

Modelo productivo

Tecnologías integrales para sistemas
de **producción de bovinos** de cría
en la altillanura colombiana

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Tecnologías integrales para sistemas de producción de bovinos de cría en la altillanura colombiana

Autores

Otoniel Pérez López
Guillermo Alonso Bueno G.
José Eurípides Baquero
Héctor Guillermo Onofre R.
Elizabeth Cassalett Bustillo
Adriana María Molina
Miguel Andrés Arango A.
Jose Guillermo Velásquez P.
Nubia Stella Rodríguez
Lina Margarita Moreno C.
Carol Viviana Amaya
Jaime Humberto Bernal R.
William Andrés Correal
Diego Mauricio Pabón
Mayra Alejandra Villalobos
José Henry Velásquez P.
Juan Carlos Fuentes

Junio de 2019
Villavicencio, Meta, Colombia

Modelo productivo tecnologías integrales para sistemas de producción de bovinos de cría en la altillanura colombiana / Otoniel Pérez López [y otros dieciséis]. -- Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2019.

209 páginas -- (Colección Transformación al Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos

ISBN E book: 978-958-740-268-1

1. Ganado bovino 2. Mejora de pastizales 3. Características morfológicas suelo 4. Nutrición animal 5. Forrajes 6. Sistemas silvopascícolas 7. Meta (Colombia)

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
AGROSAVIA

Sede Central, kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá.
Código postal 250047, Colombia

Centro de Investigación La Libertad, kilómetro 17
vía Villavicencio - Puerto López. Código postal
502007, Colombia

Esta publicación es posible gracias a los recursos del convenio de cooperación Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Corpoica-CIAT y de la Agenda Quinquenal de Corpoica ejecutados durante el periodo 2011 a 2017.

Colección: Transformación del Agro

Fecha de recepción: 21 de marzo de 2017

Fecha de evaluación: 8 de junio de 2018

Fecha de aceptación: 6 de agosto de 2019

Preparación editorial

Editorial Corpoica

editorial.corpoica@corpoica.org.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Luz Ángela Uscátegui Cuellar

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.corpoica.org.co/?w=corpo>

Citación sugerida: Pérez-López, O., Bueno, G. A., Baquero, J. E., Onofre, H. G., Cassalett-Bustillo, E., Molina, A. M. ... Fuentes, J. C. (2019). *Modelo productivo tecnologías integrales para sistemas de producción de bovinos de cría en la altillanura 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.



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

Contenido

Presentación	16
Introducción.....	18
Capítulo I.....	22
Capítulo II.....	28
Capítulo III.....	30
Localización.....	31
Área experimental	32
Construcción y adecuación de infraestructura para manejo animal	34
Componente de alimentación y nutrición animal	35
Mantenimiento y recuperación de praderas.....	35
Renovación de praderas con la estrategia cultivos-pastos.....	38
Producción y contenido nutricional del forraje de cultivos y suplementos	42
Producción y contenido nutricional de forraje de praderas	43
Establecimiento y manejo del componente arbóreo en arreglos silvopastoriles	46
Manejo del componente animal	57
Determinación de la variabilidad genética de bovinos.....	58
Manejo reproductivo de bovinos	67
Crecimiento predestete de bovinos	84
Edad y peso de monta en novillas	86
Comportamiento reproductivo de la vacada bajo el manejo integral.....	87
Manejo de la salud en bovinos de cría en la altillanura	89
Componente de suelos y ambiente	109
Efecto de las estrategias de manejo sobre la condición química del suelo	110
Efecto de las estrategias de manejo sobre la condición física del suelo ..	116
Muestreo y análisis de macrofauna del suelo.....	121
Diversidad funcional y taxonómica microbiana en suelos dedicados a la actividad ganadera	122
Flujo de gases de efecto invernadero y almacenamiento de carbono en suelos de sistemas ganaderos.....	129
Indicadores de ecoeficiencia en sistemas ganaderos	131
Evaluación financiera en sistemas de ganadería de cría en condiciones del CI Carimagua	156

Inversiones	157
Costos	161
Ingresos operacionales	162
Evaluación financiera	168
Conclusiones	174
Recomendaciones	176
Bibliografía	186

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica de la altillanura plana de la Orinoquia colombiana	23
Figura 2. Precipitación histórica en la altillanura plana de la Orinoquia colombiana (CI Carimagua) y en Puerto Carreño, Vichada (Banco de datos Agrosavia, CI La Libertad)	26
Figura 3. Diagrama del modelo de uso integral de los Oxisoles de la altillanura plana para los diferentes sistemas de producción	29
Figura 4. Estrategia tecnológica de manejo integral para sistemas de producción de ganadería bovina.....	31
Figura 5. Mapa de localización geográfica del Centro de Investigación Carimagua	32
Figura 6. a. Cercas en alambre de púas en la periferia de los potreros; b. Cerca eléctrica en las divisiones de los potreros.....	34
Figura 7. Instalación de bombeo. a. Estación con molino de viento y almacenamiento de agua; b. Bebedero para suministro de agua a bovinos de cría en el CI Carimagua.....	35
Figura 8. a. Panorámica de praderas degradadas; b. Práctica de labranza con rastra; c. Aplicación de fertilizantes con encaladora; d. Praderas bajo pastoreo después de la recuperación con prácticas integrales en el CI Carimagua.....	38
Figura 9. a. Cultivos de sorgo-soya; b. Maíz-soya para ensilaje; c. Praderas renovadas bajo la estrategia cultivos-pastos en el CI Carimagua	41
Figura 10. Altura (m) de tres especies arbóreas en arreglos de franjas en el CI Carimagua (2011-2017).	49
Figura 11. Diámetro a la altura del pecho (cm) de tres especies arbóreas establecidas en franjas en el CI Carimagua.....	50

