sin embargo, estos difieren de los notificados por Gunawan, Sari y Jakaria (2012) y Ndofor, Ebangi, Agu y Okenyi (2012) en las razas criollas Bali (87 kg a los 205 días) y Gudali (150 kg a los 240 días) respectivamente. De igual forma, los valores hallados están dentro del rango presentado por Plasse (1994),

donde los promedios no ponderados del porcentaje de superioridad del F1 sobre Cebú fueron del 9 % para el peso al destete.

Para evaluar la magnitud de la heterosis (vigor híbrido) en un determinado ambiente es necesario comparar los cruces F1 con ambas razas puras paternas, por eso tales valores existen en América Latina tropical solamente para cruces entre criollo y *Bos indicus*. Los valores promedio para los distintos caracteres son: edad a la pubertad -11 %; peso a pubertad 11 %; porcentaje de preñez 14 % (9-16 %); peso al destete 11 % (9-13 %) y peso posdestete 16 % (12-19 %) (Plasse, 1983).

De acuerdo con Plasse, Fossi y Verde (1992), la producción de machos F1 a partir de vacas *Bos indicus* y razas paternas *Bos taurus* con 10 a 20 % del rebaño ha sido exitosa. Si se asigna una proporción mayor de vacas a este sistema, el bajo porcentaje de hembras de reemplazo Cebú no garantizará un progreso genético adecuado en este rebaño. Además, el uso de toros criollos en servicio natural, así como el uso estratégico de la inseminación artificial, han sido funcionales en condiciones extensivas. Sin embargo, el uso de toros *Bos taurus* diferentes al criollo en servicio natural ha sido costoso y difícil por su baja adaptabilidad al trópico, y el uso de la inseminación en vacas lactantes en explotaciones extensivas no ha tenido buenos resultados.

Conclusión

El uso de animales F1 del cruce entre Romosinuano y Brahman presenta grandes ventajas en la fase de cría en los sistemas de producción de carne. Se evidencia una heterosis en el peso al destete, lo cual corrobora lo descrito en estudios anteriores y permite entregar a la fase de levante y ceba un animal con el 50 % de su peso (225 kg) a los nueve meses de edad. Si se le ofrecen buenas condiciones posdestete, con ganancias superiores a 600 g.animal.d⁻¹, se puede llegar a los 450 kg de peso antes de los dos años de edad.

Referencia

- Bolívar, D., Ramírez, E., Vergara, O., Restrepo, L., Arboleda, E. & Cerón, M. (2009). Parámetros genéticos para el control del peso al nacimiento en bovinos de carne: cruzados en el trópico bajo colombiano. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(12), 14-23.
- Cañas, J., Ramírez, J., Arboleda, O., Ochoa, J., Vergara, O. & Cerón-Muñoz, M. (2008). Estimación de parámetros genéticos para peso al destete en ganado blanco orejinegro (BON) en el noroccidente colombiano. *Revista MVZ Córdoba*, 13(1), 1138-1145. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/693/69313105.pdf>.
- Correa, E., Martínez, R. & Echeverri, J. (2011). Caracterización productiva de una población de bovinos blanco orejinegro en siete hatos colombianos. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 434-436.
- Depablos, L., Pacheco, F., Martínez, G. & Vargas, D. (2013). Factores no genéticos y de grupo racial que afectan el peso al destete en un sistema de producción con vacunos de carne en el municipio de Pao de San Juan Bautista, Venezuela. *Livestock Research for Rural Development*, 25, art. 17, s. p. Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd25/1/depa25017.htm>.
- Gallego, J. L., Martínez, R. A. & Moreno, F. L. (2006). Índice de consanguinidad y caracterización fenotípica y genética de la raza bovina criolla blanco orejinegro. *Revista Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(1), 16-24. doi:10.21930/rcta.vol7_num1_art:55
- Gunawan, A., Sari, R. & Jakaria, I. (2012). Estimates of genetic and phenotypic trends of growth traits in Bali cattle. *Journal of Animal Science and Technology*, 35(2), 85-90.
- Hernández, B. (1981). Las razas criollas colombianas para la producción de carne. En *Recursos genéticos animales en América Latina: ganado criollo y especies de altura* (pp. 22-52). Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal, nº 22. Roma: FAO y PNUMA.
- Martínez, R., Onofre, G. & Polanco, N. (2009). Parámetros y tendencias para características de crecimiento en el ganado criollo sanmartinero. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 196-204.

- Martínez, R., Pérez, J. & Herazo, T. (2006). Evaluación fenotípica y genética del crecimiento en la raza Costeño con Cuernos. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 12-20. doi:10.21930/rcta.vol7_num2_art:65.
- Montes, V., Vergara, O., Prieto, E. & Barragán, W. (2009). Estimación de la repetibilidad y factores que afectan el peso al nacer y al destete en ganado bovino Cebú Brahman. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 1(1), 19-36. doi:10.24188/recia.v1.n1.2009.405.
- Ndofor, H., Ebangi, A., Agu, C. & Okenyi, N. (2012). Estimation of genetic parameters for preweaning and postweaning growth traits in the Gudali beef cattle using multiple trait derivative free restricted maximum likelihood. *African Journal of Biotechnology*, 11(78), 14410-14416.
- Ossa, G., David, A., Santana, M., Reza, S., Pérez, J. E. & Abuabara, Y. (2013). Formación, desarrollo y caracterización fenotípica de los caracteres productivos y reproductivos del ható Romosinuano del banco de germoplasma de Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 231-243. doi:10.21930/rcta.vol14_num2_art:503.
- Ossa, G., Narváez, H., Noriega, J., Pérez, J. & Vergara, O. (2014). Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento en una población de ganado criollo Romosinuano. *Livestock Research for Rural Development*, 26, art. 191, s. p. Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd26/10/ossa26191.html>.
- Ossa, G., Suárez, M. & Pérez, J. (2007). Efectos del medio y la herencia sobre los pesos al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad en terneros de la raza criolla Romosinuano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(2), 81-92. doi:10.21930/rcta.vol8_num2_art:98.
- Plasse, D. (1983). Crossbreeding results from beef cattle in the Latin American Tropics. *Animal Breeding Abstracts*, 51(11), 779-797.
- Plasse, D. (1994). Producción y apareamiento de ganado de carne F1 *Bos taurus* x *Bos indicus* en la América Latina. En *Proceedings of the International Conference on Livestock in the Tropics* (pp 13-41). Gainesville, EE. UU.: University of Florida.

- Plasse, D., Fossi, H. & Verde, O. (1992). Crecimiento de animales F1 *Bos taurus* y *Bos indicus* hasta la edad de servicio (hembras) o sacrificio (machos). En D. Plasse, N. Peña de Borsotti & J. Arango (Eds.), *VIII Cursillo sobre bovinos de carne* (pp. 239-272). Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Rodríguez, Y., Martínez, G. & Galíndez, R. (2009). Factores no genéticos que afectan el peso al nacer en vacunos Brahman registrados. *Zootecnia Tropical*, 27, 163-173.

Capítulo VI

Implementación del modelo de producción de carne

Sergio Mejía Kerguelén, Emiro Suárez Paternina, Yacerney Paternina Paternina, Liliana Atencio Solano y Ketty Ibáñez Miranda

El modelo ha sido desarrollado en la región Caribe, específicamente en el valle del Sinú, una zona ubicada a 14 m s. n. m. que presenta un 85 % de humedad relativa, 28 °C de temperatura, 1.200 mm de precipitación anual y suelos de mediana a buena fertilidad, con drenaje deficiente; y también en las sabanas de Córdoba, zona con predominio de clima subhúmedo tropical, precipitación 1.334 mm.año⁻¹, temperatura de 28 °C, humedad relativa del 75 %, suelos de mediana fertilidad con buen drenaje y en ocasiones con problemas de compactación, aunque el modelo puede ser utilizado en cualquier zona del trópico. Con este modelo se demuestra que pequeños y medianos ganaderos de la región pueden ser productores de carne debido a la alta rentabilidad que presenta, ya que este sistema de producción está asociado a productores con grandes extensiones de tierra con buena oferta ambiental.

Para iniciar el montaje del modelo se debe realizar una caracterización de la finca, que consiste en determinar los datos de lluvias, tipo de suelo (análisis fisicoquímico), drenaje del suelo, topografía, fuentes de agua, ubicación, altura sobre el nivel del mar, lugar donde se comprarán y venderán los animales, levantamiento topográfico, diseño de los módulos de rotación de potreros, inventario de recursos disponibles, vías de acceso, fuente de financiación para el montaje, presupuesto, administración, asesoría técnica y otros datos que se consideren importantes bajo las condiciones específicas de cada ganadero. Con toda esta información se realiza la planificación y el cronograma del proyecto a desarrollar.

Algo de suma importancia es la concientización que el ganadero y sus colaboradores deben tener sobre el tipo de sistema o proyecto que están iniciando, ya que la orientación es hacia un sistema intensivo de producción de

carne de buena calidad, lo más orgánica o ecológica que sea posible, donde los componentes ambientales y sociales, el bienestar animal y el aspecto económico son los pilares fundamentales del modelo a establecer. Todos los involucrados deben tener claras las metas trazadas y cómo se van a lograr, por lo tanto, deben recibir la capacitación necesaria. Antes del inicio de cualquier actividad se debe suspender la utilización de herbicidas, insecticidas, ivermectinas y fertilizantes químicos en la finca, ya que esto va a permitir que se empiecen a dar una serie de procesos en el suelo (biocenosis) que activan la regeneración de árboles, arbustos, arvenses de hoja ancha, leguminosas nativas, micro, meso y macroorganismos que van a interactuar con los bovinos y la vegetación, para conducir a un sistema sostenible de producción, que se puede llamar “ganadería bajo árboles, ecológica, verde, regenerativa, limpia, silvopastoril, etc.”.

Pastura

El modelo se basa en la utilización de pasturas con alta producción de forraje, buena calidad nutricional y tolerancia a la sombra, que permitan mantener una carga animal alta durante todo el año. Entre las pasturas que se pueden utilizar se tienen Guineas (*Megathyrus maximus*) cv. Mombasa, cv. AGROSAVIA Sabanera, cv. Tanzania, Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*), y algunas *Urochloa* (clasificadas anteriormente como *Brachiaria*), como el híbrido Mulato II y *brizantha* Toledo. Aunque se puede utilizar cualquier pastura, el inconveniente radica en que la carga y la respuesta animal van a estar correlacionadas con la capacidad de producción de forraje y la calidad nutricional de cada pastura. En el establecimiento de la pastura y en su utilización posterior no se debe hacer uso de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas), con el fin de permitirle al sistema el resurgimiento de otras especies nativas, micro y macroorganismos que van a interactuar con las pasturas y los bovinos, y empezar a formar un sistema sostenible de producción. Una vez iniciado el proceso de pastoreo de los bovinos, en el caso de las pasturas de crecimiento erecto como las Guineas, después de la época seca y al inicio de las lluvias, si el pasto presenta mucho material seco e irregular, se debe realizar un corte de emparejamiento (con guadaña, cortamaleza, machete o usar los animales que pastorean) a unos 15 cm del suelo para que los nuevos rebrotes emerjan parejos y desde las partes basales de la

planta; este se debe hacer a medida que los animales van rotando y saliendo de los potreros. El control de algunas especies vegetales deber ser manual: una vez salgan los animales del potrero, entra el operario y corta con machete o guadaña lo que pueda causar algún daño a los animales.

Pastoreo

La mejor y más eficiente utilización de la pastura es a través del pastoreo rotacional, ya que permite a la pastura tener un corto periodo de ocupación por parte del animal, no mayor a tres días, aunque lo ideal es un día, o fraccionar el día en horas de pastoreo. Esto evita que el animal consuma en el mismo periodo de ocupación el rebrote de las plantas que consumió los primeros días de pastoreo y, a la vez, permite que la pastura tenga un tiempo de descanso suficiente para que pueda recuperar nuevamente sus reservas y emitir de forma rápida rebrotes vigorosos. En las pasturas escogidas para el sistema, este periodo está comprendido entre 21 y 24 días, pero puede variar, dependiendo de la fertilidad del suelo, la profundidad de pastoreo, la distribución de lluvias y la época del año, entre otras; lo importante es utilizar la pastura antes de floración. Cada productor debe determinar el tiempo de recuperación de sus pasturas de acuerdo con las condiciones de su finca. Lo más utilizado en el modelo es de uno a tres días de ocupación y 21 días de descanso, tanto en época de lluvia como en época seca; esto ha permitido mantener las pasturas con buen desarrollo y vigor.

Potreros

Para diseñar de forma idónea los potreros se debe realizar un levantamiento topográfico de la finca. De acuerdo con el comportamiento de los bovinos, la forma más indicada que deben tener los potreros es redonda, pero en la práctica es muy difícil de implementar, por lo tanto, la forma que sigue debe ser la cuadrada, que evita un mayor gasto energético de los animales porque disminuyen sus caminatas y definen más su área de pastoreo. Para determinar el número de potreros de un módulo de rotación en una finca, se deben tener en cuenta aspectos como el periodo de descanso y ocupación de las praderas, y

la disponibilidad de agua y sombra. El periodo de descanso hace relación al número de días que transcurre entre dos pastoreos sucesivos de cada potrero, mientras que el tiempo de ocupación corresponde al número de días u horas que transcurren entre la entrada del ganado a la pradera y su posterior salida de esta. André Voisin, en sus leyes universales del pastoreo racional, establece que en este tiempo la clave está en anular completamente el sobrepastoreo e indica que para cada potrero no se deberían sobrepasar los tres días de ocupación. En conclusión, el periodo de ocupación deberá estar entre uno y tres días, como se mencionó, ya que los potreros son más productivos mientras menos tiempo de ocupación se determine trabajar en cada uno. En este sentido, el modelo utiliza potreros de 0,25 ha, con tres días de ocupación y 21 días de descanso, por lo que se necesitan ocho divisiones por módulo; esto daría un área del módulo de 2 ha. Si la finca es de mayor extensión se deben ir realizando montajes por módulos, de esta forma el productor y sus colaboradores van familiarizándose con el sistema. También se pueden utilizar 12 potreros, con dos días de ocupación y 22 días de descanso, o 22 potreros con un día de ocupación y 21 de descanso para áreas con módulos de 3,0 y 5,5 ha respectivamente, si se mantiene el área de cada potrero en 0,25 ha. Hay que tener claro que en la medida en que se aumente el tamaño de los potreros es posible la pérdida de eficiencia de utilización de la pastura, y, por lo tanto, la carga animal por ha puede disminuir. Otra forma de utilización y diseño de los potreros es realizar franjas fijas de 50, 100 o 200 m de ancho a lo largo del potrero, dependiendo del área de la finca y del número de módulos que se quieran implementar. Dentro de la franja se colocan cercas eléctricas móviles donde se asigna el área a pastorear; estas cercas pueden moverse una o varias veces al día dependiendo de la disponibilidad de forraje. Este sistema, denominado pastoreo ultra alta densidad (PUAD), permite la utilización de grupos grandes de animales (50 a 1.000) pastoreando durante poco tiempo en cada área, o sea, altas cargas instantáneas. Es importante, en el caso de animales de ceba y levante, ser cuidadosos con las cantidades de animales para que las ganancias de peso por hectárea no se vayan a afectar demasiado. En cualquiera de los diseños que se quiera escoger es fundamental la utilización de cercas eléctricas.

De una manera práctica, el asistente técnico o el productor pueden calcular el número de potreros a establecer en un módulo de pastoreo, con base en la siguiente ecuación:

$$N.º \text{ de potreros} = \text{periodo de descanso (días)} / \text{periodo de ocupación} + 1$$

A manera de ejemplo, para un lote de bovinos de ceba en pastoreo de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, con tres días de ocupación en cada potrero y 21 días de descanso, el número de potreros a establecer es el siguiente (figura 18).

$$N.º \text{ de potreros} = (21 \text{ días de descanso} / 3 \text{ días de ocupación}) + 1 = 8 \text{ potreros}$$



Foto: Sergio Mejía Kerguelén.

Figura 18. Sistema rotacional de praderas.

Agua

Es el nutriente de mayor importancia para el bovino, por lo tanto, deben disponer de agua permanente de buena calidad en cada uno de los potreros para que los animales no tengan que recorrer mucha distancia y eviten un gasto innecesario de energía; lo ideal es que sea en bebederos móviles, con capacidad de 250 a 500 litros. Se debe evitar al máximo que los animales ingresen a estancos o represas, ya que se puede incrementar la carga parasitaria en el animal, y en la

época seca corren el riesgo de quedar atascados, con la posibilidad de morir. Los requerimientos de agua en los bovinos están alrededor de 30 a 60 litros de agua por día, dependiendo del peso del animal y la época del año. La forma más sencilla de llevar el agua a cada potrero es por medio de tanques elevados o hidrosilos que se surten de una fuente abundante de agua con buena calidad; del tanque o hidrosilo es llevada a los potreros por medio de tuberías o mangueras en las que se instalan hidrantes, de tal forma que cada uno pueda suministrar agua a varias divisiones o áreas de pastoreo; la conexión del hidrante al bebedero se hace con una manguera de varios metros para que el bebedero pueda cambiarse de sitio en cada pastoreo y evitar la formación de lodo (figura 19).



Foto: Sergio Mejía Kerguelén.

Figura 19. Bebedero para suministro de agua a los animales en un sistema de ceba.

Suplementación mineral

Dependiendo de la zona y los suelos, se deben utilizar sales de buena procedencia que garanticen los minerales requeridos por los animales; pueden ser al 4 % y al 6 % de fósforo. El suministro debe ser diario, y dependiendo del peso de los animales puede ser entre 50 y 100 g animal.d⁻¹. Esto permite un mejor control del gasto y los animales la consumen mejor, ya que la calidad se

mantiene estable porque la sal es higroscópica, lo que hace que tome humedad del ambiente y pierda su calidad y palatabilidad fácilmente.

Estimación de la carga animal bajo pastoreo rotacional

La estimación de la carga animal se utiliza para determinar periódicamente el número de animales que permite el potrero, según su capacidad de carga (número de animales por unidad de superficie, basados en unidad gran ganado [UGG] de 450 kg). En la actualidad existen diferentes fórmulas para el cálculo basadas en la disponibilidad de materia seca, la calidad nutricional, el nivel de consumo, la presión de pastoreo, la carga animal y factores ambientales, pero la implementación de ellas, muchas veces, no es sencilla para el productor.