Figura 12. Arreglo silvopastoril en franjas con el surco central que soportan la cerca eléctrica. a. Yopo; b. Mangium.	54
Figura 13. Análisis de componentes principales para diferenciación genética de dos poblaciones cebuínas, BRA (rojo) y BRC (verde), y cinco grupos de las razas criollas: romosinuano (fucsia), costeño con cuernos (gris), blanco orejinegro (negro), chino santandereano (amarillo) y Casanare (azul)	62
Figura 14. Análisis de componentes principales para diferenciación genética de dos poblaciones cebuinas: BRA (rojo) y BRC (verde)	63
Figura 15. Valores de validación cruzada para cada uno de los k valores de grupos asumidos para el análisis de estructura poblacional	65
Figura 16. Análisis de estructura poblacional de la raza brahman comercial (BRC) comparado con la raza pura (BRA) y con las razas taurinas criollas blanco orejinegro (BON), Casanare (CAS), chino santandereano (CHS), romosinuano (ROM) y sanmartinero (SAN).....	66
Figura 17. a. Toro reproductor cebú brahman en proceso de evaluación reproductiva; b. Colecta de semen con apoyo de electroeyaculador.....	69
Figura 18. Zonas de sombrío para bovinos. a. Polisombra al 80 %; b. Árboles establecidos en franjas.	70
Figura 19. a. Suplementación energético-proteica y mineral para bovinos en época seca en condiciones del CI Carimagua y b. Mansedumbre en lote de bovinos suplementados	71
Figura 20. Toros reproductores de las razas. a. Sanmartineros; b. Cebú Brahman	72
Figura 21. a. Procedimiento de toma de muestra de esmegma prepucial apoyado con venoclisis; b. Muestra para envío al laboratorio.	73
Figura 22. a. Procedimiento de toma de muestra sanguínea a nivel coccígeo y b. Muestras sanguíneas colectadas.....	74

Figura 23. a. Evaluación fenotípica de reproductores cebú brahman, b. Evaluación del tren posterior	74
Figura 24. Medición de la circunferencia escrotal	77
Figura 25. a. Toretas cebú brahman en prueba de desempeño en potrero; b. Evaluación en el corral.	79
Figura 26. a. Vacas de la raza cebú brahman bajo manejo integral en la altillanura colombiana; b. Lote de vacas con sus crías.	81
Figura 27. Novillas destetas. a. BON x cebú; b Cebú, en pastoreo de B. dictyoneura en condiciones de la altillanura.....	86
Figura 28. Evaluación del estado reproductivo de hembras bovinas. a. Palpación; b. Ecógrafo.....	86
Figura 29. a. Termo de conservación de semen; b. Práctica de inseminación artificial.	89
Figura 30. Promedio en los recuentos de hemilado de garrapatas y moscas en bovinos de cría del CI Carimagua (2011-2017).	92
Figura 31. Comparación del promedio de recuentos de garrapatas y moscas entre bovinos de T1 pastoreo (M1) y T2 pastoreo + suplemento (M2) en el sistema de cría del CI Carimagua (2011-2017).	93
Figura 32. Anaplasma marginale en bovinos del CI Carimagua	98
Figura 33. Eimeria zuerni en bovinos del CI Carimagua	100
Figura 34. Moniezia spp. en bovinos del CI Carimagua	100
Figura 35. Toxocara spp. en bovinos del CI Carimagua	101
Figura 36. Carbono total en el suelo (%) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).	113
Figura 37. pH en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).....	114

Figura 38. Calcio en el suelo (cmol.kg^{-1}) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)	115
Figura 39. Magnesio en el suelo (cmol. Kg^{-1}) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)	115
Figura 40. Fósforo en el suelo (mg.kg^{-1}) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)	116
Figura 41. Mesoporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).....	118
Figura 42. Macroporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).....	119
Figura 43. Microporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).....	120
Figura 44. Toma de muestras para conteo e identificación de macrofauna del suelo. a. Selección del sitio; b. Excavación; c. Extracción del monolito; d. Selección; e. Conservación de especímenes.	122
Figura 45. Ordenación multivariante NMDS de la diversidad funcional de la comunidad de microorganismos medida con Biolog EcoPlates: a. 24 h postinoculación; b. 48 h postinoculación; c. Ordenación multivariante NMDS del total de los resultados obtenidos a las 24 y 48 h en los Biolog EcoPlates.....	125
Figura 46. Ordenación multivariante NMDS de la abundancia relativa de individuos por sistema con respecto a los resultados del perfil de ácidos fosfolipídicos.....	127
Figura 47. Técnica de la cámara cerrada: a. Instalación de la base de la cámara cerrada en los sistemas evaluados; b. Cámara cerrada al momento de la toma de muestras de gases; c. Viales al vacío	130
Figura 48. Flujograma para estimación del indicador (IND).....	132

- Figura 49.** Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables químicas evaluadas en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 %..... 135
- Figura 50.** Indicador de fertilidad en un Oxisol bajo diferentes estrategias de manejo en un sistema de ganadería de cría en la altillanura..... 137
- Figura 51.** Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables físicas en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 %..... 139
- Figura 52.** Indicador (IND) de función hídrica en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura 140
- Figura 53.** Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables de macrofauna del suelo en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 % 142
- Figura 54.** Indicador (IND) de biodiversidad (macrofauna del suelo) en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura..... 143
- Figura 55.** Nidos formados por termitas en el sistema de pastura de *B. dictyoneura* en el CI Carimagua: a. Termitero; b. Galerías formadas por las termitas que sirven como reservorios para otros organismos; c. Termitas en montículos; d. Galerías o túneles encontrados en el interior de los montículos 144
- Figura 56.** Turrículos formados por lombrices de tierra en el sistema de pastura de *B. dictyoneura* en el CI Carimagua: a. Estructuras biogénicas o turrículos; b.

Túneles formados por las lombrices y desarrollo de raicillas; c y d. Lombrices encontradas en el interior del turrículo	145
Figura 57. Emisiones de GEI ($\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ periodo}^{-1}$) cuantificadas en los sistemas evaluados en el segundo periodo de los años 2013 y 2014.....	149
Figura 58. Indicador (IND) de regulación climática (GEI) en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura plana	150
Figura 59. Indicador asociado al almacenamiento de carbono en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura plana colombiana	152
Figura 60. Indicadores del año 2012: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); AC (acumulación de carbono).....	154
Figura 61. Indicadores del año 2013: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); GEI (gases de efecto invernadero); AC (acumulación de carbono).....	155
Figura 62. Indicadores del año 2014: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); GEI (gases de efecto invernadero); AC (acumulación de carbono).....	155
Figura 63. Regresión lineal asociada al comportamiento de los ingresos generados en un periodo de 10 años en un sistema de bovinos de cría manejados bajo pastoreo (T1).....	167
Figura 64. Regresión lineal asociada al comportamiento de los ingresos generados en un periodo de 10 años en un sistema de bovinos de cría manejados bajo pastoreo + suplementación en época seca (T2)	168

Lista de tablas

Tabla 1. Perfil de suelos y algunas características químicas y físicas de un Oxisol de textura franca en la altillanura colombiana	25
Tabla 2. Sistemas o estrategias de manejo del suelo y año de intervención en el lote La Manga del CI Carimagua (2011-2017).....	33
Tabla 3. Requerimientos (kg/ha) de fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre para algunas especies de gramíneas y leguminosas de pastoreo en suelos ácidos	37
Tabla 4. Producción (t/ha) y contenido nutricional (%) de forraje verde de cultivos de maíz, sorgo y soya en el CI Carimagua (2011-2017)	43
Tabla 5. Producción de forraje de pasto llanero (<i>B. dictyoneura</i>) y pasto Toledo (<i>B. brizantha</i>) a los tres meses después de la recuperación (mecanización + fertilización) y la renovación (cultivos-pastos) en el CI Carimagua (2011)	44
Tabla 6. Producción y contenido nutricional del forraje de praderas de pasto llanero (<i>B. dictyoneura</i>) y pasto Toledo (<i>B. brizantha</i>) en época de lluvia y seca en el CI Carimagua (2011-2017).....	45
Tabla 7. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de tres especies en arreglo de franjas en Carimagua (2011-2017).....	47
Tabla 8. Volumen de madera (m ³ /ha) de tres especies forestales en arreglo de franjas a los 72 meses de edad en el CI Carimagua	52
Tabla 9. Parámetros y fórmulas utilizados para realizar cálculos de variables dasométricas y ambientales	52
Tabla 10. Variación de factores climáticos en la mañana (9 a. m.) y en la tarde (1 p. m.) en áreas de sombrío de los bovinos en condiciones del CI Carimagua	56

Tabla 11. Variación de factores ambientales de acacia, yopo y cañofistol en la mañana y en la tarde bajo sombra vs. pradera a libre exposición solar en condiciones del CI Carimagua	57
Tabla 12. Variantes alélicas encontradas para 11 microsatélites en una población de 55 bovinos de raza cebuína en condiciones del CI Carimagua (2011).....	59
Tabla 13. Animales del grupo brahman comercial (BRC) que se encontraron a mayor distancia del grupo general de BRA y BRC y las coordenadas en el componente 1 (C1) y el componente 2 (C2)	64
Tabla 14. Valores de membresía para el grupo de animales de la raza brahman comercial cuando se estimaron $k = 5$ grupos o clústeres	67
Tabla 15. Comportamiento de la calidad espermática del bovino cebú adulto con y sin sombra en época seca en la Orinoquia	69
Tabla 16. Características a considerar para la selección de toros reproductores	75
Tabla 17. Caracterización de la libido de acuerdo con el tiempo de la respuesta eyaculatoria	76
Tabla 18. Criterios para determinar el comportamiento sexual en toros reproductores en función de la motilidad espermática	76
Tabla 19. Criterios para determinar el comportamiento sexual de toros reproductores en función de la morfología espermática	76
Tabla 20. Interpretación de los indicadores de calidad espermática y circunferencia escrotal.....	77
Tabla 21. Fertilidad y desarrollo de crías de vacas cebú manejadas con estrategias de alimentación en periparto en la altillanura	82
Tabla 22. Actividad reproductiva de novillas cebú con estrategias alimenticias en época seca en la altillanura colombiana	83
Tabla 23. Peso (kg) al destete ajustado a 9 meses de machos y hembras de raza BON x cebú y cebú x cebú en condiciones del CI Carimagua (2011-2017)	85

Tabla 24. Edad (mes) y peso (kg) al primer servicio de hembras BON x cebú en condiciones del CI Carimagua	87
Tabla 25. Propiedades químicas y metodologías utilizadas en laboratorio...	110
Tabla 26. Análisis de varianza realizados para el contenido de nutrientes en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo en el CI Carimagua (2011-2016)	112
Tabla 27. Análisis de varianza para las variables físicas de un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo en el CI Carimagua (2011-2016)	117
Tabla 28. Índices de biodiversidad calculados de acuerdo con el uso de substratos de carbono en los Biolog EcoPlates	125
Tabla 29. Índices de biodiversidad en diferentes sistemas calculados con base en el análisis de perfil de ácidos fosfolipídicos.....	127
Tabla 30. Inversiones anuales durante 10 años en sistemas ganaderos de cría (T1 y T2) en condiciones del CI Carimagua.....	158
Tabla 31. Valor unitario y total de inversiones según sistema de manejo integral de bovinos cría en condiciones del CI Carimagua (000 COP).....	159
Tabla 32. Costos de producción (000 COP) por sistema de producción para el año 1	161
Tabla 33. Valor de ventas (000 COP), peso promedio (kg) y número de bovinos vendidos según grupo etario y tratamiento	163
Tabla 34. Valor de excedentes de ensilaje (000 COP) y cantidades (t) vendidas por año y por tratamiento.....	164
Tabla 35. Total de ingresos (000 COP) generados en sistemas de bovinos cría manejados bajo pastoreo (T1) y pastoreo + suplementación estratégica (T2)	166
Tabla 36. Flujo de caja (000 COP) de un sistema de bovinos cría manejado bajo pastoreo (T1) en condiciones del CI Carimagua.....	170