El cálculo se puede realizar de la siguiente forma (Gutiérrez et al., 2018):

- Un marco de 1 m² se lanza al azar unas cinco veces en la pradera. La cantidad de veces va a depender del tamaño y las variaciones que presente el potrero.
- El forraje que se encuentra dentro se corta a unos 10 cm del suelo, se pesa y se saca el promedio del peso de las muestras, por ejemplo, 1.300 g.
- Este peso se multiplica por 10.000 m² y se divide entre 1.000 para convertirlo a kilogramos y obtener la estimación de producción de forraje verde por ha, en este caso, 13.000 kg.
- Debido a que existen pérdidas por pisoteo, orina y bosta que pueden ser del 10 al 30 %, en este caso se asumen pérdidas del 30 %, lo que daría unos 9.100 kg de forraje verde disponibles.
- Se calcula el periodo de pastoreo sumando el periodo de ocupación con el de descanso, por ejemplo, 3 + 21 = 24.
- Se divide el periodo de pastoreo entre los días del año: $365/24 = 15,2$.
- Se multiplica el forraje verde disponible por el número de pastoreos al año: $9.100 \times 15,2 = 138.320$ kg por año; este dato se divide entre los días del año: $138.320/365 = 378,9$ kg de forraje verde disponibles por día.
- Se calcula el consumo de un animal de 450 kg de peso vivo estimando un consumo del 15 % de su peso vivo: $450 \times 0,15 = 67,5$ kg por día. Se toma

el forraje verde disponible por día y se divide por el consumo animal:
 $378,9/67,5 = 5,6$ animales.

De manera sencilla y práctica, el ajuste se puede corroborar iniciando con una carga baja e ir aumentándola en la medida en que la pastura presente buen remanente y recuperación después de que pastorean los animales. Para esto es importante basarse en la experiencia propia de cada ganadero, datos de la región y resultados de investigación.

Referencias

Gutiérrez, J. F.; Hering, J.; Muñoz, J. J.; Enciso, K.; Bravo, A. M.; Hincapié, B., ... Burkart, S. (2018). *Establecimiento y manejo de pasturas mejoradas. Algunos aspectos clave a considerar*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10568/96261>.

Capítulo VII

Ambiente y manejo presacrificio en el ganado de carne y su impacto sobre el bienestar animal, la producción y la calidad de la carne

Lorena Aguayo Ulloa

Introducción

Existe un creciente interés social por el bienestar de los animales, lo cual se ha visto reflejado en la presión que ha hecho la sociedad por generar cambios legislativos al respecto (María, 2006). Aunque esta preocupación ha sido más destacada en los consumidores de mercados más desarrollados, se observa que día a día hay más interés por mejorar las condiciones de bienestar animal en países en vías de desarrollo, los cuales aspiran a exportar productos alimenticios de origen animal a mercados más exigentes, dispuestos a pagar un valor agregado (Gallo, 2008; Rojas, Stuardo & Benavides, 2005).

El bienestar animal (BA) es un ámbito que debería ser priorizado por los actores de la cadena de la carne, ya que un buen manejo y BA generan un impacto positivo en la productividad, disminuyen las pérdidas, mejoran la calidad del producto y le brindan consideraciones éticas para posicionarlo en el mercado (Gallo, 2008). Muchos de los problemas de manejo animal que actualmente ocurren no se resuelven solo investigando y conociendo de nutrición, fisiología animal o control de enfermedades, sino que requieren de investigación y conocimientos en etología para poder dar con la solución. Por esta razón, y a modo más práctico, el trabajador a cargo de los animales, el administrador de la finca, el transportista de ganado, los operarios del matadero y el diseñador de las estructuras y equipos que se utilizarán para los diversos manejos animales deben tener conocimientos básicos de comportamiento animal (Broom & Fraser, 2010).

En Colombia, así como en otros países, el ganado destinado a producir carne debe sobrellevar varios manejos durante su vida productiva. Dichos manejos pueden tener un efecto directo sobre el bienestar animal, pero también sobre la producción cuantitativa y cualitativa de la carne. Por ello integrar el concepto de BA en la cadena cárnica bovina colombiana es importante desde varios puntos de vista (Gallo, 2008; Romero & Sánchez, 2011).

Aspectos éticos: los ciudadanos que estén en contacto con los animales, en especial los profesionales del área pecuaria deben evitar el sufrimiento innecesario de los animales destinados a producir carne para la alimentación humana (código de ética profesional de veterinarios y zootecnistas, Ley 576 del 2000). Este es un punto en donde los consumidores de países más desarrollados ejercen presión al exigir que se considere el tema de BA dentro de los esquemas de producción y comercialización, que constituye un atributo más de calidad del producto: la *calidad ética*. Así, la producción ética y sostenible puede transformarse en un elemento clave en la aceptación del producto de origen animal cuando se quieren alcanzar nuevos mercados, o, en casos puntuales, nichos de mercado (Napolitano et al., 2007).

Exigencias reglamentarias: la creciente preocupación de los consumidores por el bienestar animal, la cual quieren ver reflejada en un sistema de trazabilidad “de la finca a la mesa”, ha llevado a que ciertos mercados aumenten las exigencias legales y reglamentarias en torno a este tema. Por su parte, Colombia cuenta con un estatuto nacional de protección animal (Ley 84 de 1989) que promulga el deber del ciudadano de evitar el sufrimiento animal. También cuenta con una nueva legislación sanitaria promulgada por los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y el de Protección Social, que han incluido aspectos de BA en la producción primaria, durante el transporte y el proceso de sacrificio de los animales (Decreto 1500 de 2007; Resolución 2905 de 2007; Resolución 2341 de 2007; art. 3 de la Ley 1774 del 2016; Decreto 2113 de 2017). Desde el año 2000, la Organización Mundial de Salud Animal (OIE) desarrolla las únicas directrices internacionales en el campo del bienestar animal, las cuales incluyen recomendaciones para el transporte, el sacrificio y la producción de los animales y son la base para la reglamentación que han ido elaborado varios países miembros de la OIE, incluido Colombia. La importancia de estas directrices queda

plasmada en el reciente lanzamiento de una nueva norma de la International Standard Organization (ISO), la TS 34700:2016, específica para el manejo del bienestar animal (ISO, 2016).

Cantidad de carne producida: largos tiempos de ayunos, transportes inadecuados o malos tratos hacia los animales en manejos previos al sacrificio pueden provocar disminuciones de peso en las canales, hematomas (contusiones o lesiones por golpes, que en matadero son recortados de la canal y “decomisados”), e incluso pueden provocar la muerte del individuo y, por ende, la pérdida total del producto.

Calidad de carne producida: un mal manejo en los animales antes de ser sacrificados les provoca estrés; esto conlleva a cambios metabólicos y hormonales en el músculo del animal vivo, lo que se traduce en cambios en el color, pH y capacidad de retención de agua del músculo *post mortem*. Así, las características de la calidad de la carne cambian, se vuelve menos aceptable para el consumidor y con menor vida útil en estanterías.

Por otro lado, el BA está íntimamente ligado con la sanidad animal, la salud y el bienestar de las personas, y la sostenibilidad de los sistemas socioeconómicos y ecológicos. Por ello, algunos sistemas productivos innovadores están adquiriendo una visión más integradora como forma de vida; uno de estos enfoques es el de “un solo bienestar” (*One Welfare*), que ayuda a empoderar los campos del bienestar animal y el bienestar humano para abordar la conexión entre la ciencia y las políticas de una forma más efectiva y en varias áreas de la sociedad humana, incluyendo la ciencia ambiental y la sostenibilidad (García-Pinillos et al., 2016). Con el fin de lograr mejoras sostenibles en el área de BA, es necesario el reconocimiento y el compromiso constructivo entre las partes involucradas en la cadena productiva. Una manera de comenzar este proceso en la finca ganadera es conocer la base de este concepto, así como comprender el comportamiento básico de los bovinos, su relación con el medio ambiente y cómo ciertos manejos pueden afectar al BA, la producción e incluso la calidad del producto final.

Contextualizando el bienestar animal en la ganadería

Existen varias definiciones de bienestar animal, sin embargo, solo algunas se adecúan más a la perspectiva que se tiene en los sistemas productivos. Se puede definir el BA como un estado en el cual el animal se encuentra en armonía y se adapta exitosamente en un ambiente dado (Broom, 1983). Por otro lado, de acuerdo al *Código sanitario para los animales terrestres* de la Organización Mundial de Salud animal (OIE), “el bienestar animal es el modo en que un animal afronta las condiciones en las que vive” (OIE, 2009). En este sentido, y a modo de ejemplo, las razas criollas tienen una condición favorable para enfrentar el medio que nos rodea (trópico húmedo), debido a que han tenido bastantes años de adaptación a este clima tan extremo (Pinzón, 1981; 1984). Así, la elección del biotipo animal (cruces) para nuestra ganadería es un punto fundamental a la hora de procurar, desde la base, el bienestar de nuestros animales.

Una forma práctica de saber si se están cumpliendo las condiciones básicas de bienestar animal es a través de cumplimiento de las mundialmente conocidas “cinco libertades”, publicadas 1965 por el Comité Brambell en Inglaterra y que la OIE ha declarado los estándares mínimos que se deben proporcionar a los animales de producción. Estas cinco libertades indican que los animales deben vivir (OIE, 2016; 2017):

- Libres de hambre, sed y desnutrición.
- Libres de dolor, lesiones o enfermedades.
- Libres de miedos y angustias.
- Libres de incomodidades térmicas o físicas.
- Libres para expresar los patrones de comportamiento propios.

Las normas de BA de la OIE no son medidas sanitarias, pero desempeñan una función importante en el comercio internacional porque son las únicas normas de aplicación mundial y con base científica que están acordadas por todas las naciones del mundo, con implicación en el comercio. La Organización Mundial de Comercio (OMC) busca que cada país adapte sus propios reglamentos a estas normas para facilitar un comercio seguro y evitar obstáculos innecesarios al

mismo (OIE, 2016; 2017), y esto es igualmente aplicable a las medidas relativas al bienestar y la sanidad animal. De otra parte, el cumplimiento de estas cinco libertades, además de entregar un mínimo de condiciones para un adecuado mantenimiento del animal en las fincas, mejora la respuesta productiva y sanitaria del animal, lo cual finalmente se transforma en una mejora económica.

El bienestar animal es un concepto complejo y amplio que abarca tanto el bienestar físico como psicológico de los animales. Esto quiere decir que se basa en conceptos interrelacionados como la fisiología, la etología (comportamiento), la producción y la salud animal, y la calidad del producto final. Entonces, para valorar en un sentido amplio el bienestar de los animales, su evaluación debería ser de forma transversal a la cadena productiva y abarcar múltiples vertientes (variables). Para ello, las variables generalmente evaluadas son fisiológicas, etológicas, inmunitarias, productivas y de calidad de la canal y la carne. Sin embargo, a nivel de finca lo primero que identifica el productor, el operario o el veterinario a cargo, cuando hay problemas de bienestar, son los cambios en el comportamiento del animal. De esta forma, la etología se transforma en una herramienta fundamental para evaluar la capacidad que tienen los animales de enfrentar el medio en que se encuentran y, como se verá más adelante, para mejorar la relación de manejo con ellos. Además del comportamiento existen otros criterios que pueden ayudar a determinar el estado de bienestar de nuestro rebaño (OIE, 2016), y para ello resulta importantísimo llevar algunos registros que los avalen:

1. Tasas de morbilidad: como las tasas de prevalencia de alguna enfermedad, de cojeras, complicaciones quirúrgicas o frecuencia de lesiones sobre los umbrales reconocidos. Estos pueden ser indicadores indirectos o directos del estado de bienestar de todo el rebaño. Comprender la causa de la enfermedad o síndrome es importante para detectar posibles problemas de bienestar. Un sistema de puntuación de cojeras o un indicador de infección e inflamación tras un procedimiento puede ayudar a dar información adicional. Las necropsias o exámenes *post mortem* pueden ayudar a establecer las causas de muerte del ganado y orientar hacia una posible solución.
2. Tasa de mortalidad: del mismo modo que la anterior, puede ser un indicador directo o indirecto del estado de bienestar animal. Se puede analizar el

patrón de frecuencias y de la distribución espaciotemporal de la mortalidad (además de las causas de muerte). Las tasas de mortalidad deberían notificarse con regularidad y en especial cuando el rebaño incorpora la cría dentro del ciclo de producción.

3. Cambios de peso o condición corporal: en los animales en crecimiento, la ganancia de peso puede ser un indicador de sanidad o bienestar animal; por el contrario, una mala condición corporal o una pérdida de peso significativa pueden ser indicadores de problemas de bienestar.
4. Eficiencia reproductiva: en rebaño de cría este es un indicador tanto de sanidad como de bienestar animal. Así, un bajo rendimiento reproductivo como, por ejemplo, una alta tasa de abortos o una alta tasa de distocias pueden estar indicando un problema de bienestar.
5. Aspecto físico: el aspecto del animal, así como las condiciones de cría, pueden ser un buen indicador de sanidad y bienestar. Las características físicas que pueden indicar problemas de bienestar están asociadas a la presencia de ectoparásitos; a un pelaje de color o textura anómalos o excesivamente sucios (heces o barro); a la deshidratación o la emaciación (adelgazamiento patológico de más del 10 % del peso corporal).
6. Respuesta a la manipulación: el manejo inadecuado del ganado puede conllevar miedo y angustia en los animales. Así, los indicadores más prácticos están relacionados con la respuesta comportamental de los animales frente a un determinado manejo (en finca, al transporte o en matadero). Se pueden encontrar indicadores como la velocidad de salida de la manga o brete de contención, el tipo de comportamiento en la manga o el brete de contención, el índice de animales que resbalan o caen, el índice de animales que se mueven con ayuda del "tábano", el índice de animales que se golpean contra las cercas o puertas, el índice de animales lesionados durante la manipulación o el índice de animales que vocalizan durante la contención.
7. Complicaciones debido a procedimientos de rutina: en el ganado bovino de carne se realizan algunos procedimientos quirúrgicos o no quirúrgicos que ayudan a mejorar el rendimiento o facilitan el manejo animal y procuran la seguridad de los trabajadores y el bienestar animal. A veces estos procedimientos no se aplican correctamente o no se les hace el seguimiento debido, lo cual puede comprometer el BA. Algunos ejemplos de

complicaciones son las infecciones o inflamaciones tras procedimientos quirúrgicos como la castración o descorne (entre otros), la miasis o la mortalidad.

Ambiente y manejos sobre la fisiología, el comportamiento y el bienestar de los animales

Bajo la premisa de las cinco libertades mencionadas, se dice que el ganado bovino, en un sistema extensivo, es el que presenta el mejor estado de bienestar de todos los animales de granja; sin embargo, estos términos deben reconsiderarse bajo las condiciones tropicales imperantes en Colombia, especialmente en las del trópico bajo. Parte de la ineficiencia de los sistemas de producción bovina del trópico se debe a la dificultad con que los animales se enfrentan a condiciones adversas como las altas temperaturas y la humedad relativa del aire (Navas, 2008), ya que las condiciones ambientales son un importante factor de estrés. Por otro lado, comúnmente el ganado bovino de carne es sometido a ciertos manejos y movimientos rutinarios que pueden ocasionar respuestas comportamentales reactivas que no solo afectan al animal, sino que pueden afectar el bienestar del personal a cargo, especialmente cuando las instalaciones no son las más adecuadas o los manejadores no tienen los conocimientos básicos de la conducta animal (Broom & Fraser, 2010).

Efecto del ambiente sobre el bienestar animal

Una de las limitantes más importantes para producir de manera eficiente bajo condiciones tropicales es la carga calórica que afecta al bovino y que lo puede llevar a un estado de estrés. El estrés calórico se produce cuando un animal es incapaz de mantener su temperatura corporal dentro de los límites de la zona termoneutral (Barragán, 2013). Los animales *Bos taurus* y *Bos indicus* tienen rangos de termoneutralidad donde pueden expresar todo su potencial genético; sin embargo, cuando salen del límite superior de esa "zona de confort" entran en estrés calórico, lo que conduce a una reducción en su desempeño debido a que son incapaces de adaptarse adecuadamente al desafío que involucra dicho estímulo estresor, que ocasiona un aumento del gasto biológico del animal y una

disminución de su productividad. Algunos de los cambios fisiológicos asociados al estrés calórico incluyen el aumento de la frecuencia respiratoria, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y vasodilatación. Por otro lado, también se ven afectados algunos niveles hormonales, como el aumento del cortisol (activación del eje hipotálamo-hipófisis-glándula adrenal) y la disminución de hormonas tiroideas (ya que su función es mantener el metabolismo y generar calor [McNabb, 1995]). Sin duda, una de las respuestas animales más importantes asociadas al estrés calórico son las alteraciones del comportamiento. Los animales utilizan principalmente dos mecanismos para enfrentar este estrés calórico: la disminución del consumo de materia seca y la búsqueda de la sombra (Silanikove, 2000). La reducción del consumo de materia seca se basa en la necesidad de volver a llegar a la zona de termo-neutralidad a través de la reducción de la producción de calor metabólico del animal. En este sentido, y bajo las condiciones del trópico bajo, esta es una condición determinante para los bovinos, ya que este comportamiento se encuentra fuertemente limitado por los mecanismos que regulan la temperatura corporal, lo cual puede llegar a ser crítico para el animal e incluso llevarlo a la muerte (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Navas, 2010). Por lo tanto, para alcanzar y mantener la temperatura corporal adecuada, el animal va a necesitar de un mayor gasto energético, además de las medidas físicas necesarias, como agua limpia y sombra (natural o artificial), para poder enfrentar el desafío que involucra el estrés calórico.

En un estudio realizado entre 2011 y 2012 en el CI Turipaná (Barragán, 2013) se evaluaron, en tres sistemas silvopastoriles más un control (solo pasto), la temperatura, la humedad del ambiente y algunos indicadores fisiológicos de estrés del animal. Los resultados mostraron que a pesar de que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en temperatura ambiental o humedad relativa entre los tres tratamientos y el control (sin árboles), sí se encontró una tendencia ($p = 0,07$) a que los sistemas con arbóreas (árboles de copas altas) tuvieran una menor temperatura ambiental (tabla 9). Se encontró una diferencia significativa en la temperatura y la humedad entre momentos a. m. y p. m. del día, que fue mayor y menor respectivamente ($p < 0,001$) a las 13:00 horas.

Tabla 9. Temperatura ambiental y humedad en tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el CI Turipaná

Variable	Pasto	P- arbust	P- arbór	P- arbust- arbór	EE	P- valor trat.	P-valor hora (a. m. / p. m.)
Temperatura ambiental (°C)	31,56	31,86	30,08	29,93	1,809	0,07	<0,0001
Humedad relativa (%)	62,97	62,77	64,26	63,96	3,022	0,97	<0,0001

Estratos involucrados: pasto, arbustivas y arbóreas. EE: error estándar de la media. Control y tratamientos: *pasto*: solo pasto; *p-arbust*: pasto y arbustos; *p-arbór*: pasto y arbóreas; *p-arbust-arbór*: pasto, arbustos y arbóreas.

Fuente: Adaptado de Barragán (2013)

Tabla 10. Temperatura rectal, temperatura de piel y frecuencia respiratoria para tres modelos silvopastoriles y una pradera sin árboles en el CI Turipaná

Variable	Pasto	P- arbust	P- arbór	P- arbust- arbór	EE	P- valor trat.	P-valor hora (a. m. /p. m.)	P-valor trat. x hora
Temperatura rectal (°C)	39,11	39,2	38,68	38,67	0,4	0,22	<0,0001	<0,0001
Temperatura de piel (°C)	38,11	36,4	34,88	34,48	0,9	0,17	<0,0001	<0,0001
Frecuencia respiratoria (rmp)	55,96	60,09	47,19	47,18	11, 2	0,06	<0,0001	0,0036

Estratos involucrados: pasto, arbustivas y arbóreas. EE: error estándar de la media. Control y tratamientos: *pasto*: solo pasto; *p-arbust*: pasto y arbustos; *p-arbór*: pasto y arbóreas; *p-arbust-arbór*: pasto, arbustos y arbóreas.