Tabla 37. Flujo de caja (000 COP) de un sistema de bovinos cría manejados bajo pastoreo + suplementación en época seca en condiciones del CI Carimagua	171
Tabla 38. Indicadores financieros por sistema de producción de bovinos de cría cuantificados a 6 y 10 años en condiciones del CI Carimagua.....	172

Presentación

En la altillanura colombiana la ganadería de cría se caracteriza por una limitada adopción tecnológica que genera bajos índices zootécnicos, de productividad y, en algunos casos, efectos negativos sobre la biodiversidad. Con el objetivo de ampliar el conocimiento y mejorar la competitividad y la sostenibilidad de la ganadería de cría en la región, en el Centro de Investigación Carimagua de AGROSAVIA en Puerto Gaitán, Meta, se implementaron en forma integral estrategias tecnológicas de manejo, generadas previamente en esta sede y en otros ambientes, para los sistemas de producción bovinos para ser evaluadas, validadas y valoradas productiva, ambiental y económicamente. El componente animal se distribuyó en dos lotes: (T1) testigo en pastoreo de *Brachiaria dictyoneura* y (T2) en pastoreo de *B. dictyoneura* + suplementación en época seca (con base en ensilaje de maíz-soya y sorgo-soya y un suplemento balanceado). El componente de pastos correspondió a 70 ha que fueron adecuadas y manejadas bajo pastoreo rotacional en 27 potreros, adicionalmente se incorporaron 3,4 ha en arreglos forestales, como cercas vivas (franjas) y bosquetes. Además, se consideró el manejo de aspectos como la genética, la reproducción, la salud animal y la gestión empresarial. Se monitorearon variables sobre el suelo (física, química, biología), praderas, cultivos (producción y calidad), especies arbóreas y animales (productivas, reproductivas y salud). El manejo implementado, el registro y el análisis de la información permitieron generar indicadores zootécnicos, ambientales y económicos, y recomendaciones replicables para la zona de influencia del estudio.

Los resultados del trabajo demostraron que la ganadería de cría puede mejorar sus indicadores zootécnicos en el mediano a largo plazo, que se reflejan en incrementos en la natalidad (68-77 %), reducción en la mortalidad de adultos (0,7-1,4 %) y jóvenes (2,4-3,3 %), peso al destete (175-193 kg), intervalos entre partos de 482-552 días, con capacidad de carga de 1,8-2,2 unidades de gran ganado (UGG) por hectárea. A los 72 meses de siembra en campo, las especies forestales integradas en arreglos silvopastoriles *Acacia mangium*, *Cassia grandis* y *Piptadenia opacifolia* alcanzaron alturas de planta de 9,6, 5,5 y 7,9 m, y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 84,4, 44,4 y 54,4 cm respectivamente. En corto tiempo el desarrollo de estos árboles permitió ofrecer

confort a los bovinos, con efectos favorables sobre los suelos y los pastos. La funcionalidad de comunidades de macroinvertebrados y microorganismos en los ecosistemas estudiados fue diferente: con las prácticas de manejo aplicadas, especialmente en las praderas, se incrementaron la biodiversidad y la dominancia de especies de macroinvertebrados y no se observaron efectos degradativos desde el punto de vista microbiológico con respecto a aquellas presentes en áreas menos intervenidas (sabana nativa). Los tratamientos con cultivos (sorgo, maíz y soya), pastos (toledo y llanero) y arbóreas fueron los sistemas con mayor emisión de gases de efecto invernadero (GEI), en contraste con el bosque, que presentó el menor valor. Los cultivos forrajeros (maíz, sorgo y soya) mostraron su importancia en la producción de forraje (ensilaje) como complemento a la limitada oferta alimenticia que se presenta en la época seca. En relación con el manejo de suelos en el corto plazo, se observó una mejora de las condiciones químicas y físicas; sin embargo, en el mediano plazo (tres años) se aprecia un deterioro en las características físicas, especialmente por el incremento en la compactación o adensamiento del suelo, que retorna a la condición inicial de la sabana nativa dando validación a la teoría de la resiliencia de los suelos, condición que evidencia la importancia de incluir prácticas como la incorporación de materia orgánica y la labranza profunda para mantener un suelo con mejores condiciones para los sistemas de producción.

La información es resultado del trabajo desarrollado en el Centro de Investigación (CI) Carimagua sobre manejo integral de ganadería bovina de cría, financiado con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) a través del convenio de cooperación entre el MADR, Corpoica y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y de la Agenda Quinquenal de Corpoica (ahora AGROSAVIA).

Introducción

La población bovina en Colombia, para el año 2016, fue de 23,47 millones de animales, y en la Orinoquia, de 4,92 millones de animales (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017), con el 53 % orientado a la producción de carne, donde el cebú es la raza predominante, el 42 % al doble propósito, cuya base genética es el cebú, y el 5 % a la producción de leche con animales *Bos taurus*. La dominancia del cebú se debe a su adaptabilidad al trópico; sin embargo, su gran limitante son los bajos índices reproductivos, evidenciados en largos intervalos parto-primer servicio y parto-concepción, superiores a los 120 días (Basurto, 2005), situación que conduce a intervalos entre partos superiores a 450 días, lo que no satisface la meta de un parto por año (Basurto, Ramírez, Zheng & Siddique, 1996).