Fuente: Adaptado de Barragán (2013)

Al evaluar los indicadores fisiológicos de estrés (tabla 10), los autores encontraron una interacción significativa entre los efectos del tratamiento y el momento del día (a. m./p. m.) para todos los indicadores fisiológicos de estrés evaluados. La temperatura rectal (TR), la de piel (TP) y la frecuencia respiratoria (FR) de los animales en los grupos control (p) y p-arbust se incrementaron de manera más marcada ($p < 0,05$) que en los animales ubicados en potreros con

arbóreas (p-arbór y p-arbust-arbór). La TR aumentó un 2,3 % y 2,8 % (0,9 °C y 1,1 °C), la TP un 15,6 % y 9,1 % y la FR un 42 % y un 62,4 % en los animales ubicados en potreros de solo pasto (control) y pasto y arbustivas (p-arbust) respectivamente. No se detectaron diferencias significativas en las temperaturas corporales en los tratamientos p-arbór y p-arbust-arbór.

Estos resultados indican que la disposición de sombra está directamente relacionada con el confort térmico que los animales tengan durante su vida productiva. En climas cálidos, el ganado busca activamente la sombra, lo que puede reducir la carga de calor radiante en un 30 % o más (Blackshaw & Blackshaw, 1994). En este sentido, el modelo productivo del valle del Sinú que plantea AGROSAVIA, además de fomentar la diversificación de la producción del sistema ganadero a través de la plantación de árboles, arbustos y arvenses de hoja ancha, brinda la posibilidad de que los animales estén libres de incomodidades térmicas (figura 20). Esto adquiere una importancia adicional preponderante para zonas como el trópico bajo, en donde el índice ITH (relación de humedad relativa y temperatura) puede llegar a valores superiores al 80 % (Barragán, 2013). De esta forma, los animales pueden modular el estrés calórico gracias a que bajo la copa de los árboles la temperatura ambiental se podría reducir entre 2 °C y 9 °C en comparación con áreas de potrero abierto (Navas, 2010). Los arreglos o sistemas silvopastoriles contribuyen no solo a mejorar el bienestar animal, sino también a la biodiversidad y la sostenibilidad, a la vez que mejoran las condiciones de trabajo de las personas (Navas, 2010; Broom, Galindo & Murgueitio, 2013).



Foto: Diego Medina.

Figura 20. Comportamiento animal. a. Animales descansan bajo la sombra. b. Animales buscando activamente su alimento (pastoreando bajo el sol).

Efecto del manejo presacrificio sobre el bienestar animal

A lo largo de la vida productiva el ganado es sometido a diversos manejos, los cuales pueden tener efectos directos o indirectos sobre el bienestar animal y la producción cuantitativa y cualitativa de la carne. Algunos de estos manejos ocurren en etapas muy tempranas de la vida de un animal (por ejemplo, destete, castración, descorne) y ocasionan cierto nivel de estrés, que puede llevar a una disminución de la respuesta inmune y mayor predisposición a enfermedades, e incluso a la muerte cuando se trata de animales de mayor riesgo. Por otro lado, se puede dedicar especial cuidado durante la cría y engorde de los animales; sin embargo, todo este esfuerzo puede ser en vano si no se presta atención a los diversos movimientos y manejos que se realizan justo antes del beneficio en plantas faenadoras de carnes (PFC). Los manejos presacrificio comienzan con el arreo de los animales desde potreros a corrales de manejo y espera en las fincas, previo al transporte, hasta que el animal ingresa al cajón de insensibilización (noqueo) en la planta de beneficio (Ferguson & Warner, 2008). Este es un periodo en el que ocurren los eventos más complejos y críticos de la vida de un animal. Estos eventos son considerados como fuentes de estrés que, dependiendo de la intensidad, pueden afectar no solo el bienestar de los animales, sino la calidad del producto final. El arreo, el pesaje, las esperas en finca, el transporte (carga del camión, mezcla de animales, viaje y tipo de camino, densidades de carga, descargas en planta de sacrificio), la privación de alimento (ayuno), los arreos y las esperas en corrales son algunos de ellos. Ciertamente, es imposible eliminar por completo las fuentes de estrés de este proceso; sin embargo, con un buen manejo animal y planificación del viaje se podrían reducir al mínimo.

Arreo o conducción de animales

Es sumamente importante que las personas que crían y manejan el ganado conozcan y comprendan lo básico del comportamiento animal y su interacción con el ser humano. De esta forma se facilitará el trabajo y se evitarán accidentes. La Dra. Temple Grandin, quien posiblemente es la máxima autoridad científica en el manejo de ganado, dice que cuando se interactúa con el ganado, estos no

deben percibir que están siendo manejados. Es decir, hay que darles opciones atractivas para que ellos decidan hacer lo que nosotros queremos que hagan.

Los bovinos dependen en gran parte de la visión. Tienen una pobre percepción de la profundidad cuando caminan con la cabeza en alto, por lo cual deben bajarla para distinguir mejor. Tienen una visión periférica de 360°, lo cual les permite mirar hacia atrás sin voltear la cabeza; sin embargo, también tienen un pequeño punto ciego detrás de ellos, que causará el giro de su cabeza en caso de que alguien se posicione justo allí (Grandin, 1985). Además, son sensibles a los contrastes bruscos entre luz y oscuridad en los corrales y mangas de manejo. Por este motivo muchas veces se rehúsan a cruzar un área con sombras o con una luz brillante en la manga. En la figura 21 se aprecia una manga construida con listones de madera en donde los animales pueden ver los reflejos de los charcos de agua y todo lo que está ocurriendo a su alrededor, lo cual ocasiona una fácil distracción; por otro lado, las sombras creadas por la luz del sol también pueden interferir en el manejo a medida que sean más notorias. Para evitar que los animales se resistan a entrar o se detengan en la manga, hay que chequear que no haya sombras propias de las instalaciones o de los trabajadores, o alguna prenda de ropa colgada en corrales o mangas que actúe como distractor. Por otro lado, hay que evitar azuzar al animal (estimularlo para que se mueva) cuando este no tiene donde ir. Cuando los animales son arreados, esto debe hacerse de forma tranquila, evitando los gritos y correr detrás de ellos. Esto probablemente va a requerir de paciencia, ya que el ganado se volverá más tranquilo y fácil de manejar si se trabaja de forma apacible. Algunos de los errores que se cometen al movilizar a los animales es ponerse justo detrás de ellos, como si fuéramos un depredador. Esto hace que nos ubiquemos en un *punto ciego de su visión* y ocasiona que se giren e intenten huir de quien esté tratando de moverlos. De otra parte, si sumamos movimientos bruscos más ruidos excesivos, esto los distrae y puede llegar a asustarlos, ya que tienen la capacidad de escuchar frecuencias de sonido más elevadas que los humanos; por lo tanto, son más sensibles.



Fotos: Lorena Aguayo.

Figura 21. Manga de manejo animal abierta, con listones discontinuos que permiten la formación de luces y sombras

Los animales se comunican mediante señales activas y pasivas. Los atributos físicos son señales pasivas eficientes para establecer una jerarquía social, así un animal grande disuade a otros sin necesidad de confrontarse. Por ello es difícil que un grupo ya establecido y cohesionado llegue al contacto físico (Miranda de la Lama, 2016). Por eso, para hacer más eficaz el movimiento de los animales, generalmente se utilizan herramientas que simulen un aumento de nuestro tamaño, como los banderines y el arreo con caballos (figura 22). Movilizando de forma tranquila a los líderes del rebaño se tendrá un mayor control porque el resto de los animales los seguirán (figura 23).



Fotos: Lorena Aguayo, Diego Medina.

Figura 22. Manejo del ganado. a. Trabajador utilizando banderín como extensión de su cuerpo para movilizar a los animales hacia el camión; b. Trabajadores con banderines y entrando y saliendo de la zona de fuga para movilizar animales; c. Vaqueros que movilizan animales sobre sus caballos, simulando un mayor tamaño corporal que el de los vacunos; d. Vaqueros entrando y saliendo de la zona de fuga de los animales para movilizarlos.



Foto: Diego Medina.

Figura 23. Los animales movilizados de forma ordenada generalmente siguen a un líder del rebaño.

El manejo de los animales se simplificará significativamente si se conocen algunos conceptos básicos:

La *zona de fuga o de escape* es la clave para un manejo fácil y tranquilo. La zona de fuga es el espacio personal que tiene cada animal. Cuando penetramos en ese espacio personal, el animal se moverá; cuando salimos de su espacio personal, este se detendrá (figura 24). El tamaño de la zona de fuga y la dirección del movimiento del animal va a depender de varios factores, como la docilidad o grado de mansedumbre y el ángulo de aproximación del operario. La zona de fuga se agrandará si nos ponemos frente al animal y se reducirá si nos ubicamos a lado del animal cuando está confinado en una manga de manejo (figura 25). Una barrera física entre el animal y el operario hace que la zona de fuga se reduzca. Cuando los animales están excitados o son fácilmente excitables (temperamentales), la zona de fuga se agranda. Si se tiene claro esto, la movilización de los animales será más fácil. Por lo tanto, habrá que estar lo suficientemente cerca para hacer que el animal se mueva, pero evitar que entre en pánico y huya. Si esto sucede o los animales se comienzan a mover muy rápido, el operario deberá detenerse, retroceder y salir del espacio personal del animal. El mejor lugar para trabajar es el límite de la zona de fuga y para determinarlo se debe caminar lentamente hacia el animal; cuando este empiece a moverse se habrá alcanzado el límite de la zona de fuga (Grandin, 1985).

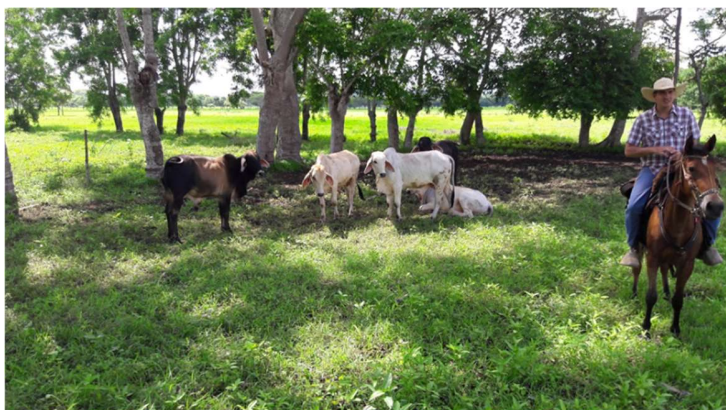


Foto: Jorge Mejía

Figura 24. Los animales se mantienen en su sitio, ya que el vaquero no ha entrado aún en su zona de fuga

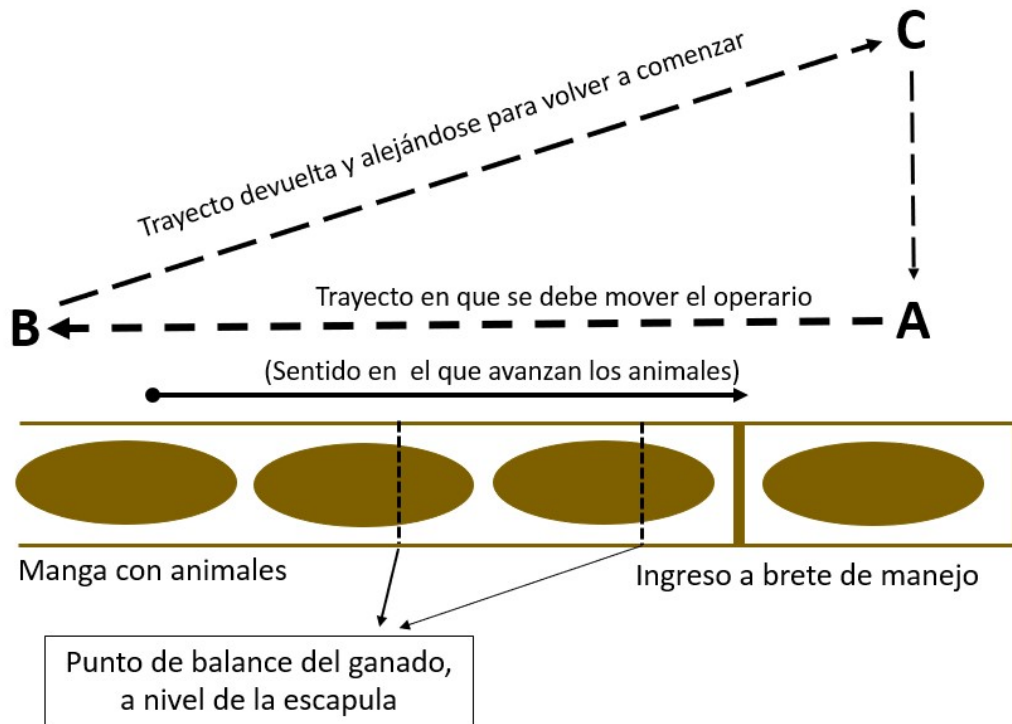


Figura 25. Secuencia de movimientos para hacer avanzar animales en una manga de manejo. El operario debe moverse por fuera apegado a la manga, desde el punto A hasta el B, volver alejándose hasta C para iniciar en A.
Fuente: Elaboración propia adaptado de Grandin (2000)

Cuando los animales son muy mansos y permiten que las personas los toquen, suele ser difícil el arreo. Para esto se recomienda moverlos con una soga o atraerlos con alimento. Por el contrario, cuando los animales intentan huir saltando la manga de manejo es porque se está realizando una profunda invasión de la zona de fuga del animal. Inmediatamente hay que retirarse de esta zona hasta que el animal se tranquilice, ya que él mismo puede causarse daño o puede dañar al personal o las instalaciones. No se recomienda el uso de perros mientras el ganado está en lugares confinados (mangas y corrales estrechos), ya que no tienen donde huir, lo que provocará un alto nivel de tensión y estrés (Grandin, 1984).

El *punto de equilibrio o de balance* (figura 25) es la región anatómica del animal ubicada a la altura de la escápula y se utiliza como punto de referencia de manejo y direccionamiento del ganado. Cuando el operario se pone al lado del animal, justo frente al punto de equilibrio, este se mantiene inmóvil. Cuando el operario se pone detrás del punto de equilibrio, el animal va a avanzar hacia adelante. Cuando el operario se ubica por delante del punto de equilibrio, el animal va a retroceder.

Otro punto importante por considerar es el diseño de las instalaciones para el manejo de los animales. Se recomienda que las paredes de las mangas de trabajo y las rampas de embarque (cargaderos para transporte) sean cerradas, o sea, que no permitan la visión de lo que está fuera de ellas. Con ello se evita que el ganado se distraiga con personas, vehículos o cualquier otro elemento que se encuentre fuera de la manga (hay que recordar que los bovinos tienen visión periférica) para que se muevan con mayor fluidez. Los animales no avanzarán si la manga parece un callejón sin salida, ya que necesitan ver una vía de escape. Lo ideal es que puedan ver qué hay después de la puerta seccional y así se motivará la conducta de seguimiento. También es importante que las mangas sean curvas, ya que esto favorece la tendencia natural del animal de caminar en círculo alrededor de la persona. El trabajador debería poder caminar por la pasarela ubicada en el lado interno de la curva. Las paredes de la manga deben ser cerradas, pero la puerta de ingreso a la manga debe ser construida de tal forma que los animales vean a través de ella (Grandin, 1980; 2000). Por otro lado, los animales siempre se moverán con mayor facilidad desde lugares más oscuros a más iluminados. Cuando sean cargados a un camión durante la noche, se debe procurar iluminar el camión, pero no enfocando a los animales, sino que se ilumine el espacio adonde los animales se van a dirigir. Las mangas y básculas deben techarse únicamente con materiales cerrados para evitar que se formen luces y sombras de forma alternada o que se produzcan sombras en el piso.

Transporte

Otra de las operaciones que puede afectar el bienestar de los animales y, en el último momento, dañar la calidad de la carne es el traslado desde el predio al

matadero. Se podría decir que la jornada de transporte en sí se inicia con el primer animal que es cargado al camión y finaliza cuando es descargado el último animal en el matadero. Las condiciones de transporte van a depender mucho de características como el tamaño del vehículo, el clima, la geografía, las distancias recorridas y las características socioculturales de los distintos países en donde se transportan los animales (Gallo, 2009). El efecto del transporte sobre el bienestar animal se puede agrupar en tres tipos de factores (Fisher, Colditz, Lee & Ferguson, 2009):

- Factores relacionados con la conducción animal hacia y desde el camión, así como la novedad ambiental a la que son expuestos, pueden inducir una respuesta fisiológica de estrés importante en los animales.
- Factores relacionados con la privación de alimento y el gasto energético durante el viaje (y las esperas en finca y matadero). Los animales deben mantener el equilibrio durante el periodo de transporte, lo cual puede involucrar un desafío fisiológico, fatiga animal y un elevado gasto energético que no se recupera.
- Factores relacionados con las condiciones ambientales extremas y características poco apropiadas del vehículo. Las condiciones térmicas y físicas del vehículo que no permiten una adecuada termorregulación animal pueden ser un riesgo para la integridad física y fisiológica de los animales durante su transporte.

En una cadena logística, cuando los animales son subidos a un camión, este puede ser considerado como un alojamiento en sí mismo. Este nuevo ambiente puede ser bastante novedoso, en especial para aquellos que han sido criados y cebados en un sistema productivo de pastoreo. Los animales permanecen en este alojamiento unas pocas horas, lo que no les da tiempo de adaptarse ya que enseguida viene otro estresor, la descarga y nuevamente un ambiente novedoso (corrales de espera en el matadero). Sin embargo, lo más extraño de este alojamiento-jaula es el movimiento, lo que supone un riesgo adicional a estar en un corral estático. Durante este proceso, así como durante toda la cadena logística de producción y presacrificio, se deben seguir los estándares mínimos que establecen las cinco libertades mencionadas al inicio del capítulo, procurando que los animales viajen en condiciones de bienestar para minimizar, en lo posible, los factores que pueden causar estrés (tabla 11). Se debe tener

especial cuidado en las responsabilidades de esta parte del eslabón, ya que existe una tendencia a desentenderse de los animales cuando suben al camión y se le deja toda la responsabilidad al chofer que transporta los animales, quien muchas veces no tiene la preparación adecuada o experiencia suficiente en manejo y cuidado del ganado.