En la Orinoquia, los sistemas de producción bovina basan su alimentación en los pastos nativos e introducidos, principalmente del género *Brachiaria*, en praderas con alto grado de degradación que pueden alcanzar el 70 % de las áreas de pastoreo. Esto trae como consecuencia: baja disponibilidad (< 700 kg/MS/ha) y calidad de los forrajes, representados por el alto contenido de fibra (> 65 % FDN), la baja concentración de proteína (< 7 %) y carbohidratos no estructurales, baja digestibilidad (< 60 %) y desbalance de minerales, factores que afectan el consumo voluntario de los bovinos, que no alcanzan a llenar los requerimientos de nutrientes para producción.

La ganadería de cría en la altillanura se caracteriza por presentar deficientes indicadores productivos y reproductivos (natalidad < 55 %, mortalidad en jóvenes del 10 %, peso al destete < 160 kg y edad al primer parto > 40 meses), con predominio del cebú. Esta situación es un reflejo de la interacción de varios factores, y entre los más importantes se encuentran las influencias medioambientales, la calidad genética del ganado, la estacionalidad en la calidad y disponibilidad de los forrajes y el tradicionalismo en los sistemas de manejo (Alberio, 2014).

La reducción de la fertilidad en el hato se asocia con aumentos en la temperatura y la humedad relativa del ambiente, la baja disponibilidad de nutrientes y la elevación en la temperatura corporal, que conllevan fallas en la función gonadal,

el funcionamiento de gametos, el desarrollo embrionario, el crecimiento placentar y fetal y en la función reproductiva posparto (Thatcher, Santos, Silvestre, Kim & Staples, 2010). Los factores ambientales igualmente impactan en forma negativa el crecimiento y el desarrollo de los animales después del destete incrementando la edad del animal al inicio de la actividad sexual, la pubertad y, por consiguiente, al primer parto y a su reactivación ovárica.

El manejo reproductivo de bovinos está orientado a mejorar los parámetros reproductivos, buscando alcanzar así una máxima eficiencia para garantizar el retorno económico. La búsqueda de elevados índices de producción asociados con una alta eficiencia reproductiva deben ser las metas fijadas por los productores para mejorar su productividad y lograr un satisfactorio retorno económico, proceso que se da en la medida en que se superan factores como las deficiencias del nivel nutricional y de manejo de los animales en cada uno de los establecimientos (Arthur, Noakes, Pearson & Parkinson, 1996). En este sentido, el manejo estratégico de aspectos como la nutrición, el silvopastoreo, el manejo reproductivo y la bioestimulación se han mostrado como alternativas individuales para incrementar el número de animales productivos en el hato. Adicionalmente, se ha comprobado que el uso estratégico de los cruzamientos de bovinos criollos y europeos con el cebú ha permitido mejorar la producción, en comparación con la del cebú comercial. Investigaciones realizadas en la Orinoquia demuestran la superioridad de los híbridos del criollo (sanmartinero, romosinuano y BON) y otros *Bos taurus* (simmental, limousin) con cebú comercial, representadas en mejores ganancias de peso antes y después del destete, menor edad al sacrificio y rendimientos en canal similares o superiores al cebú (Bueno & Gamba, 2002; Martínez, 2006; Flórez & Bueno, 2008).

El enfoque actual en la altillanura se orienta a cambiar gradualmente la ganadería extensiva a través de la intensificación sostenible de los sistemas de producción con bajo impacto sobre el ambiente. Se busca el desarrollo de explotaciones que promuevan la mejora de los pastos, el cultivo de plantas forrajeras y la plantación de árboles, el manejo animal y la gestión empresarial, con el propósito de ofrecer mayores beneficios socioeconómicos y oportunidades para la conservación de la biodiversidad y de mejorar el bienestar animal, al tiempo que el ambiente local y global se beneficia a través de la creación de

reservas estables de carbono (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] 2011). En este sentido, el potencial de mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI) más importante se encuentra en los sistemas de producción de rumiantes que tienen una baja productividad. Parte del potencial de mitigación se puede lograr mediante prácticas relacionadas con la mejora de la alimentación, la sanidad animal y el manejo del hato (Gerber et al., 2013).

Para Rivera et al. (2013a), el impacto ambiental de la producción agropecuaria en ecosistemas frágiles de sabana depende de cómo se logre el incremento de la producción, la cual se puede dar mediante la ampliación de las zonas agrícolas y ganaderas, la adición de áreas nuevas para la producción agropecuaria o mediante la intensificación.

Con base en el conocimiento generado y las tecnologías disponibles actualmente es posible ampliar la frontera agropecuaria en la altillanura vinculando extensas áreas de sabana a la producción, con una visión agroempresarial, para obtener mayores rendimientos a través de la aplicación integrada de tecnologías tales como las semillas de cultivos (variedades e híbridos) o las razas animales adaptadas, el uso racional de insumos y bioproductos y la mejora de prácticas de manejo del sistema, entre otras innovaciones. Un ejemplo es la mejora en la fertilidad natural del suelo mediante la integración de la ganadería y la agricultura a través de sistemas agropastoriles y con el uso de leguminosas adaptadas. De esta manera, se proporcionan mayores rendimientos en los cultivos con una menor cantidad de fertilizantes nitrogenados (Tilman, Balzer, Hill & Befort, 2011, citado por Rivera, Amézquita, Rao, Corrales & Chávez, 2013b) y con mejores indicadores en los sistemas ganaderos que se desarrollan en áreas intervenidas bajo este esquema.

Con el objeto de contribuir a mejorar la competitividad y la sostenibilidad de la ganadería de cría en la altillanura, en el CI Carimagua se desarrolló la implementación y el monitoreo, durante seis años, de estrategias de manejo integral de bovinos de cría generadas en esta sede y en otras zonas del país para sistemas ganaderos, con tecnologías como: uso y manejo de recursos forrajeros y arbóreos, sistemas integrados (agrosilvopastoriles), suplementación

estratégica, manejo animal (genética, reproducción y salud) y gestión empresarial. Se monitorearon variables sobre el suelo (física, química y biología), las praderas, los cultivos (producción y calidad), las especies arbóreas y animales (productivas, reproductivas y salud), así como la toma y el análisis de registros.

Este trabajo consideró aspectos metodológicos de *modelo físico* para la validación y el ajuste de tecnologías en sistemas agropecuarios, orientado a aumentar la productividad y la rentabilidad, asegurar la sostenibilidad y garantizar la distribución equitativa de los resultados de la producción (Norman et al., 1996, citado por Bonza, 2014). Para lograr el manejo integral de la ganadería se consideraron alternativas y recomendaciones tecnológicas que han sido desarrolladas en la región con el objetivo, en el mediano y largo plazo, de mejorar los parámetros productivos y reproductivos de los bovinos de cría. La implementación de las estrategias tecnológicas demostró que es posible obtener, en las condiciones edafoclimáticas de la altillanura, una producción animal más eficiente, competitiva y sostenible de la cría y ceba de ganado. Con este trabajo fue posible alcanzar indicadores como carga de 1,8-2,2 animales por hectárea, tasas de natalidad del 68-77 %, mortalidad en adultos < 3 % y en jóvenes < 5 %, peso al destete entre 175-193 kg, intervalo entre partos (IEP) entre 482-552 días y edad al primer parto entre 28 y 34 meses.

La información consolidada en este documento, en términos metodológicos y de resultados, se espera que sirvan de guía para orientar a los productores, los asistentes técnicos, los tomadores de decisiones y los académicos, entre otros, en la implementación de acciones de mejora para los sistemas de producción ganadera en el territorio.

Capítulo I.

Características generales de la altillanura plana colombiana

Las sabanas tropicales, con un área cercana a los 1.150 millones de hectáreas (Mha), son consideradas en la actualidad como uno de los más importantes biomas del mundo para la producción de materias primas, alimentos y servicios ambientales para la humanidad. En América del Sur este bioma comprende cerca de 270 millones de hectáreas, representadas en los Llanos Orientales de Colombia (6,3 %), Llanos de Venezuela (11 %), el Cerrado de Brasil (76,2 %), las sabanas de Bolivia (5 %) y las sabanas en Guyana (1,5 %) (Sánchez & Salinas, 1983; Muzilli, 1994; Amézquita et al., 2013). En nuestro territorio estas sabanas tropicales se encuentran principalmente en la Orinoquia colombiana y ocupan un área aproximada de 17 Mha, en paisajes que incluyen la altillanura plana, la altillanura ondulada, la serranía y los bosques de galería (Mejía, 1996). Los cerrados brasileiros y la altillanura plana son dos ecosistemas que han logrado, en diferente medida, ser introducidos al desarrollo productivo, lo cual permite ampliar las fronteras agrícolas con aportes importantes al sector financiero, agropecuario y social en sus respectivos países.

Es importante reseñar que, aunque existen grandes similitudes geomorfológicas entre la altillanura plana de la Orinoquia colombiana y los cerrados brasileiros, también hay diferencias importantes en sus aspectos pedológicos, climáticos y litológicos que generan distintas características físicas y químicas en el suelo y, por ende, en la potencialidad productiva y el manejo de sus suelos (Rodríguez, Rubiano, Silva & Rodrigues, 2010). Por ello es necesario establecer manejos diferenciales de los sistemas productivos en cada región y evitar la extrapolación de resultados y productos tecnológicos obtenidos en estas zonas sin previos trabajos de validación.

La altillanura colombiana, con una extensión aproximada de 13.455.660 ha, se ubica en la margen derecha del río Meta, desde Puerto López hasta Puerto Carreño y los límites con los ríos Guaviare y Orinoco, y está compuesta por tres

unidades fisiográficas: plana, ondulada y serranía. De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2002) a una escala 1:500.000 la altillanura plana presenta una extensión de 4.255.000 ha (figura 1). Por otra parte, el Conpes (Departamento Nacional de Planeación, 2014) reporta un área de 2.800.000 hectáreas que excluyen las zonas destinadas a resguardos indígenas, bosques naturales, áreas prioritarias de conservación y de la Reserva de la Biósfera del Tuparro. Esta subregión tiene un uso predominante en ganadería bovina extensiva-extractiva. La parte ondulada y la serranía abarcan 9.200.660 ha con suelos poco aptos para mecanización por su topografía y su composición mineral (Corpoica & IGAC, 2002).