Tabla 11. Principales factores de estrés durante el transporte de ganado

Carga y descarga de los animales	Se dice que son los momentos más estresantes del transporte. Es un punto crítico que dependerá de las instalaciones y del manejo.
Tiempo de transporte	Muy cortos (<1 h) o muy largos (>8 h), son los más estresantes. En el primero no se logra adaptación, y en el segundo viene la fatiga por intentar mantener el equilibrio. Hay mayor probabilidad de caídas.
Novedad ambiental (nuevo "alojamiento")	Esto es especialmente estresante para animales que han sido criados y cebados de forma extensiva.
Calidad de las vías y vibraciones	El tipo de camino y el tipo y estado del camión están muy relacionados con este factor. Puede que el animal tenga que gastar más energía muscular para mantener el equilibrio.
Golpes	Derivados del mal manejo e instalaciones inapropiadas. También por resbalones y aplastamientos. Esto hace que se incrementen los hematomas en los animales.
Ruidos	Durante la carga o descarga (manejadores tradicionales no capacitados), derivados del vehículo en mal estado o del entorno (ciudades).
Calidad del aire	Lo ideal es que el camión en movimiento permita la circulación del aire que se acumula al interior y que puede llegar a ser irritante para los animales. Para esto es esencial que el vehículo se encuentre en movimiento y evite las paradas innecesarias.
Temperatura	En condiciones del trópico bajo puede ser difícil de controlar; sin embargo, puede minimizarse con una ventilación adecuada (paredes abiertas, de listones).
Densidad de carga*	Densidades muy elevadas o muy bajas son estresantes, ya que ambas pueden provocar resbalones y caídas (aplastamientos y efecto rebote).

*Espacio por animal para viajes cortos: terneros: 50-70 kg, 0,2 y 0,3 m² respectivamente; bovinos adultos: 300, 500, 600 y 700 kg, 0,8; 1,2; 1,5; y 1,8 m² respectivamente.

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015)

En Colombia, aunque aún no existe un reglamento específico de transporte de ganado, existe un documento elaborado por el Instituto Colombiano Agropecuario y el Ministerio de Transportes que da recomendaciones para un adecuado transporte de ganado bovino y bufalino, el *Manual de procedimiento para el transporte y movilización de animales en pie* (puesto en consulta pública por el Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] en 2015). Por otro lado, la legislación sanitaria de Colombia (Decreto 1500 de 2007 y Resolución 002341 de 2007) indica que durante el transporte y en la estadía en mataderos los animales deben estar provistos de agua a voluntad para favorecer su hidratación, ya que pierden agua por diferentes vías como la micción, las heces, la respiración y evaporación por termorregulación (Romero & Sánchez, 2011; Gallo et al., 2005). En Colombia los camiones no cuentan con sistemas de bebederos, por lo que a su llegada al matadero es importante que los animales puedan acceder a agua de bebida, idealmente con un sistema familiar para ellos (Romero & Sánchez, 2011).

Problemas de bienestar animal durante el manejo presacrificio y sus efectos sobre la cantidad y la calidad de la carne

Antes de explicar cuáles son los efectos directos que puede tener un pobre bienestar sobre la calidad de la carne del ganado bovino, es importante entender que, para llegar a afectar la cantidad y la calidad de la carne, la intensidad o la frecuencia del estímulo estresante ha de ser bastante elevada. Por otro lado, los países exportadores cada día mejoran su sistema de control de calidad con el uso de tecnologías en plantas de beneficio y empacadoras que son capaces de detectar estos problemas. La aparición de estas anomalías, específicamente el corte oscuro, representan un problema serio para los exportadores debido a las altas pérdidas económicas por el uso limitado de las carnes (Gallo, 2004).

La respuesta animal va a ir cambiando conforme a la sensibilidad que tiene cada indicador asociado a esta respuesta. Por lo tanto, no todos los indicadores son igualmente sensibles al estrés (figura 26). Así, frente a un estímulo estresor (e.g., calor, moscas, manejos aversivos, transporte, etc.), el indicador más sensible son las constantes fisiológicas del animal (i. e., frecuencia respiratoria, temperatura corporal y frecuencia cardíaca). Esta será la respuesta fisiológica inmediata de adaptación frente a un estresor. Luego, los indicadores que le siguen en sensibilidad son los etológicos, que agrupan las variables asociadas al cambio de comportamiento de los animales como consecuencia de los intentos de adaptación (e. g., búsqueda de sombra, reducción en el consumo de materia seca para disminuir la generación de calor metabólico, mover la cola para espantar moscas, intentos de huida, etc.). Posteriormente, o al instante, se verán afectados algunos indicadores sanguíneos de estrés, como hormonas (e. g. cortisol, hormonas tiroideas), o cambios celulares (e. g., hematocritos, tasa neutrófilo-linfocito). Cuando el estresor pasa a un siguiente nivel de intensidad (o frecuencia) y el organismo del animal no es capaz de hacerle frente de forma eficaz, ocurre una alteración de la homeostasis interna del animal. Por lo tanto, no han sido suficientes los mecanismos de adaptación que hasta ahora habían actuado, lo cual lo lleva a una alteración a nivel metabólico que involucra un aumento del gasto biológico, un mayor gasto energético, inmunodepresión (menor capacidad para combatir infecciones y enfermedades) y menor desempeño productivo (i. e., menor GMD y menor peso final) (tabla 12).

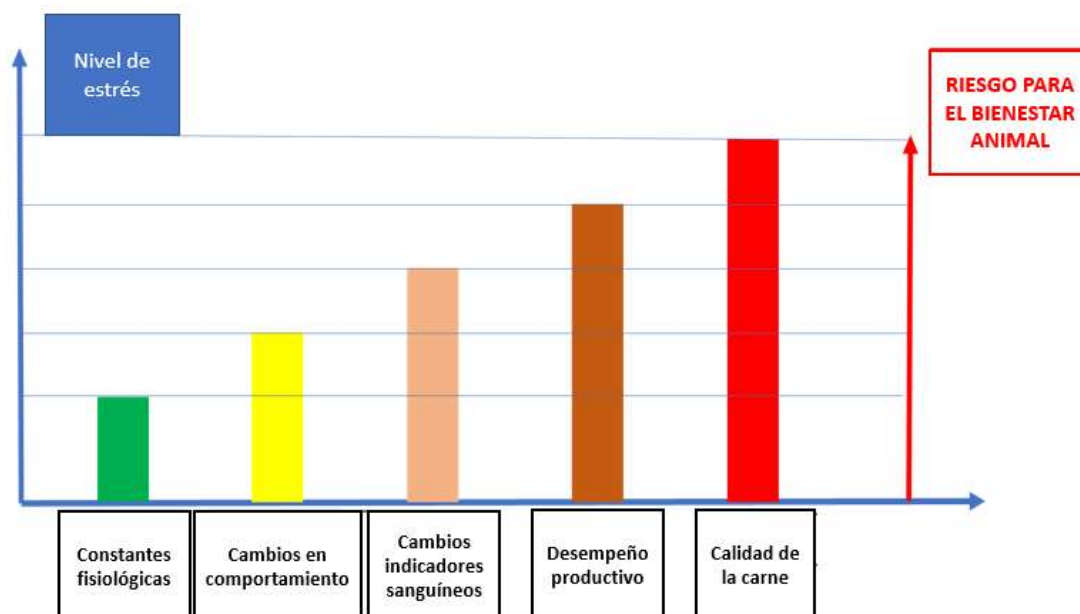


Figura 26. Nivel de estrés necesario para afectar los diversos indicadores de bienestar animal.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Consecuencias de un inadecuado manejo presacrificio y estrés del ganado

Desempeño productivo	Fisiología del animal
Menor peso vivo	Deshidratación
Menor rendimiento de canal	Desbalance electrolítico
Más carne anormal*	Balance energético negativo
Menor infiltración de grasa en músculo	Reducción de glucógeno en músculo
Mayores pérdidas, menos dinero	Uso de reservas lipídicas y proteicas

*Carnes oscuras, corte oscuro o carne oscura, firme y seca (DFD, por la sigla en inglés de *dark, firm and dry*) de pH elevado.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, uno de los indicadores de bienestar menos sensibles al estrés es la calidad de la carne, medida a través del pH, el color y los hematomas en la canal bovina (Gallo, 2009; Romero, Gutiérrez & Sánchez, 2012; Huertas, van Erdenburg, Gil & Piaggio, 2015). Para que se afecte la calidad de la carne y, de

paso, el resto de los indicadores mencionados, la intensidad o frecuencia del estímulo estresante sobre el animal debe ser importante. En este sentido, cuando el nivel de bienestar es muy pobre, la calidad de la carne es un excelente indicador. De esta forma, se puede mostrar de manera efectiva que las mejoras en el bienestar animal afectan positivamente la producción y la calidad del producto. Sin embargo, cuando los niveles de estrés se reducen y desaparece el efecto sobre la calidad de la carne y el desempeño productivo, pero se mantienen algunos efectos sobre el comportamiento, se puede estar haciendo frente a una situación mucho más compleja en la cual aún no se han solucionado de manera completa algunos problemas de bienestar.

Pérdida de peso

El transporte, de forma infalible, involucra la privación de agua y alimento, motivo por el cual se producen pérdidas de peso (Romero & Sánchez, 2012). Estas pérdidas durante el presacrificio van a depender principalmente del tiempo en que los animales son transportados y privados de alimento (ayuno). Mientras más tiempo son transportados, más pierden peso, aunque la relación no es lineal (Gallo, 2009).

Corte oscuro e inadecuado pH de la carne

El *corte oscuro* es una anomalía que se presenta principalmente en la carne de bovinos, caracterizada por un color rojo oscuro y el pH elevado de algunos músculos de la canal, especialmente del lomo. El *pH* es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución o, en este caso, de la carne. Normalmente el pH de la carne medido a las 24 horas *post mortem* va de 5,3 a 5,7 (Gallo, 2004). Cuando el color de la carne de bovino es anómalo (más oscuro), está asociado a un pH inadecuado (mayor a 5,8) y la carne se deteriora con mayor facilidad, ya que el ambiente es más propicio para el desarrollo de microorganismos. Por este motivo muchas plantas de beneficio consideran este problema como inaceptable. El consumidor y la industria ven afectada su percepción de calidad del producto, ya que se alteran las características organolépticas y tecnológicas de la carne. El pH tiene una influencia directa o indirecta sobre el color, la

terneza, el sabor, la capacidad de retener o fijar el agua y la vida útil de la carne en estanterías. El color de la carne es importante para el consumidor; así, un color muy oscuro generalmente es rechazado por que se piensa que proviene de animales viejos o que está en mal estado de conservación (Gallo, 2004). En definitiva, la presentación de la canal se verá afectada y tendrá mayor probabilidad de que se desarrollen microorganismos, por lo tanto, no se podrá almacenar refrigerada por mucho tiempo antes de su consumo.

Causas. Este problema de calidad de la carne es una consecuencia directa de la reducida concentración de glucógeno muscular al momento del sacrificio, debido a los intentos del animal por adaptarse y enfrentar los diversos factores de estrés a los que ha sido sometido (tabla 13). El gasto biológico del animal se incrementa y aumenta su gasto energético, lo que hace que utilice sus reservas de glucógeno como un intento de producir energía para enfrentar el medio ambiente adverso que le rodea. En este sentido, el ganado que se alimenta solo a pastoreo tendría una mayor probabilidad de presentar este problema en comparación con los animales suplementados, los cuales tienden a aumentar la concentración de glucógeno muscular (Apaoblaza & Gallo, 2014).

Tabla 13. Factores que pueden producir corte oscuro

Factores externos al animal	Factores inherentes al individuo
Tiempo de transporte prolongado	Condición sexual (macho entero o castrado)
Tiempo prolongado de espera en planta	Raza, temperamento del animal
Mezcla social de animales	Peso, asociado a las reservas acumuladas
Actividad física excesiva y fatiga	
Múltiples traumatismos	
Ayuno prolongado	

Fuente: Elaboración propia

Un animal vivo y sano tiene un pH muscular cercano a 7; luego de su muerte el pH disminuye naturalmente debido a procesos bioquímicos anaeróbicos del organismo *post mortem*. La glicólisis es el proceso en el que a partir del glucógeno almacenado en el músculo se forma ácido láctico, el cual es el responsable de la acumulación de hidrogeniones, y, por lo tanto, de bajar el pH

(Romero & Sánchez, 2012). Por ello los animales que son sometidos a un nivel de estrés de mayor frecuencia (crónico) que de intensidad (agudo) o han sido mantenidos mucho tiempo sin alimento (transporte y ayuno prolongado) poseerán pocas reservas musculares que permitan una adecuada disminución del pH de la carne. De esta forma, dichos animales serán más propensos a presentar la anomalía de corte oscuro, la cual que genera una condición más vulnerable a la contaminación bacteriana y, por ende, más problemática al momento de su conservación.

Traumatismos, hematomas en la canal

Los hematomas son consecuencia directa de un mal manejo sobre el animal. Se originan debido a golpes o impactos durante este procedimiento, así como por una inadecuada infraestructura de carga y descarga, o del camión propiamente. La intensidad o la fuerza de dichos traumatismos, así como el momento en que fueron originados, les da ciertas características con las cuales es posible definir los hematomas. Algunas de estas características son la profundidad, la extensión, el color y la ubicación anatómica (Strappini, Metz, Gallo & Kemp, 2009; Strappini, Frankena, Met, Gallo & Kemp, 2012). Obtener esta información en mataderos es muy valioso, ya que nos puede indicar cómo han sido tratados los animales durante manejos previos y, de esta forma, ver en qué se está fallando. Dentro de las principales causas directas se encuentran los golpes brindados por los operarios en la finca o el matadero, resbalones o caídas durante la operación del transporte (carga y descarga), pisotones luego de caer fatigados durante un transporte con una elevada densidad de carga, caídas debido la pérdida de equilibrio por mala conducción o calidad de las vías, y efecto rebote por exceso de espacio o inadecuada división de la carga.

Debido a que los hematomas involucran una destrucción de tejidos a distintos niveles (subcutáneo, muscular u óseo), son un medio propicio para el desarrollo de microorganismos en la canal o en la carne. Por esta razón muchos mataderos optan por recortar la parte afectada. Las pérdidas económicas por la cantidad de recortes y la calidad de la carne pueden ser considerables (Gallo, 2009; Huertas et al. 2015).

Consideraciones finales

Varios son los factores que pueden afectar el bienestar del ganado de carne. Manejos rutinarios aversivos a temprana edad y trato poco gentil durante el arreo, así como transportes en condiciones inapropiadas, no solo influyen sobre el bienestar animal, sino también en su salud, su productividad e incluso sobre la calidad y la cantidad del producto cárnico generado. Por otro lado, es importante destacar que todo el trabajo y la dedicación durante el proceso de cría y ceba de los animales puede verse comprometido si no se presta la atención y el cuidado suficientes durante la última parte de la cadena de producción: el transporte y los manejos *ante mortem* en la planta de beneficio. Las pérdidas económicas pueden ser importantes, desde menos kilos de carne por recortes de hematomas o lesiones en canales hasta decomisos completos, o incluso posibles desvíos de mercados por no alcanzar los pH adecuados para exportación.

Referencias

- Apaoblaza, A. & Gallo, C. (2014). Live changes in muscle glycogen concentration of steers due to feeding and fasting as determined through serial biopsies of the Longissimus dorsi muscle. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1), 55-58. doi:10.4067/S0718-58392014000100009
- Barragán, W. (2013). *Sistemas silvopastoriles para mejorar la producción de leche y disminuir el estrés calórico en la región Caribe colombiana* (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Colombia.
- Blackshaw, J. K. & Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(2), 285-295.
- Broom, D. M. (1983). The stress concept and ways of assessing the effects of stress in farm animals. *Applied Animal Ethology*, 1, 79.
- Broom, D. & Fraser, D. (2010). *Domestic Animal Behaviour and Welfare*. 4.^a ed. Wallingford: CABI Publishing.

- Broom, D. M., Galindo, F. A., y Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of The Royal Society B*, 280(1771), 2013-2025. doi:10.1098/rspb.2013.2025.
- Decreto 1500 de 2007 (4 de mayo). Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos. *Diario Oficial* N.º 46.618.
- Decreto 2113 de 2017 (15 de diciembre). Por el cual se adiciona un Capítulo al Título 3 de la Parte 13 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural. *Diario Oficial* N.º 50.448.
- Ferguson, D. M. & Warner, R. D. (2008). Have we underestimated the impact of pre-slaughter on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80(1), 12-19. doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.004
- Fisher, A., Colditz, I. A., Lee, C. & Ferguson, D. M. (2009). The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal of Veterinary Behavior*, 4(4), 157-162. doi:10.1016/j.jveb.2009.03.002
- Gallo, C. (2008). Using scientific evidence to inform public policy on the long distance transportation of animals in South America. *Veterinaria Italiana*, 44(1), 113-20.
- Gallo, C. (2004). Carnes de corte oscuro en bovinos (dark cutting beef). *Revista Americano para América Latina y El Caribe (español-inglés)*, 41(8), 10-13.
- Gallo, C., Warris, P., Knowles T., Negron, R., Valdés, A. & Mencarini, I. (2005). Densidades de carga utilizadas para el transporte de bovinos destinados a matadero en Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 37(2), 155-159.
- Gallo, C. (2009). Bienestar animal y buenas prácticas de manejo animal relacionadas con la calidad de la carne. En G. Bianchi & O. Feed (eds.), *Introducción a la ciencia de la carne* (pp. 455-494). Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur.
- García-Pinillos, R., Appleby, M. C., Manteca, X., Scptt-Park, F., Smith, C. & Velarde, A. (2016). One Welfare - a platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record*, 179(16), 412-413.

- Grandin, T. (1980). Observations of cattle behavior applied to the design of cattle-handling facilities. *Applied Animal Ethology*, 6(1), 19-41.
- Grandin, T. (1984). Reducing stress of handling to improve productivity of livestock. *Veterinary Medicine, Small Animal Clinician*, 79, 827-831.
- Grandin, T. (1985). La conducta animal y su importancia en el manejo del ganado. *Veterinaria Mexicana*, 16, s. p. Recuperado de <https://www.grandin.com/spanish/conducta.animal.html>
- Grandin, T. (2000). Principios de comportamiento animal para el manejo de bovinos y otros herbívoros en condiciones extensivas. En T. Grandin (Comp.), *Livestock Handling and Transport* (pp. 63-85). Wallingford, Inglaterra: CABI Publishing.
- Huertas, S. M., van Eerdenburg, F., Gil, A. & Piaggio, J. (2015). Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact. *Veterinary Medicine and Science*, 1(1), 9-15. doi: 10.1002/vms3.2.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). *Manual de procedimiento para el transporte y movilización de animales en pie*. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=12789>
- International Standard Organization (ISO). (2016). *ISO/TS 34700:2016. Animal welfare management - General requirements and guidance for organizations in the food supply chain*. Recuperado de http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=64749.
- Ley 576 de 2000 (15 de febrero). Por la cual se expide el Código de Ética para el ejercicio profesional de la medicina veterinaria, la medicina veterinaria y zootecnia y zootecnia. *Diario Oficial* N.º 43.897.
- María, G. A. (2006). Public perception of animal welfare in Spain. *Livestock Science*, 103(3), 250-256.
- McNabb, F. (1995). Thyroid hormones, their activation, degradation and effects on metabolism. *Journal of Nutrition*, 125(6 Suppl.), 1773S-1776S.
- Miranda de la Lama, G. (2016). Comportamiento y bienestar del bovino lechero. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/comportamiento-bienestar-bovino-lechero-t39220.htm>.

- Napolitano, F., Braghieri, A., Caroprese, M., Marino, R., Girolami, A. & Sevi, A. (2007). Effect of information about animal welfare, expressed in terms of rearing conditions, on lamb acceptability. *Meat Science*, 77(3), 431-436.
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista Medicina Veterinaria*, 19, 113-122.
- Navas, A. (2008). Efecto de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico y su importancia en la producción bovina tropical. *El Cebú*, 359, 14-17.
- Organización Mundial de Salud Animal (OIE). (2009). Título 7. *Bienestar de los animales*. Recuperado de http://oie.int/esp/normes/mcode/E_summary.htm.
- Organización Mundial de Salud Animal (OIE). (2016). *Título 7, cap. 7.9. Bienestar animal y sistemas de producción de ganado vacuno de carne*. Recuperado de http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/c_hapitre_aw_beef_catthe.pdf
- Organización Mundial de Salud Animal (OIE). (2017). *Bienestar animal de un vistazo*. Recuperado de <http://www.oie.int/es/bienestar-animal/el-bienestar-animal-de-un-vistazo>.
- Pinzón, M. E. (1981). Vacuno Romosinuano. *Suplemento Ganadero*, 2, 2-60.
- Pinzón, M. E. (1984). Historia de la ganadería en Colombia. *Suplemento Ganadero*, 4(1), 208.
- Resolución 2905 de 2007 (22 de agosto). Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de las especies bovina y bufalina destinados para el consumo humano y las disposiciones para su beneficio, desposte, almacenamiento, comercialización, expendio, transporte, importación o exportación. *Diario Oficial* N° 46.733.
- Resolución 2341 de 2007 (23 de agosto). Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano. *Diario Oficial* N.º 46.730
- Rojas, H., Stuardo, L. & Benavides, D. (2005). Políticas y prácticas de bienestar animal en los países de América: estudio preliminar. *Scientific and*

- Technical Review of the Office International des Epizooties*, 24(2), 548-565.
Recuperado de <https://web.oie.int/boutique/extrait/rojas549565.pdf>
- Romero, M., Gutiérrez, C. & Sánchez, J. (2012) Evaluación de contusiones como un indicador de bienestar animal durante el presacrificio de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 267-275.
- Romero, M. & Sánchez, J. (2012). Bienestar animal durante el transporte y su relación con la calidad de la carne bovina. *Revista MVZ Córdoba*, 17(1), 2936-2944.
- Romero, M. H. & Sánchez, J. A. (2011). Implications of including animal welfare in Colombian sanitary legislation. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(1), 83-91.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, 67(1-2), 1-18.
- Strappini, A. C., Metz, J. H. M., Gallo, C. & Kemp, B. (2009). Origin and assessment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*, 3(5), 728-736. doi:10.1017/S1751731109004091.
- Strappini, A. C, Frankena, K., Met, J. H., Gallo, C. & Kemp, B. (2012). Characteristics of bruises in carcasses of cows sourced from farms or from livestock markets. *Animal*, 6(3), 502-509. doi:10.1017/S1751731111001698.

Capítulo VIII

Modelo de producción de carne con el uso de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle medio del río Sinú

Sergio Mejía Kerguelén, Emiro Suárez Paternina, Lorena Mestra Vargas,
Hugo Cuadrado Capella, Diego Medina Herrera y Jorge Mejía Luquez

La ganadería bovina ha sido una actividad generalizada y desarrollada prácticamente en todo el país. Se considera como un renglón socioeconómico de gran importancia para el desarrollo del campo porque participa con el 53 % del producto interno bruto pecuario, el 19,5 % del agropecuario y el 1,3 % del PIB nacional (Fondo Nacional del Ganado [FNG], 2014). Su importancia también radica en la extensión de tierras ocupadas en el país, que para el año 2016 fueron alrededor de 22.631.571 ha destinadas a la producción pecuaria (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán], s.f.), además de la contribución a la oferta total de alimentos. Gracias a ello esta actividad se ha convertido en un símbolo de poder económico, caracterizado por un menor riesgo en comparación con la agricultura y otras actividades rurales.

Actualmente, Colombia posee un inventario bovino de 23.475.022 animales distribuidos a lo largo del territorio nacional. Sin embargo, hay regiones con una mayor actividad en lo que a ganadería se refiere y es ahí donde se destaca la región Caribe colombiana, que concentra el 29,8 % del inventario nacional. En este sentido, el departamento de Córdoba contribuye con el 8,7 y el 29,2 % del inventario bovino nacional y regional respectivamente. Por otra parte, el censo nacional agropecuario reportó que la región Caribe colombiana posee cerca de 6.735.373 de ha en pastos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2014), establecidas principalmente en gramíneas como Colosuana (*Bothriochloa pertusa*), Angleton (*Dichantium aristatum*), Guinea (*Megathyrus maximus*), Decumbens (*Urochloa decumbens*) y Pará (*Urochloa mutica*), entre otras.

En este sentido, la alimentación de los bovinos para producción de carne en condiciones tropicales se fundamenta en el uso de gramíneas de regular rendimiento y calidad nutricional, las cuales son manejadas bajo pastoreo continuo. Este tipo de sistema de utilización del forraje se caracteriza por generar baja productividad por animal y unidad de superficie, al presentar baja carga animal (menor a un animal.ha⁻¹), bajas ganancias diarias de peso (menor a 0,400 kg animal.d⁻¹), baja producción de carne por unidad de superficie (169 kg ha.año⁻¹), bajos pesos al sacrificio (424 kg), edades altas al sacrificio (> 40 meses) y rendimientos en canal inferiores al 51,7 % (FNG, 2014). Por otro lado, la poca existencia de germoplasma disponible, de altos rendimientos de materia seca y con buena calidad nutricional contribuye también a aumentar los problemas de los sistemas pecuarios existentes, haciéndolos poco eficientes y rentables para los productores.

La alimentación es uno de los factores que más influye en la productividad animal, y la producción de carne, a su vez, es el resultado de un sistema integrado que involucra las influencias ambientales, el manejo y las decisiones de gestión por parte del productor. Respecto al manejo nutricional de los bovinos, son varios los factores que influyen, tales como la calidad y la cantidad de forraje, la condición del animal, los objetivos de producción, la mano de obra, la disponibilidad y los costos totales; así mismo, cabe destacar que en los sistemas de producción de carne se equilibran las decisiones de manejo nutricional basadas en resultados económicos y productivos. En la región Caribe colombiana predominan las gramíneas de regular rendimiento y calidad nutricional, las cuales se ven afectadas a lo largo del año por las variaciones que presenta el clima, con periodos intensos de lluvias y periodos prolongados de déficit hídrico, este último con una duración de cuatro a cinco meses, lo cual hace que la disponibilidad y la calidad nutricional de las pasturas se reduzcan drásticamente y afecte los parámetros productivos y la calidad del producto final.

Frente a esta problemática, y en aras de contribuir a llenar las expectativas del mercado nacional e internacional de la carne, se busca la promoción de un producto diferenciado, obtenido bajo condiciones tropicales, en pastoreo de gramíneas con altos rendimientos de forraje y buena calidad nutricional, con base en el uso de razas cebuinas, criollas y sus cruces. En este orden de ideas, a continuación se presenta un modelo de producción de carne recomendado por AGROSAVIA, el cual se

basa en la implementación de un sistema de pastoreo rotacional intensivo, que incluye árboles, arvenses y arbustos para mejorar la oferta forrajera y el confort de los animales, y la baja o nula utilización de agroquímicos, con el fin de producir entre 800 y 1.000 kg ha.año⁻¹ de carne en pie.

Caracterización del sistema de pastoreo rotacional intensivo

El modelo descrito en este documento se caracteriza por vincular diferentes tecnologías que permiten la producción de carne de una manera sostenible y amigable con el ambiente. En este sentido, el modelo contempla praderas establecidas en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y *M. maximus* cv. Mombasa. Las praderas son divididas con cercas eléctricas en ocho potreros de 0,25 ha para un sistema rotacional de 24 días, con tres días de ocupación y 21 días de descanso. Así mismo, el sistema rotacional es provisto constante de agua para el consumo de los animales, el cual puede hacerse mediante acueducto interno con hidrantes surtidores y bebederos portátiles.

El modelo utiliza bovinos machos enteros, de la raza Brahman comercial y el cruce entre Romosinuano x Brahman (figura 27), con la implementación de una carga animal de cuatro a cinco animales.ha⁻¹ y un peso inicial de 258 ± 34 kg. Al inicio de cada ciclo de ceba, los animales son vitaminados, vacunados contra enfermedades de control oficial y desparasitados, evitando el uso de productos de amplio espectro como las ivermectinas, que son nocivos para la macrofauna del suelo.

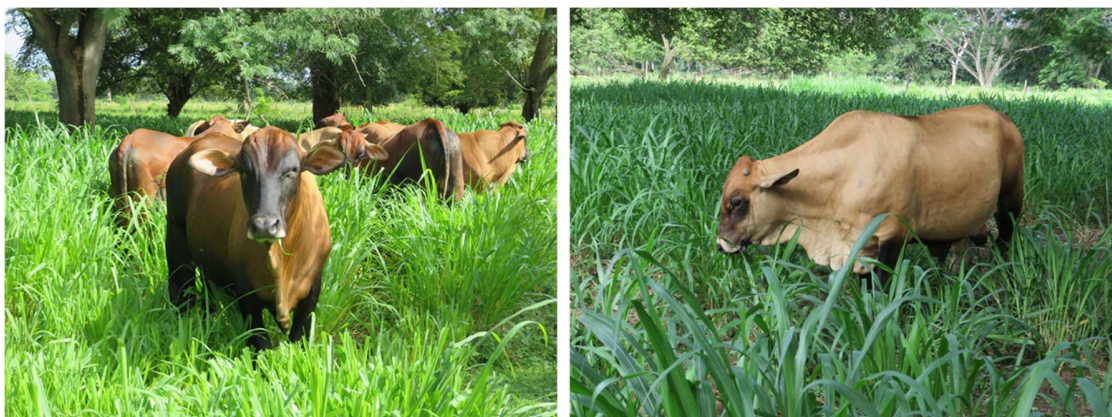


Figura 27. Biotipo animal (Romosinuano x Brahman) utilizado en ciclos de ceba en el valle del Sinú

Rendimiento de materia seca (MS): considerando que la alimentación de los bovinos en condiciones tropicales se fundamenta en el pastoreo de gramíneas, el modelo propuesto promueve la utilización de pasturas del género *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y *M. maximus* cv. Mombasa. Sin embargo, pueden emplearse otros materiales como *Cynodon nlemfuensis*, *Brachiaria híbrido* cv. Mulato II, *M. maximus* cv. Tanzania, entre otros que han sido ampliamente evaluados en el Caribe húmedo colombiano y que se caracterizan por sus altos rendimientos de materia seca, su tolerancia a la sequía y a plagas (mión de los pastos), y especialmente por su buen comportamiento bajo la sombra. Las praderas establecidas con *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y *M. maximus* cv. Mombasa presentaron valores medios de 2.664,7 y 2.498,8 kg MS.ha⁻¹ cada 21 días respectivamente, promediando las épocas de lluvia y seca del año. Sin embargo, los rendimientos pueden verse diezmados en un 40% por la estacionalidad de las lluvias que se presenta en la zona, que generan reducción en la humedad del suelo e inciden sobre la tasa de crecimiento de las plantas. No obstante, los rendimientos registrados en los períodos críticos (1.200,7 y 1.184,4 kg MS.ha⁻¹ para Sabanera y Mombasa respectivamente) son aceptables y obedecen a que el modelo, al emplear árboles dispersos, es resiliente frente a la sequías y, así mismo, le permite mantener una alta carga animal.

Composición botánica de las praderas: con relación a la composición botánica de las praderas, la participación porcentual de las gramíneas estuvo por encima del

90 %, lo cual indica un alto grado de empradización, mientras que la participación de las leguminosas estuvo cercana al 6,0% en las praderas de AGROSAVIA Sabanera y Mombasa (tabla 14), donde se observaron las especies *Teramnus labialis*, *Desmodium scorpiurus*, *Desmodium incanum* y *Centrosema molle*. La participación de estas leguminosas varía con la época, de manera que en la época de sequía puede llegar a ser del 2,7 %, mientras que en la época de lluvias alcanza el 7 % de la composición botánica. Se debe destacar que el modelo propuesto no promueve el uso de agroquímicos; en este sentido, se ha observado una mayor presencia de estas leguminosas en las praderas, las cuales son de mucha importancia dado que tienen un mayor aporte de proteína y minerales, que mejoran la dieta base de los animales. Por otra parte, las arvenses tuvieron una participación baja con relación a las gramíneas y las leguminosas.

Tabla 14. Composición botánica de las praderas

Pastura	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Arvenses (%)
AGROSAVIA Sabanera	91,37	5,92	2,28
Mombasa	90,88	5,98	2,23

Fuente: Elaboración propia

Calidad nutricional y consumo de la materia seca: la calidad nutricional de la materia seca, en términos de proteína ruta (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y degradabilidad de la materia seca (DIGMS), varió con respecto a la época (tabla 15), donde se destaca el cv. AGROSAVIA Sabanera, por presentar los mayores contenidos de proteína cruda (PC) tanto en la época de sequía como en la de lluvia, con valores superiores en un 4,5 y un 6,1 % con relación a los registrados por el cv. Mombasa. Los valores medios de PC de las gramíneas evaluadas pueden atribuirse posiblemente al contenido de materia orgánica del suelo, al ciclo rotacional propuesto y a la sombra aportada por los árboles presentes en el área experimental. En este sentido, se ha determinado que los rumiantes requieren de un mínimo del 7 % de PC en la dieta para que el consumo y la digestibilidad de la MS sean óptimos (García, Sánchez, Marín & Caruci, 2006); con base en esto, los valores hallados en las gramíneas utilizadas están por encima del nivel mínimo citado.

Tabla 15. Composición nutricional promedio de las pasturas evaluadas durante los cuatro ciclos de ceba realizados en el valle del Sinú

Variable	AGROSAVIA Sabanera	Mombasa
PC (%)	12,71	11,9
FDN (%)	56,89	57,59
FDA (%)	37,29	37,45
DIGMS (%)	66,47	64,05

Valores estimados: PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida; DIGMS: degradabilidad de la materia seca.

Fuente: Elaboración propia

Las fracciones de FDN y FDA halladas en la materia seca de las pasturas variaron con la época, y los menores contenidos se presentaron en la época de lluvias (tabla 16). Cabe mencionar que el contenido de FDN está correlacionado positivamente con la densidad del forraje (Correa Cardona, 2011); en este sentido, un mayor contenido de FDN significa un menor consumo de MS. Lo mismo acontece con el contenido de FDA ya que, de acuerdo con Ribeiro y Pereira (2010), los forrajes con valores de FDA cercanos al 30 % se consumen a niveles altos, mientras que aquellos con tasa de FDA por encima del 40 % son menos consumidos y aportan menos energía a los animales. Con base en esta afirmación, las fracciones de FDN y FDA de las pasturas evaluadas están dentro de los valores de referencia. La degradabilidad de las gramíneas osciló entre un 60 % y un 57 % entre la época de lluvia y la de sequía (tabla 16). Las variaciones en el porcentaje de degradabilidad obedecieron a que en el periodo de déficit hídrico aumentaron los contenidos de FDA. Estos resultados son similares a los reportados por Argel et al. (2007) y Reza et al. (2011), quienes evaluaron la calidad nutricional del pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa a los 21 días de descanso; la similitud entre estos estudios puede estar en el manejo dado a la pastura, ya que ambos implementaron periodos de descanso similares.

Tabla 16. Variación en la composición nutricional de las pasturas durante las épocas de sequía y lluvias en el valle del Sinú

Variable	AGROSAVIA Sabanera		Mombasa	
	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias
PC (%)	11,0	13,3	10,5	12,55
FDN (%)	57,3	56,72	58,3	57,34
FDA (%)	40,2	36,3	40,6	36,36
DIGMS (%)	57,58	60,62	57,27	60,58
EM (Mcal kg.MS)	2,07	2,18	2,06	2,18

Valores estimados: PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida; DIGMS: degradabilidad de la materia seca; EM: energía metabolizable.

Fuente: Elaboración propia

La ingestión de la materia seca (IMS) fue similar entre los animales que pastorearon en AGROSAVIA Sabanera y Mombasa (tabla 17). Sin embargo, la ingesta de proteína bruta (IPC) fue ligeramente superior en AGROSAVIA Sabanera debido a los mayores contenidos de PC en esta gramínea (tabla 15); según el National Research Council (NRC, 2000), esta ingestión de PC permite obtener ganancias de peso moderadas.

Tabla 17. Ingestión promedio de materia seca, proteína y energía durante los cuatro ciclos de ceba

Pastura	Ciclo de ceba	*IMS kg.d ⁻¹	*IPC kg.d ⁻¹	*IEM.d ⁻¹ (Mcal/kgMS)
AGROSAVIA Sabanera	2013-2014	8,2	0,998	17,31
	2014-2015	7,2	0,882	15,30
	2015-2016	7,9	0,956	16,59
	2016-2017	7,8	0,946	16,42
	Promedio	7,8	0,946	16,41
Mombasa	2013-2014	8,2	0,943	17,22
	2014-2015	7,2	0,838	15,30
	2015-2016	7,8	0,904	16,50
	2016-2017	7,9	0,915	16,70
	Promedio	7,8	0,900	16,43

IMS: ingestión de materia seca, IPC: ingesta de proteína cruda; IEM: energía metabolizable estimada.

Fuente: Elaboración propia

Desempeño productivo de los animales: la respuesta animal medida en términos de la ganancia diaria de peso (GDP) y la producción de carne por unidad de superficie durante los ciclos de ceba desarrollados en praderas de *M. maximum* en el valle del Sinú pueden ser observados en la tabla 18. En promedio, se pueden obtener GDP de 0,612 kg.animal.d⁻¹ y 2,4 kg.ha⁻¹.d⁻¹ en praderas de *M. maximum* cv. AGROSAVIA Sabanera, mientras que con cv. Mombasa fue de 0,514 kg.animal.d⁻¹ y 2,3 kg.ha⁻¹.d⁻¹.

Tabla 18. Desempeño productivo de los animales durante los cuatro ciclos de ceba en el valle del Sinú

Pastura	Ciclo ceba	Días experimental	Anim.ha ⁻¹	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	GDP (kg)	kg/ha/d	kg/ha/año
AGROSAVIA Sabanera	2013-2014	360	4	293,1	545,7	0,702 a	2,81	1024,43
	2014-2015	336	4	219,9	463,5	0,725 a	2,90	1058,50
	2015-2016	356	4	265,6	465,6	0,562 a	2,25	820,22
	2016-2017	392	4	273,2	452,6	0,458 a	1,83	668,17
	Promedio	361,0	4	263,0	481,9	0,612	2,4	892,8
Mombasa	2013-2014	360	4	296,4	536	0,666 b	2,66	971,71
	2014-2015	336	4	220	431	0,628 b	2,51	916,85
	2015-2016	356	4	268,8	442,8	0,489 b	1,96	713,60
	2016-2017	392	4	262,5	464	0,514 a	2,06	750,48
	Promedio	361,0	4	261,9	468,5	0,574	2,3	838,2

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, al considerar las ganancias diarias de peso promedio, la carga animal implementada y el periodo evaluado en cada ciclo de ceba, la producción de carne en la pastura AGROSAVIA Sabanera osciló entre 668 y 1.058 kg.ha⁻¹.año⁻¹, mientras que en la pastura Mombasa la producción de carne varió entre 750 y 971 kg.ha⁻¹.año⁻¹.