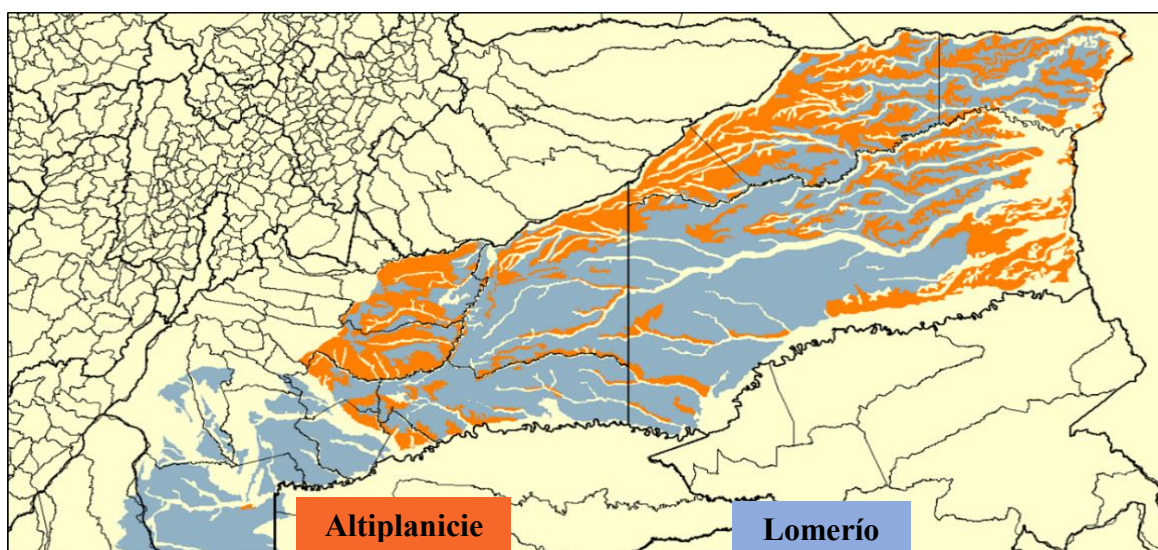


Figura 1. Localización geográfica de la altillanura plana de la Orinoquia colombiana

Fuente: Pérez et al. (2017)

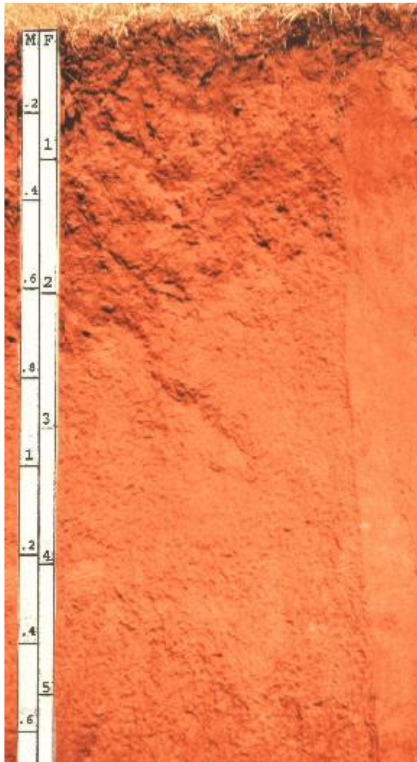
De acuerdo con el IGAC (2002), la altillanura plana se caracteriza por presentar un relieve plano a ligeramente ondulado (pendientes menores del 7 %), con un complejo de suelos ácidos en donde predominan los Oxisoles y Ultisoles (Soil Survey Staff, 1994), con algunos Inceptisoles y Entisoles en baja proporción.

Las características climáticas y de suelos de la altillanura colombiana se encuentran relacionadas con los diferentes procesos y factores formadores de

los suelos de la Orinoquia colombiana, los cuales se describen ampliamente en diferentes documentos: Gossen (1971); Barrero (1979); Gallagher y Tauvers (1988); González, Escobar y Lachica (1988); Toussaint (1993); Dengo y Covey (1993); Cooper et al. (1995); IGAC (1995); IGAC (2000); IGAC (2002); Mejía (1996); Amézquita et al. (1997); Rippstein, Serna y Escobar (2001) y Amézquita et al. (2013). Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales sedimentarios, se caracterizan por tener un complejo coloidal inorgánico con arcillas de baja actividad, avanzado estado de meteorización de sus materiales, fuerte acidez, intenso lavado de bases y sílice, muy bajo nivel de fertilidad y una aparente fragilidad (Mejía, 1996). La mayoría de los suelos son profundos (Oxisoles), bien drenados por efectos de escorrentía, de fertilidad muy baja y de alta saturación de aluminio. Su pH oscila entre 4,0 a 4,5 con contenidos muy bajos de materia orgánica (1,5 a 2,0 %), de fósforo ($1\text{-}2\text{ mg.kg}^{-1}$) y de bases intercambiables (Ca, Mg, K), las cuales son inferiores a $0,1\text{ cmol.Kg}^{-1}$ y saturaciones de aluminio intercambiable entre un 60 y 90 %; además son suelos con alta susceptibilidad a la erosión por el laboreo, la débil estructura, la baja actividad biológica y la biodiversidad (tabla 1).

En la altillanura, la topografía plana y las grandes extensiones permiten la mecanización de los suelos. La vegetación nativa dominante se caracteriza por una baja diversidad debido a que pocas especies se adaptan a las severas limitantes del suelo y a las condiciones ambientales existentes (Mejía, 1996; Amézquita et al., 1997; Rippstein et al., 2001; IGAC, 2002; Malagón, 2003; Amézquita et al., 2013; Rivera, Amézquita, Bernal & Rao, 2013a). Desde el punto de vista físico, los suelos naturalmente son adensados, con densidades aparentes que oscilan entre 1,4 a 1,65 g/cc y presentan texturas franco-arcillosas a arenosas; son frágiles ante los procesos de mecanización, con alta susceptibilidad a la compactación, la erosión y el sellamiento superficial, y presentan baja infiltración y baja capacidad de almacenamiento de agua.