Lo anterior indica que las mayores GDP en el cultivar AGROSAVIA Sabanera pudieron estar relacionadas con una mejor composición nutricional de las praderas, las cuales generaron un mayor consumo de nutrientes por los animales (tablas 15 y 17). Esto permitió mejorar la relación proteína/energía en el rumen, promoviendo así una mayor multiplicación de microorganismos ruminales y degradación de la materia orgánica ingerida. De igual forma, la superioridad en las ganancias diarias por ha y por ha⁻¹.año⁻¹ se deben a que estas están estrechamente relacionadas con las ganancias individuales. Otro aspecto para considerar es que bajo el modelo de producción propuesto se pueden usar cargas de entre 3 y 5 animales.ha⁻¹ y obtener GDP entre 0,574 y 0,612 kg animal.d⁻¹, que permiten que los animales lleguen al sacrificio con un peso promedio entre 461 y 481 kg a una edad de 24 meses. Estos indicadores le confieren al modelo sostenibilidad productiva, ambiental y económica, y son aspectos que constituyen el valor agregado del modelo propuesto para producir carne bajo las condiciones del valle medio del río Sinú.

Bajo las condiciones edafoclimáticas de las sabanas de Córdoba (en el municipio de Chinú), y haciendo uso de este mismo modelo en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa, con animales de levante bajo pastoreo y una carga animal de 3,4 animales.ha⁻¹, se obtuvo, como promedio una GDP entre 0,822 y 0,736 kg animal.d⁻¹ y una producción estimada de 1.020 y 913 kg de carne en pie ha⁻¹.año⁻¹ para AGROSAVIA Sabanera y Mombasa respectivamente, si se realizan 3 ciclos de levante al año. Sin embargo, al evaluar la respuesta con animales de ceba en esta misma zona, se pueden obtener ganancias de 0,576 y 0,536 kg animal.d⁻¹ y una producción de carne por unidad de superficie de 483 y 449 kg ha⁻¹.año⁻¹ en praderas de AGROSAVIA Sabanera y Mombasa respectivamente. Estos indicadores son aceptables y superan sustancialmente los reportados en los sistemas tradicionales de producción de carne de la región.

Considerando que el modelo promueve la utilización del cruce entre el Romosinuano y el Brahman, en la tabla 19 se destacan las principales características de la canal que puede brindar este biotipo animal bajo pastoreo en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa. Es importante comentar que los pesos finales de sacrificio del presente estudio son mayores que los reportados por Velásquez y Álvarez (2004) en un estudio realizado en Turipaná, tanto para el peso ajustado al sacrificio (730 días) como para el peso de las canales. Sin embargo, dichos autores reportan rendimientos de este cruce sobre el 54 %, lo que es bastante alejado del 49,6 % del presente estudio. Esto puede deberse al dato del peso final de beneficio (en finca, animal más lleno) o a las técnicas de faena comercial de la época.

Tabla 19. Variables de calidad de la canal y físicoquímicas de la carne de bovinos cruce de Romosinuano por Cebú bajo pastoreo en praderas de *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle del Sinú durante el cuarto ciclo de ceba

Variable	AGROSAVIA Sabanera (n = 5)	Mombasa (n = 7)
Peso de animales en finca	480,6 ± 4,9	473,1 ± 6,2
Peso canal caliente (kg)	238,0 ± 4,7	230,4 ± 4,2
Rendimiento canal caliente (%)	49,51 ± 0,7	48,69 ± 0,4
Peso canal fría (kg)	232,2 ± 4,9	225,0 ± 4,1
Longitud de la canal (cm)	145,6 ± 3,3	144,4 ± 3,8
Rendimiento canal fría (%)	48,3 ± 0,8	47,5 ± 0,4
Fuerza máxima al corte (kgF) o terneza	3,7 ± 0,24	3,73 ± 0,2

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos en canal observados fueron en promedio del 49 %, que es un valor un poco inferior al reportado en el promedio nacional del rendimiento en canal (51,7 %). Un factor atribuible a este resultado se orienta a la temprana edad al sacrificio (24 meses) de los animales F1 (Romosinuano x Cebú).

Los resultados obtenidos en el modelo con animales F1 Romosinuano × Cebú evidencian que a pesar de que los animales no alcanzaron valores de rendimiento de la canal caliente (RCC) superiores al 49 %, se obtuvieron pesos al sacrificio de

475 kg en 24 meses, muy superiores al promedio nacional, donde se reporta que el peso y la edad al sacrificio fueron de 424 kg y más de 40 meses (FNG, 2014). Esto representa una diferencia de 15 meses para alcanzar el peso que en la actualidad se ha estandarizado para el sacrificio de bovinos. Otro aspecto por destacar es que la carne de los animales fue más blanda que en los reportes realizados en bovinos tipo Cebú comercial. Los valores promedio de dureza (kgF) o fuerza máxima de corte registrados en el cruce de Romosinuano x Cebú fueron en promedio $3,7 \text{ kgF} \pm 0,4$, valores por debajo de los mencionados por Vásquez, Ballesteros, Martínez & Barrera (2006), de $5,6 \pm 2,0 \text{ kgF}$. Esto puede ser una respuesta a una menor edad al sacrificio, como también al biotipo animal utilizado.

Estos rendimientos son de gran interés para los productores porque los animales llegan al sacrificio con menor edad, lo que permite una rápida rotación del capital y de la carne. Así mismo, se evidencian los resultados de heterosis individual y materna para las características de crecimiento en fases del pre y posdestete, así como el peso al sacrificio que presenta esta raza, además del manejo zootécnico realizado durante los ciclos de ceba.

Conclusiones

El establecimiento de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa bajo un sistema rotacional de praderas y sin el uso de agroquímicos demostró ser una alternativa para la producción de carne en el valle del Sinú, al presentar buenos rendimientos y buena calidad nutricional de la materia seca.

La mejor respuesta animal fue percibida en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, ya que en los tres ciclos de ceba presentó una mayor ganancia diaria de peso (0,612 kg) y mayor producción de carne (892 kg carne en pie por ha.año⁻¹) en comparación con Mombasa.

Referencias

Argel, M., Pedro, J., Miles, J. W., García, G., David, J., Cuadrado Capella, H. & Lascano, C. E. (2007). *Cultivar Mulato II (Brachiaria híbrido CIAT 36087)*:

gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente a salivazo y adaptada a suelos tropicales ácidos bien drenados. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10568/69705>.

- Correa Cardona, H. J. (2011). Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan). (s.f.). *Cifras de referencia Sector ganadero colombiano*. Recuperado de: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/general/040-cifras>.
- Fondo Nacional del Ganado (FNG). (2014). *Bases para la formulación del plan de acción 2014-2018 para el mejoramiento de la ganadería del departamento de Córdoba*. Recuperado de: <https://estadisticas.fedegan.org.co/DOC/download.jsp?pRealName=2.PlanCordobaFINAL.pdf&iIdFiles=647>.
- García, H. M., Sánchez, C., Marín, C. & Caruci, P. (2006). Suplementación con cama de pollo a vacas lactantes durante la época lluviosa. *Zootecnia Tropical*, 24(1), 31-42.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (4 de mayo de 2014). *Los pastos es la cobertura que reina en los suelos de la región Caribe*. <https://noticias.igac.gov.co/es/contenido/los-pastos-es-la-cobertura-que-reina-en-los-suelos-de-la-region-caribe>.
- National Research Council (NRC). (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Recuperado de <https://doi.org/10.17226/9791>.
- Reza García, S., Mejía Kerguelen, S., Cuadrado Capella, H., Torregroza Sánchez, L., Jiménez Mass, N. ... Palencia Severiche, G. (2011). *Experiencias en la implementación de modelos intensivos de producción de carne en pasturas fertirrigadas en el valle del Sinú*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1249>
- Ribeiro, K. G. & Pereira, O. G. (2010). Valor nutritivo do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação. *Veterinária e Zootecnia*, 17(4), 560-567.
- Vásquez, R., Ballesteros, H., Martínez, R. & Barrera, G. (2006). Evaluación de la producción y la calidad de la carne bovina de las razas Romosinuano, Cebú y sus cruces. En R. Vásquez, H. Ballesteros, H. Grajales, E. Pérez & Y.

- Abuabara (Eds.), *El ganado Romosinuano en la producción de carne en Colombia* (pp. 41-69). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Velásquez, J. C. & Álvarez, L. A. (2004). Relación de medidas bovinométricas y de composición corporal in vivo con el peso de la canal en novillos Brahman en el valle del Sinú. *Acta Agronómica*, 53(3), 61-68.

Capítulo IX

Estrategias de mitigación de la emisión de metano entérico en modelos de producción de carne

Olga Mayorga Mogollón, Claudia Ariza Nieto, Andrea Sierra Alarcón, Diana Parra Forero, Edgar Mancipe Muñoz y Lorena Mestra Vargas

Efectos del cambio climático sobre los sistemas ganaderos

Los ecosistemas de los países tropicales son actualmente considerados los más vulnerables al cambio climático. El incremento de la temperatura, los cambios en los patrones de precipitación, la frecuencia y la severidad de eventos climáticos extremos, la disminución en la disponibilidad de agua, el incremento en la presencia de enfermedades y vectores y los cambios en la biodiversidad animal, vegetal y microbiana han sido las principales consecuencias del calentamiento global a nivel regional, por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global.

De acuerdo con las directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Dong et al., 2006), una de las fuentes directas de emisión de GEI en la producción animal son las emisiones de metano por fermentación entérica. El metano es emitido en gran parte por el ganado (por la fermentación en su digestión), la producción de arroz y el manejo del abono. El dióxido de carbono es emanado principalmente por la descomposición de desechos vegetales y de materiales orgánicos en la tierra, como también por la incineración de residuos vegetales (Gill et al., 2010). Colombia produce el 0,35 % de las emisiones anuales netas de CO₂ en el mundo; sin embargo, a nivel nacional, la agricultura, junto con los cambios en el uso del suelo, emite un 15 % más de CO₂ que otros sectores, como la industria y el transporte. Las mayores emisiones las presentan las categorías de tierras forestales, pastizales y ganado

(32 %, 31 % y 12 % del promedio histórico respectivamente) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] & Cancillería, 2016).

La coordinación mundial con acciones rápidas, sustentables y efectivas a nivel local, basadas en la implementación y la adaptación de las herramientas tecnológicas disponibles para mitigar las emisiones de gases y adaptarse al cambio climático, es el camino que se recomienda seguir para generar beneficios en el ámbito social (con mejoras en salud y calidad de vida) y económico, reflejados en sistemas de producción de alimento ambientalmente sostenibles, con mayor disponibilidad de agua y un uso adecuado de la diversidad (Consejo Europeo, 2018).

Para los países basados en actividades agropecuarias y con vocación ganadera, las emisiones de metano de los rumiantes no deben verse como una amenaza para esta actividad, ya que una de las características de mayor importancia en las emisiones de gases de los bovinos es que constituyen una de las fuentes de gases fácilmente manipulables (Soussana, Tallec & Blanfort, 2010), por la alta capacidad que poseen los microorganismos del rumen de adaptar y modificar su metabolismo con simples condiciones de manejo, principalmente nutricionales. El uso adecuado del forraje y la suplementación estratégica promueven el adecuado crecimiento y la actividad de los microorganismos responsables de la degradación del forraje, que permiten la utilización eficiente de la energía contenida en el alimento y, por ende, una menor producción de metano ruminal (O'Mara, 2011).

Estrategias para mitigar y adaptar la ganadería al cambio climático

Para el sistema de producción ganadero se han formulado una serie de estrategias para mitigar y adaptar la ganadería al cambio climático, que comprenden desde modificaciones en el nivel de consumo y la calidad de los alimentos hasta la inclusión de aditivos que controlan la metanogénesis ruminal. Algunos autores (Beauchemin & McGinn, 2006; Cobellis, Yu, Forte, Acuti & Trabalza-Marinucci, 2016; McAllister, Beauchemin, McGinn, Hao & Robinson, 2010; Patra, Park, Kim

& Yu, 2017;) han señalado que las estrategias en el manejo de la alimentación son la opción más viable para mitigar las emisiones de metano producto de la fermentación e incrementar la eficiencia ruminal. Algunas alternativas de manejo nutricional descritas son el procesamiento físico y químico del alimento, la frecuencia de alimentación, la composición del alimento (tipo de carbohidratos, disponibilidad de nutrientes y barreras de degradación), la inclusión de aditivos, como antibióticos, agentes reductores tipo aceites, compuestos secundarios de plantas, probióticos (levaduras principalmente), prebióticos y hasta la manipulación genética de las poblaciones microbianas del rumen.

La evaluación de las estrategias nutricionales propuestas, solas o en interacción, ha sido objeto de estudio recientemente, donde se estudia su efecto sobre los cambios de la dinámica poblacional de los microorganismos, la producción de ácidos grasos volátiles, la producción de metano entérico y hasta la respuesta en producción animal. No obstante, poca importancia se ha dado a la generación de una línea de conocimiento básico de la función ruminal y la tasa de emisión de gases de los bovinos bajo condiciones de manejo propias de un país tropical. Ello ha repercutido, durante muchos años, en la adopción de “paquetes tecnológicos” poco eficientes e incongruentes con la realidad.

El uso adecuado del forraje y la suplementación estratégica promueven el adecuado crecimiento y la actividad de los microorganismos responsables de la degradación del forraje, permiten la utilización eficiente de la energía contenida en el alimento y, por ende, una menor producción de metano ruminal. Las razas pueden diferenciarse respecto a su eficiencia en la utilización de los alimentos, lo cual puede ser explorado como una opción de mitigación de los GEI a largo plazo, ya que difieren en sus requerimientos para el mantenimiento y en la eficiencia del uso energético (Solis, Byers, Schelling, Long & Greene, 1988).

Contexto de la producción ganadera en el Caribe colombiano

La ganadería en Colombia se base en sistemas de pastoreo, aunque existen algunos esfuerzos hacia el reconocimiento y la exploración del potencial que posee

la ganadería tropical desde el punto de vista nutricional y su interacción con la vasta biodiversidad forrajera y microbiana del rumen, que buscan aprovechar las potencialidades del país e incrementar la capacidad competitiva del sector ganadero. Sin embargo, la situación actual de la ganadería en Colombia refleja una baja productividad, influenciada por costos altos de producción, deficiencias nutricionales, baja producción de pasturas, predominio de ganadería extensiva y baja carga animal.ha⁻¹. La producción bovina de carne se acentúa en los departamentos de Córdoba, Bolívar y Sucre. Sin embargo, los indicadores productivos son bajos: las tasas de población animal oscilan entre 0,9 y 1,2 animales por hectárea, con ganancias individuales entre 235 y 398 g animal.d⁻¹, edad al sacrificio de 39-42 meses y porcentaje de nacimiento del 53 % (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán], s.f.). Estos sistemas son generalmente manejados de manera extensiva, con terminación de los animales en pastoreo. En cuanto al componente racial, los hatos destinados para la producción de carne están conformados principalmente por razas *Bos indicus* y mestizaje, y en algunas zonas por razas *Bos Taurus*, especializadas en la producción de carne (Uribe, Zuluaga, Valencia, Murgueitio & Ochoa, 2011). Los impactos a mediano y largo plazo en la ganadería para este tipo de propuestas tecnológicas están representados en diversos beneficios: socioeconómicos, con la apertura de mercados potenciales por menores huellas de carbono y pagos por servicios ambientales; productivos, con mejores rendimientos en producción/animal/hectárea, generados por uso eficiente de la energía, y ambientales, por la mitigación del efecto del cambio climático sobre la fisiología animal y la biodiversidad de los ecosistemas colombianos.

En este contexto, AGROSAVIA ha estado desarrollando un sistema modelo para la producción de carne basado en cruces de animales criollos y pasturas mejoradas. Para los sistemas ganaderos, es de importancia crítica y estratégica la identificación de opciones inteligentes de intensificación para aumentar la producción de carne por unidad de tierra, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por kg de producto y aumentar la resiliencia de los sistemas al cambio climático y la variabilidad.

Para definir esta estrategia, se ha evaluado la respuesta productiva en animales bajo dos tipos de pasturas y el impacto ambiental del sistema de producción de carne, evaluado como la medida de la intensidad de la emisión de metano (CH₄)

por consumo (IEC) y por ganancia de peso corporal de los animales (IEG), para determinar las pérdidas de energía de los animales (YM) y el factor de emisión de metano (FE), realizada por primera vez en bovinos F1 en pastoreo y bajo condiciones del Caribe húmedo.

Emisión de metano entérico de bovinos F1 (Romosinuano x Brahman) en praderas de *Megathyrsus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa

El estudio se realizó en el Centro de Investigación Turipaná, adscrito a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), para evaluar las emisiones de metano entérico producidas por bovinos F1 (Romosinuano x Brahman) en fase de levante- ceba bajo un sistema de producción de carne, en pastoreo rotacional de 24 días (tres días de ocupación y 21 días de descanso) en praderas de *Megathyrsus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa.

Las mediciones de emisión de metano (CH₄) entérico se evaluaron durante tres periodos, con tres días consecutivos de medida entre los meses de septiembre y octubre de 2017. Las lecturas en cada animal fueron por cinco minutos consecutivos en cuatro momentos del día (5:00 a. m., 9:00 a. m., 1:00 p. m. y 5:00 p. m.) y se cuantificaron mediante la técnica del detector láser de metano (Chagunda, 2013) con el sensor Crown TGE mini-G SA3C50A (figura 28).

Para determinar la producción acumulada durante 24 horas se utilizó un modelo de regresión múltiple con integración de trapecio bajo la curva expresado en g CH₄/L de aire. El factor de emisión por animal para cada periodo de experimentación se calculó siguiendo la siguiente ecuación del IPCC (Dong et al., 2006):



Foto: Emiro Suárez

Figura 28. Cuantificación de metano entérico con sensor láser en animales F1 (Romosinuano x Cebú) en el CI Turipaná.

$$EF = \left[\frac{GE \times \left(\frac{Y}{100} \right) \times 365}{55,65} \right]$$

Donde:

EF = Factor de emisión, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

GE = Ingesta de energía bruta, MJ

YM = Factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano. El factor 55,65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano.

La ecuación que se utilizó para estimar la ingesta de materia seca para ganado en crecimiento y en terminación (Dong et al., 2006) fue:

$$DMI = BW^{0.75} \left[\frac{0,244 \times NE_{ma} - 0,0111 \times NE_{ma}^2 - 0,472}{NE_{ma}} \right]$$

Donde:

DMI = Ingesta de materia seca, kg de materia seca

BW = Peso corporal del animal, kg

NEma= Energía de mantenimiento, MJ cabeza⁻¹

Respuesta productiva, intensidad de emisión de metano entérico y factor de emisión en un modelo de producción de carne con animales F1 (Romosinuano x Brahman) en praderas de *Megathyrus maximus* en el valle del Sinú

En la figura 29 se presentan las comparaciones por el efecto de las dietas en estudio sobre la respuesta productiva asociada al impacto ambiental, en donde no se encontraron diferencias significativas en cuanto al consumo y la ganancia diaria de peso entre los dos sistemas de pastoreo del estudio. Sin embargo, se presentaron diferencias significativas en la interacción entre las pasturas y los periodos de evaluación asociados con las emisiones de metano entérico ($p = 0,0012$), lo que representó menores valores en los animales bajo pastoreo en la pastura AGROSAVIA Sabanera, con valor promedio: IEG de 10,63 (g CH₄.Kg⁻¹), YM de 4,36 % y con un factor de emisión de metano (42,6 kg CH₄.cabeza⁻¹.año⁻¹); esto representa menores pérdidas energéticas por animal, en promedio en un 7,05 %, y consecuentemente representó una reducción en la emisión de metano al ambiente en un 7,9 %, lo cual representaría una opción tecnológica para una ganadería sostenible del Caribe húmedo colombiano.

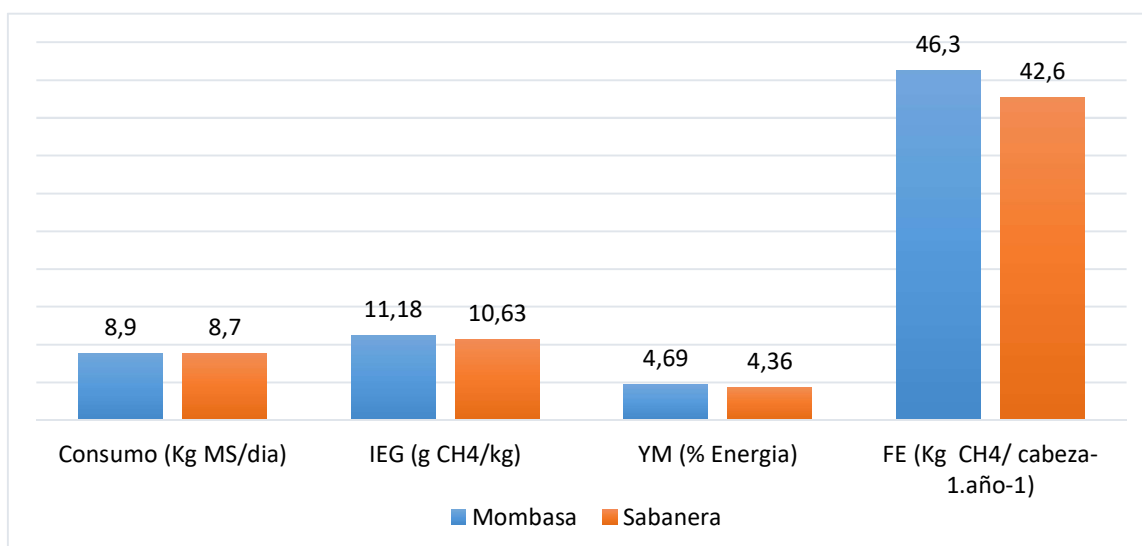


Figura 29. Intensidad de la emisión de metano por ganancia diaria de peso corporal: YM: porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano; FE: factor de emisión, kg CH₄.cabeza⁻¹.año⁻¹

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se muestra el efecto estadísticamente significativo en las variables evaluadas de acuerdo al periodo de evaluación: consumo (< 0,0001), GDP (< 0,0001), IEG ($p = 0,0009$), YM ($p = 0,0002$) y FE ($p = 0,0003$), hecho que puede estar asociado a las etapas de crecimiento del animal y a una mayor cantidad y calidad de forraje y consumo de nutrientes disponibles en la pastura, ya que en el primer periodo, comparado con el último, las ganancias de peso son de un 80 % menos, acompañado de un 20 % de pérdida de energía por el animal (figura 30). Cuando los animales estabilizan su peso entre el segundo y el tercer periodo se reducen las pérdidas de energía del animal en un 21,44 %, lo que implica una reducción en las emisiones del 21,61 % para cualquiera de los dos sistemas de pastoreo.

Tabla 20. Comparación de la respuesta productiva y el impacto ambiental del sistema durante la etapa de levante-ceba de animales F1 cruce Romosinuano x Brahman bajo condiciones de pastoreo en *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera

Periodo	13 de sep.	20 de sep.	9 de oct.
Consumo (kg MS/día) ¹	9,1 ^a	8,4 ^c	9,0 ^b
GDP (kg.día)	0,47 ^b	0,79 ^a	0,85 ^a
IEG (g CH ₄ /kg)	11,8 ^a	11,7 ^a	9,2 ^b
YM (% energía)	4,7 ^a	5,0 ^a	3,8 ^b
FE (kg CH ₄ .cabeza ⁻¹ .año ⁻¹)	48,1 ^a	47,5 ^a	37,8 ^b

¹ Consumo pasto Guinea cv. AGROSAVIA Sabanera. Promedio de animales: 8 días de medición = 3; horas de medición = 4. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos con $p < 0,05$; MS: materia seca; GDP: ganancia diaria de peso corporal; IEG: intensidad de la emisión de metano por ganancia de peso corporal diaria; YM: porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano; FE: factor de emisión, kg CH₄.cabeza⁻¹.año⁻¹.

Fuente: Elaboración propia

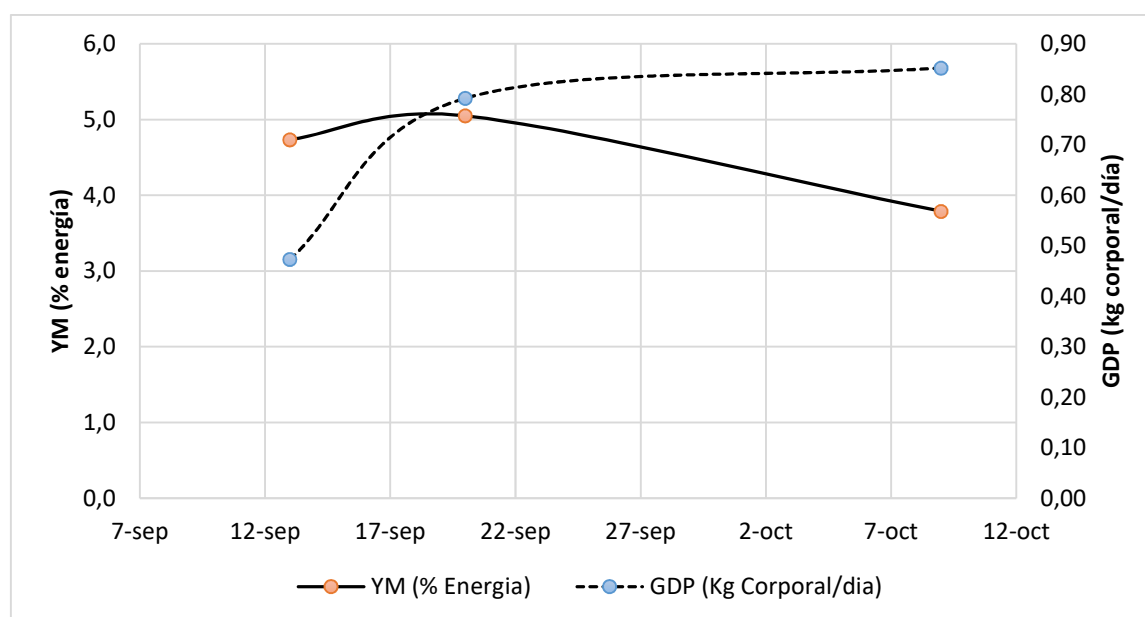


Figura 30. Ganancia diaria de peso corporal y porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano.

Fuente: Elaboración propia

En este sentido, Pelletier, Pirog y Rasmussen (2010) observaron que las emisiones totales de los GEI de bovinos de carne en fase de finalización en sistemas de pastoreo extensivo fueron un 30 % más altas que aquellas del ganado que consumió raciones a base de cereales en corrales de engorde. Así mismo, Beauchemin, Janzen, Little, McAllister y McGinn (2010) sugirieron que alimentar bovinos de carne en crecimiento con forrajes en sistemas extensivos aumentaría considerablemente la intensidad de los GEI (aumento del 6,5 %). Es importante destacar que, desde el punto de vista nutricional, menores contenidos de fibra y mayor porcentaje de carbohidratos solubles puede reflejarse en una alta eficiencia energética del rumen y menor emisión de metano; sin embargo, las dos pasturas en estudio mostraron composiciones similares en estos componentes, por lo que los resultados podrían estar asociados a la fase final de ceba de los animales en estudio. También se deben considerar otros factores como el consumo de materia seca (promedio para cada pastura de 9,0 kg MS.d⁻¹) y la energía digestible de las pasturas (promedio de las dos pasturas 2,42 Mcal.kg⁻¹ MS), respecto a los cuales Johnson y Johnson (1995) sugieren que a medida que crece el consumo de alimento, disminuye la tasa YM en aproximadamente 1,6 % por cada nivel de consumo por encima de las necesidades de mantenimiento.

Los animales F1 (Romosinuano x Cebú) manejados en praderas de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera mejoraron la respuesta productiva y el impacto ambiental porque se redujo la intensidad de emisión de metano para la IEG en un 4,98 %, lo cual representa menores pérdidas energéticas para el animal, en un promedio de 7,05 % con YM = 4,36 % y consecuentemente representa para el sistema de producción una reducción en la emisión de metano en un 7,9 %, con el factor de emisión de metano (42,6 kg CH₄.cabeza⁻¹.año⁻¹). Los resultados encontrados indican que las condiciones de manejo que fueron adoptadas contribuyen a una mayor eficiencia del sistema y la respuesta animal en términos de la utilización de nutrientes, consumos de materia seca diarios, disponibilidad de la energía digestible, eficiencia de conversión e incremento de la producción animal.

Estos resultados apoyan la propuesta de que la ganadería en Colombia basada principalmente en sistemas de pastoreo debe orientar los esfuerzos hacia el reconocimiento y la exploración del potencial que posee la ganadería tropical desde el punto de vista nutricional y su interacción con la vasta biodiversidad

forrajera y microbiana del rumen, en busca de aprovechar las potencialidades del país e incrementar la capacidad competitiva del sector ganadero.

Referencias

- Beauchemin, K. A. & MCGinn, S. M. (2006). Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of intake. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(3), 401-408.
- Beauchemin, K. A., Janzen, H. H., Little, S. M., McAllister, T. A. & McGinn, S. M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103(6), 371-379.
- Chagunda, M. G. G. (2013). Opportunities and challenges in the use of the Laser Methane Detector to monitor enteric methane emissions from ruminants. *Animal*, 7(s2), 394-400.
- Cobellis, G., Yu, Z., Forte, C., Acuti, G. & Trabalza-Marinucci, M. (2016). Dietary supplementation of *Rosmarinus officinalis* L. leaves in sheep affects the abundance of rumen methanogens and other microbial populations. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 27. Doi:10.1186/s40104-016-0086-8
- Consejo Europeo (2018). *Acuerdos internacionales sobre acción por el clima*. Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/politicas/climate-change/international-agreements-climate-action/>.
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R. ... Romanovskaya, A. (2006). Chapter 10. Emissions from livestock and manure management. En H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds.), *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (vol. 4: Agriculture, forestry and other land use) (pp. 10.1-10.87). Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf.
- Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán). (s.f.). *Inventario ganadero*. Recuperado de <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>.
- Gill, M., Smith, P. & Wilkinson, J. M. 2010. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4, 323-333.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Cancillería. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero, Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>.
- Johnson, K. A. & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483-2492.
- Mcallister, T. A., Beauchemin, K. A., Mcginn, S. M., Hao, X. & Robinson, P. H. (2010). Greenhouse gases in animal agriculture-Finding a balance between food production and emissions. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 1-6. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.057.
- O'Mara, F. P. (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 7-15. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.074.
- Patra, A., Park, T., Kim, M. & Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8, 13. doi:10.1186/s40104-017-0145-9.
- Pelletier, N., Pirog, R. & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(6), 380-389.
- Solis, J. C., Byers, F. M., Schelling, G. T., Long, C. R. & Greene, L. W. (1988). Maintenance Requirements and Energetic Efficiency of Cows of Different Breed Types 1, 2. *Journal of Animal Science*, 66(3), 764-773.
- Soussana, J. F., Tallec, T. & Blanfort, V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4(3), 334-350.
- Uribe, F., Zuluaga, A. F., Valencia, L., Murgueitio, E. & Ochoa, L. (2011). *Buenas prácticas ganaderas*. Bogotá, Colombia: GEF, Banco Mundial, Fedegán, Cipav, Fondo Acción, TNC.

Capítulo X

Análisis de la eficiencia económica de un modelo de producción de carne bovina

Antonio Martínez Reina, Sergio Mejía Kerguelén,
Emiro Suárez Paternina, Luis Sánchez Rodríguez

La producción de cualquier bien o servicio que combina insumos da como respuesta unos coeficientes técnicos, los cuales demuestran la eficiencia en el rendimiento de un sistema de producción. Sin embargo, es necesario interpretar desde el punto de vista económico su significado para el productor mediante la aplicación de métodos y técnicas que constituyen el análisis económico, tales como análisis de costos, retornos económicos y remuneración de los recursos que intervienen en el proceso, los cuales dan cuenta de las bondades y posibilidades de usarlos en dicho sistema de producción.

El análisis económico, como complemento del estudio de un sistema de producción, reafirma la respuesta biofísica (relación ambiente-animal-suelo-agua) de este, lo cual le sirve al productor para la toma de decisiones con base en las bondades y los riesgos económicos del sistema. Para el caso de un modelo de producción de carne, se deben considerar los cambios en la producción física, es decir, el incremento de kilos de carne, representados en los retornos económicos que corresponden al ingreso neto adicional.

La realización del análisis económico se fundamenta en el patrón de costos de producción, que, de acuerdo con la metodología sugerida por Agreda (1990), contempla la toma de datos que constituyen los costos directos e indirectos. Para un modelo de producción de carne, los costos directos son todas las actividades realizadas (labores, que incluyen el mantenimiento de cercas y potreros y el manejo animal, entre otros), las cantidades de los productos (insumos y materiales) y los precios de los mismos, el costo de uso del agua, la alimentación, la sanidad, los equipos, la mano de obra y la compra de animales, en tanto que los costos indirectos corresponden al arrendamiento, el pago de servicios públicos y la depreciación de la infraestructura. Los indicadores económicos que se valoran aparecen en la tabla 21.

Tabla 21. Indicadores económicos que se pueden evaluar en un modelo de producción de carne

Ecuación	Donde:
$\sum_{Cd=0}^n Cd = Cd1 + Cd2 + Cd3 + \dots + Cdn$	Cd: costos directos; Cd ₁ : semillas; Cd ₂ : insumos; Cd ₃ : manejo animal, etc.
$\sum_{Ci=0}^n Ci = Ci1 + Ci2 + Ci3 + \dots + Cin$	Ci: costos indirectos; Ci ₁ : alquiler del terreno; Ci ₂ : costos financieros; Ci ₃ : otros, etc.
$CP = Cd + Ci$	CP: costos de producción; Cd: costos directos; Ci: costos indirectos.
$\sum_{Rdo=0}^n Rdo = PC1 + n$	Rdo: rendimiento; PC ₁ : expresado en kg. de animal vivo en pie.
$CU = \frac{CP}{Rdo}$	CU: costos unitarios; CP: costos de producción; Rdo: rendimiento, costo del kilo de carne.
$IB = Rdo * PV$	IB: ingresos brutos; Rdo: rendimiento; PV: precio del kilo de carne.
$IN = IB - CP$	IN: ingresos netos; IB: ingresos brutos; CP: costos de producción.
$RN = \frac{IB - CP}{CP} * 100$	RN: rentabilidad neta; IB: ingreso bruto; Cd: costos de producción.
$P_{eq} = \frac{CP}{PV}$	P _{eq} : punto de equilibrio; Cd: costos de producción; PV: precio de venta.
$PP_{eq} = \frac{CP}{IB} * 100$	PP _{eq} : porcentaje del punto de equilibrio; Cd: costos de producción; IB: ingresos brutos.

Fuente: Agreda (1990)

Valoración de índices económicos en un modelo de producción de carne de 50 ha en el valle del Sinú

Con base en lo anterior se presenta un ejemplo de la valoración de los índices económicos para un modelo de producción de carne establecido en el valle del Sinú. Para este ejemplo se tiene como referencia la información obtenida del modelo de producción de carne establecido en las instalaciones del CI Turipaná de AGROSAVIA. Se tomaron los costos de producción de cuatro años consecutivos

(2014-2017), que contemplaron cuatro ciclos de ceba con animales Cebú comercial y cruces entre Romosinuano y Cebú, bajo pastoreo rotacional en praderas establecidas en *Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y *Megathyrus maximus* Mombasa, gramíneas que se destacan por rendimientos de materia seca superiores a los 1.200 kg.ha⁻¹, contenido de proteína entre 11,9 y 12,7 %, ganancia diaria de peso promedio de 0,574 y 0,612 kg animal.d⁻¹ y por mantener una carga animal entre 3 y 4 animales.ha⁻¹ (Mejía et al., 2018).

Este modelo se desarrolló bajo un sistema de pastoreo rotacional intensivo, con divisiones permanentes realizadas con cerca eléctrica en un área de 2 ha establecidas en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y 2 ha en *M. maximus* cv. Mombasa, las cuales fueron divididas, cada una, en ocho potreros de 0,25 ha con el fin de establecer un sistema rotacional de 24 días (tres días de ocupación y 21 días de descanso). Al inicio de cada ciclo de ceba, los animales fueron desparasitados, vitaminados y vacunados contra las enfermedades de control oficial y el agua se suministró mediante acueducto interno con hidrantes surtidores.

El modelo anterior se extrapoló a un área de 50 ha para cada pastura; con base en un carga de 4 animales.ha⁻¹, se obtiene un total de 200 animales que, en promedio, inician el proceso con un peso 262 kg. El precio de compra según la subasta comercial de la zona fue de \$4.700/kg de animal vivo. Una vez alcanzado el peso al sacrificio de los animales, que es de 450 kg, fueron vendidos en finca a \$4.500/kg de animal vivo.

Los costos incurridos en el establecimiento de las praderas del modelo de producción de carne por hectárea fueron de \$2.221.760. En este sentido, el componente de *insumos agrícolas* contribuyó con el 28,40 %, mientras que el establecimiento del sistema rotacional y el acueducto interno participaron con el 47,23 % y el 24,37 %, respectivamente (tabla 22).