Tabla 1. Perfil de suelos y algunas características químicas y físicas de un Oxisol de textura franca en la altillanura colombiana

	Indicador	Sabana nativa (0-30 cm)
	Densidad aparente (g/cm^{-3})	1,5
	Materia orgánica (%)	1,7
	Infiltración (cm/h^{-1})	1,0
	Capacidad de campo (humedad volumétrica, %)	21,0
	Punto de marchites (humedad volumétrica, %)	17,3
	Agua aprovechable (humedad volumétrica, %)	3,7
	Conductividad hidráulica (cm/h^{-1})	4,1
	Porosidad total (%)	40,5
	Resistencia a la penetración (Mpa)	1,7
	P (mg/kg^{-1})	1
	Ca (cmol/kg^{-1})	0,19
	Mg (cmol/kg^{-1})	0,07
	K (cmol/kg^{-1})	0,03
	Al (cmol/kg^{-1})	1,4
	Textura	Franca
	Arena (%)	45,0
	Limo (%)	37,5
	Arcilla (%)	17,5

Fuente: Banco de datos sobre análisis de suelos. AGROSAVIA, CI La Libertad.

La subregión de la altillanura plana se ubica entre 100 y 300 m s. n. m., la humedad relativa alcanza el 80 % durante la época de lluvias y entre 50 y 60 % durante la época seca, la precipitación oscila entre 1.500 y 2.500 mm/año, distribuida entre abril y noviembre (figura 2), y la temperatura media es de 27 °C, con máximas de 36 °C y mínimas de 21 °C (Amézquita et al., 2013; Rivera et al., 2013a).

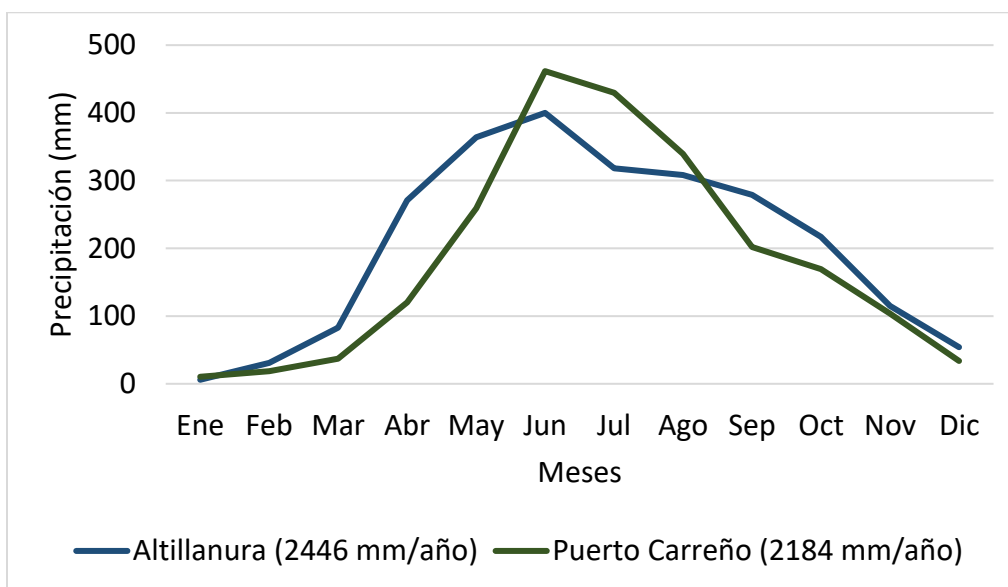


Figura 2. Precipitación histórica en la altillanura plana de la Orinoquia colombiana (CI Carimagua) y en Puerto Carreño, Vichada (Banco de datos AGROSAVIA, CI La Libertad)

Fuente: Pérez et al. (2017).

La altillanura plana es considerada en la actualidad como el área estratégica con mayor potencial para ampliar la frontera agropecuaria colombiana. La búsqueda de una producción agropecuaria sostenible y competitiva en la altillanura plana colombiana debe contemplar necesariamente la disponibilidad de suelos aptos, un factor limitante y complejo en esta región. Los procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, realizados por diferentes entidades nacionales e internacionales, han demostrado que es posible la producción de alimentos y materias primas en esta región de forma competitiva y ecoeficiente. La región, con tradición ganadera, ha utilizado para su desarrollo los avances tecnológicos generados en el manejo de suelos (Sánchez, 1976; Sánchez & Salinas, 1981; Sánchez, 1989), recursos genéticos en pastos y forrajes (Amézquita et al., 1997; Rincón, 1995; Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 1996; Pérez & Cuesta, 1992; Pérez, Rincón, Bueno, Vargas & Cuesta, 2000; Pardo & Pérez, 2010), cultivos transitorios de arroz, maíz, sorgo y soya (Torres, Navas, Pandey & León, 1994; Valencia, 1994; Valencia & Leal, 1996; Valencia et al., 1999; Narro, Pandey, León, Pérez & Salazar, 1999; Pérez,

Pérez, Rincón, Bueno & Mojica, 2003; Pérez y Bueno, 2010; Bernal, Rincón, Guevara & Hernández, 2014), suplementación animal (Medrano, Velásquez, Jiménez, Velásquez & Pérez, 2001; Velásquez, Jiménez, Medrano, Velásquez & Pérez, 2001), sistemas de producción (Rodríguez, Bautista, Días-Ávila, Rodrigues & Espinosa, 2015, Rincón et al., 2010) y, en forma más reciente, los avances encontrados con la integración de la agricultura, la ganadería y la forestería en sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles (Rincón, 1995; Amézquita et al., 1997; Valencia & Leal, 2004; Amézquita et al., 2013; Rodríguez et al., 2013; Gallo, Bernal, Baquero, Botero & Gómez, 2013; Bueno, Pérez, Cerinza & González, 2014; Bueno, Pardo, Pérez, Cerinza & Pabón, 2015), con lo cual la región se ha posicionado como una de las zonas con mayor potencial para la producción agropecuaria del país.

Capítulo II.

Antecedentes de la investigación agropecuaria en la altillanura plana

Desde