Tabla 22. Costos de establecimiento de las praderas por hectárea

Concepto	Valor \$	Participación (%)
Insumos agrícolas	630.960	28,40
Cercas	1.049.300	47.23
Acueducto interno	541.500	24,37
Total costo establecimiento	2.221.760	100

Fuente: Elaboración propia

Los costos totales de producción incluyen costos directos e indirectos, los cuales, para el modelo de producción de 50 hectáreas, suman \$316.326.100 y \$315.292.100 para las fincas establecidas en AGROSAVIA Sabanera y Mombasa respectivamente (tabla 23). El mayor costo de producción observado en la finca establecida en *M. maximus* AGROSAVIA Sabanera se debió al mayor peso de los animales al momento de la compra, que representó un incremento de \$1.034.000 con relación al costo de producción de la finca establecida en *M. maximus* Mombasa. Dentro de los costos directos, la compra de animales, junto con el transporte y la licencia de movilización en ambas fincas, participaron con el 79%. Por otra parte, la mano de obra, la depreciación del establecimiento de la pastura y la suplementación mineral de los animales participaron con el 5,1, 3,5 y 2,6 % respectivamente. Los costos indirectos representaron el 9,0% del total de los costos de producción y fueron establecidos por el rubro de arrendamiento de la tierra y la depreciación de la infraestructura.

Tabla 23. Costos de producción de bovinos de ceba en una finca de 50 ha en el valle del Sinú

Concepto	AGROSAVIA Sabanera	Mombasa
Depreciación establecimiento praderas	\$11.108.800	\$11.108.800
Equipos y herramientas	\$1.098.400	\$1.098.400
Mano de obra	\$16.278.900	\$16.278.900
Compra de animales (\$4.700/kg)	\$250.270.000	\$249.236.000
Sanidad animal	\$930.000	\$930.000
Suplementación mineral	\$8.190.000	\$8.190.000
Costos directos	\$287.876.100	\$286.842.100
Costos indirectos	\$28.450.000	\$28.450.000
Total costo de producción	\$316.326.100	\$315.292.100

Fuente: Elaboración propia

Desempeño y coeficientes técnicos de producción obtenidos en el modelo de producción de carne

Los coeficientes técnicos que muestran el desarrollo y la dinámica de producción fueron utilizados para el análisis económico (tabla 24) y guardan relación con los resultados del cálculo económico, como puede apreciarse en la tabla 25.

Tabla 24. Parámetros productivos de bovinos de ceba en praderas de AGROSAVIA Sabanera y Mombasa en el valle del Sinú

Pastura	Ciclo ceba	Días experimental	Anim.ha ⁻¹	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	GDP (kg)	kg/ha/d	kg/ha/año
AGROSAVIA Sabanera	2013-2014	360	4	293,1	545,7	0,702	2,81	1.024,43
	2014-2015	336	4	219,9	463,5	0,725	2,90	1.058,50
	2015-2016	356	4	265,6	465,6	0,562	2,25	820,22
	2016-2017	392	4	273,2	452,6	0,458	1,83	668,17
	Promedio	361,0	4	263,0	481,9	0,612	2,4	892,8
Mombasa	2013-2014	360	4	296,4	536	0,666	2,66	971,71
	2014-2015	336	4	220	431	0,628	2,51	916,85
	2015-2016	356	4	268,8	442,8	0,489	1,96	713,60
		392	4	262,5	464	0,514	2,06	750,48
	Promedio	361,0	4	261,9	468,5	0,574	2,3	838,2

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los retornos económicos del modelo de producción de carne

Con base en la información económica y productiva recopilada en los cuatro ciclos de ceba en el modelo de producción de carne en praderas de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa se realizó el análisis de los retornos económicos, los cuales están contenidos en la tabla 25.

Tabla 25. Análisis de los retornos económicos del sistema de ceba de bovinos en 50 ha en el valle del Sinú

Ítem	AGROSAVIA Sabanera	Mombasa
Costos totales (\$)	316.326.100	315.292.100
Kg de carne comprados al inicio de ceba (\$4.700/kg)	52.600	52.380
Kg carne producidos durante ciclo (animal vivo pie)	44.676	41.902
Kg total de carne comercializado (animal vivo pie)	97.276	94.282
Precio kilo de carne de venta (\$)	4.500	4.500
Ingreso total (\$)	437.742.000	424.269.000
Ingreso neto (\$)	121.415.900	108.976.900
Utilidad neta/ha/año (\$)	2.428.318	2.179.538
Rentabilidad anual (%)	38,4	34,6
Rentabilidad mensual (%)	3,2	2,9
Costos kilo carne (\$)	3.252	3.344
Punto de equilibrio carne (kg)	70.295	70.065

Fuente: Elaboración propia

El modelo de producción de carne en praderas de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa es viable y rentable desde el punto de vista técnico y socioeconómico, debido a que los ingresos superaron los egresos. Sin embargo, el modelo de producción de carne en praderas de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera generó mayor utilidad y rentabilidad, y produjo el kg de carne a un menor costo. Estos resultados están relacionados con el mayor desempeño animal observado en el cv. AGROSAVIA Sabanera, el cual generó una mayor productividad por unidad de superficie.

Los ingresos totales en la finca establecida en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera fueron de \$437.742.000, generados por la comercialización de 97.276 kg con un valor por kg en pie de \$4.500, para un ingreso neto en las 50 ha de \$121.415.900 y \$2.428.318 por ha⁻¹, que representa una rentabilidad anual del 38,4% e indica que por cada peso invertido se recuperan y genera adicionalmente 38,4 centavos, mientras que los ingresos totales, los ingresos netos y la rentabilidad obtenida en *M. maximus* cv. Mombasa fueron inferiores en un 3,0%, 10,2% y 10,0% respectivamente.

El costo de producción de un kilogramo de carne en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera fue de \$3.252 y fue menor en un 2,8 % al costo de producción del kilogramo de carne en *M. maximus* cv. Mombasa. Esta disminución en el costo obedece a la diferencia en la productividad que existe entre las pasturas, la cual, al ser mayor en AGROSAVIA Sabanera, hizo que el costo unitario fuera menor. Al comparar los costos de producción con el precio de comercialización de un kilogramo en pie (\$4.500), se generó una ganancia de \$1.248 y \$1.155 por kilogramo producido en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y Mombasa respectivamente. Por otro lado, al relacionar el costo total empleado en la producción de los kilogramos en pie y el precio de comercialización del kilogramo en pie se estableció que el modelo de producción de carne en praderas de *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera debe producir 70.295 kg de los 97.276 kg comercializados para equilibrar los ingresos con los costos.

Conclusiones

El modelo de producción de carne con base en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera y cv. Mombasa es viable y rentable desde el punto de vista técnico y económico; sin embargo, la mejor respuesta animal y los mejores indicadores financieros fueron percibidos en *M. maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera, donde se observó una mayor producción de carne (892 kg carne en pie por ha.año⁻¹) y mayores ingresos por ha⁻¹ (\$2.428.318), lo que generó una rentabilidad anual del 38,4 % y logró producir el kilogramo de carne a un costo de \$92 menos. De esta manera, los resultados obtenidos le confieren al modelo ser sostenible y lo posicionan como una buena alternativa para mejorar los ingresos de los productores y la competitividad del sistema de ceba en el valle del Sinú.

Referencias

- Agreda, V. (1990). *Metodología para análisis económico de sistemas de producción*. San José de Costa Rica: Rispal.
- Mejía, K. S., Suárez, P. E., Atencio, S. L., Martínez, R. A., Tapia, C. J. J. ... Barragán, H. W. (2018). *Cultivar de pasto Guinea Megathyrus maximus* cv. AGROSAVIA Sabanera [Plegable divulgativo]. Cereté, Colombia: AGROSAVIA.

Los autores

Sergio Luis Mejía Kerguelen

Correo: smejia@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2498-756X>

Ingeniero agrónomo con maestría y doctorado en Ciencias Agrarias, con énfasis en Mejoramiento Genético de Plantas. Desde hace 21 años, trabaja en AGROSAVIA en el área de cultivos transitorios como maíz, del cual se han liberado comercialmente genotipos. En pastos y forrajes ha evaluado el potencial de producción y manejo de un gran número de gramíneas forrajeras que se adaptan al trópico bajo. Tiene amplia experiencia en programas de conservación de forrajes y producción de semilla básica y certificada de maíz y sorgo a nivel comercial. Investigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Emiro Suarez Paternina

Correo: esuarez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2271-7160>

Zootecnista de la Universidad de Sucre, Magister en Ciencias Veterinarias del Trópico, con énfasis en Alimentación y Nutrición de Rumiantes, de la Universidad de Córdoba. Trabaja en las líneas de investigación de alimentación, nutrición y producción de grandes y pequeños rumiantes; evaluación y manejo de gramíneas tropicales; conservación de cultivos forrajeros para la suplementación animal en el Caribe húmedo y, recientemente, en el área de ganadería sostenible. Investigador Máster de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Judith Martínez Atencia

Correo: jcmartinez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0492-2486>

Ingeniera Agrícola con maestría y doctorado en Ciencias Agrarias, con énfasis en Conservación de suelos, nutrición de plantas y agroforestería, de la Universidad Nacional de Colombia. Ha liderado proyectos de investigación sobre manejo y conservación de suelos y estimación de indicadores de servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles, forestales, agroforestales y agrícolas. Actualmente, es Investigadora PhD, adscrita a la Red de cultivos permanentes, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Liliana Atencio Solano

Correo: latencio@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>

Ingeniera agrónoma y Magister en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología Vegetal, de la Universidad de Córdoba. Ha trabajado en investigación, en las áreas de fisiología vegetal y mejoramiento genético de plantas, en los sistemas de producción de arracacha, maíz y gramíneas forrajeras. Actualmente, es Investigadora Máster y se encuentra vinculada a la Red de raíces y tubérculos de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diana Beatriz Sánchez López

Correo: dbsanchez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9715-4097>

Bacterióloga. Máster en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Ha trabajado en temas relacionado con el manejo y conservación de suelos, fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fósforo, biología del suelo, degradación de materia orgánica, aplicaciones de bioinsumos microbianos y biorremediación de suelos contaminados. Actualmente, es investigadora adscrita a la Red de raíces y tubérculos, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Juan Esteban Pérez García

Correo: jeperez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0695-5919>

Médico Veterinario Zootecnista con Especialización en producción bovina tropical de la Universidad de Córdoba. Doctor en Ciencias Veterinarias con énfasis en Mejoramiento genético animal del Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT), Habana, Cuba. Investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Hugo Ramón Cuadrado Capella

Correo: hcuadrado@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9607-9125>

Médico Veterinario de la Universidad de Córdoba con Maestría en Ciencias Ambientales. Recientemente, realizó un estudio preliminar del estado sanitario de ovinos en varias fincas en el departamento de Córdoba, donde se encontró, por técnicas de tinción, una nueva bacteria, cuya identificación se comprobará en la segunda fase del macro, mediante técnicas moleculares. Se trata del *Mycoplasma ovis*, otro agente causal de anemia en esta especie. Investigador Máster Asociado de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

José Luis Rodríguez Vitola

Correo: jlrodriguezv@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5095-1232>

Ingeniero Agrícola de la Universidad de Sucre. Ha trabajado en proyectos de investigación relacionados con la estimación de indicadores edáficos y fisiológicos de especies forestales en la región Caribe colombiana. Actualmente, es Profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de cultivos permanentes, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Lorena Angélica Aguayo Ulloa

Correo: laguayo@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3825-9515>

Médico Veterinario. Máster en Iniciación a la investigación en Ciencias Veterinarias y Doctora en Producción animal por la Universidad de Zaragoza, España. Ha trabajado en proyectos de investigación en transporte de ganado, sistemas productivos, y su relación con el bienestar animal y la calidad de la carne en rumiantes y cerdos. Actualmente, es Investigadora PhD de la Red de ganadería y especies menores, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Olga Mayorga Mogollón

Correo: lmayorga@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7872-6109>

Químico. Máster en Bioquímica y Doctora en Ciencias Agrarias con énfasis en Nutrición animal. Ha trabajado en proyectos de investigación en las siguientes líneas: cambio climático, Biofilms microbiales, enzimología, probióticos y prebióticos, microbiología ruminal, caracterización nutricional de materias primas, evaluación productiva y nutricional de recursos alimenticios, fisiología digestiva y ecología de microorganismos, bioquímica y biología molecular, alimentos y bebidas, ciencias animales y lechería. Actualmente, es investigadora Ph.D. de la Red de ganadería y especies menores, CI Tibaitá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Antonio María Martínez Reina

Correo: amartinezr@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9312-842X>

Economista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Doctor en Ciencias Económicas de la Universidad Autónoma de Baja California con experiencia docente e investigativa en el sector, y como evaluador de tecnologías agrícolas. Actualmente, es Investigador PhD. de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

José Jaime Tapia Coronado

Correo: jtapia@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3621-5316>

Ingeniero Agrónomo. Magíster en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología de cultivos de la Universidad de Córdoba, Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación y de transferencia de tecnología en cultivos transitorios (maíz, sorgo, algodón, frijol) y ganadería (recursos forrajeros y manejo del pastoreo). Actualmente, es Investigador Máster, adscrito a la Red de cultivos transitorios y agroindustriales con sede en el CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Lorena Inés Mestra-Vargas

Correo: lmestra@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3717-0153>

Médico Veterinario Zootecnista. Especialización en alimentación animal, MSc. Animal Science-Universidad Federal de Viçosa-Brasil con énfasis en Nutrición de rumiantes. Las líneas de trabajo e investigación de su interés se enfocan en evaluar modelos de producción animal, actuando principalmente en los siguientes temas: alimentación y exigencias nutricionales, evaluación de sistemas de formulación de raciones, evaluación de alimentos y eficiencia del uso de nutrientes para la producción sostenible del sistema de cría y ceba en pequeños y grandes rumiantes. Actualmente, es Investigadora MSc. de la Red de ganadería y especies menores, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Jazmín Vanessa Pérez Pazos

Correo: jvperez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1889-8248>

Bióloga. Estudiante maestría en Ciencias-Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación en microbiología agrícola y con bacterias promotoras de crecimiento vegetal y biología molecular en diferentes sistemas productivos en raíces y tubérculos. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrita a la Red de raíces y tubérculos del CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Jeyson Fernando Garrido Pineda

Correo: jfgarrido@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1405-1066>

Biólogo de la Universidad de Córdoba con experiencia en trabajos de investigación relacionados con micorrizas, fauna edáfica e indicadores fisiológicos en especies forestales y en sistemas silvopastoriles en la región Caribe colombiana. En la actualidad, se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación adscrito a la Red de ganadería, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Juan Carlos Fernández Niño

Correo: jcfernandez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4353-0525>

Médico Veterinario Zootecnista de la Universidad de Córdoba. Maestría en Ciencias Veterinarias del Trópico de la Universidad de Córdoba. Ha trabajado en proyectos de investigación relacionados con áreas de conocimiento en programas de mejoramiento genético y biotecnología animal. Actualmente, es Investigador Máster adscrito a la Red de ganadería y especies menores en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

Matiluz Doria Ramos

Correo: mdoriar@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8904-5368>

Medico Veterinario Zootecnista. Maestría en Ciencias Veterinarias del Trópico con énfasis en Salud animal, de la Universidad de Córdoba; ha trabajado en proyectos de transferencia MAPA, en la Red de ganadería ha estado vinculado a los proyectos de mejoramiento genético Romosinuano, estudios epidemiológicos del hato, en el CI Turipana. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Yacerney Paternina Paternina

Correo: ypaternina@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9046-5167>

Zootecnista. Especialización en nutrición animal de la Universidad de Sucre. Ha trabajado en asesoría en fincas en sistemas de producción de bovinos en doble propósito; capacitación formal en el Sena, en sistemas productivos de especies menores (aves y abejas) y bovinos. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrita a la Red ganadería, CI Turipaná, sede Carmen de Bolívar, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Ketty Isabel Ibáñez Miranda

Correo: kibanez@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5107-1827>

Ingeniera Agrónoma de la Universidad de Córdoba. Ha trabajado en proyectos de investigación relacionados con las áreas hortalizas, transitorios y forrajes. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación, adscrita a la Red de hortalizas del CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diego Andrés Medina Herrera

Correo: damedina@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1761-9777>

Médico Veterinario Zootecnista. Ha trabajado en proyectos de investigación en modelos de producción de carne, sistemas silvopastoriles, alimentación de rumiantes y calidad de la carne y la canal. Es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrito a la Red de ganadería y especies menores, CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Jorge Armando Mejía Luquez

Correo: jamejia@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0457-0441>

Medico Veterinario y Zootecnista de la Universidad de Córdoba con experiencia en reproducción, sanidad, nutrición y alimentación bovina, calidad de la carne y manejo de modelos sostenibles de producción de carne. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrito a la Red de ganadería y especies menores del CI Turipana de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Claudia Janeth Ariza Nieto

Correo: cariza@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9965-0625>

Investigador PhD. Sus áreas de interés en investigación y transferencia de tecnología para la producción animal en Colombia son: evaluación de la calidad nutricional y funcional de recursos alimenticios, utilizados en sistemas de alimentación; desarrollo de modelos nutricionales para aves, cerdos y bovinos y sistemas sostenibles de producción de rumiantes y monogástricos. Investigadora adscrita a la Red de ganadería y especies menores, CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Andrea Milena Sierra Alarcón

Correo: asierraa@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6725-2526>

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia. Ha participado en proyectos de investigación enfocados en la nutrición de rumiantes y la evaluación de pastos y forrajes en los sistemas de producción doble propósito, en el caribe seco colombiano; y de lechería especializada, en trópico alto. Ha trabajado en la evaluación de estrategias nutricionales durante la época crítica, y su efecto en la producción y calidad composicional de la leche y en las emisiones de metano entérico de rumiantes en pastoreo. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrita a la Red de ganadería y especies menores en el CI Tibaitatá, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Diana Marcela Parra Forero

Correo: dparra@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3734-0378>

Zootecnista. Ha apoyado proyectos de investigación relacionados con técnicas de medición de gases de efecto invernadero en bovinos; aditivos funcionales en ganado de leche en diferentes etapas productivas; apoyo en la generación de la plataforma AlimenTro para consulta de calidad composicional de recursos forrajeros, usados en la alimentación animal y en la generación de ecuaciones de predicción de calidad de forrajes, por medio de la espectroscopia de infrarrojo cercano. Actualmente, se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación vinculada a la Red de ganadería y especies menores en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Luis Alfonso Sánchez Rodríguez

Correo: lasanchezr@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3040-4458>

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Córdoba. Ha trabajado en proyectos de investigación relacionados con las áreas hortalizas, transitorios, específicamente en el cultivo de plátano en ladera, maíz y forrajes. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación, adscrito a la Red de hortalizas del CI Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Edgar Augusto Mancipe Muñoz

Correo: emancipe@agrosavia.co; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9831-673X>

Zootecnista, Especialista en Gestión Ambiental. Ha trabajado en proyectos de investigación en nutrición y alimentación de rumiantes, y en la evaluación de la dinámica de pastos y forrajes en trópico alto. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrito a la Red de ganadería y especies menores, CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura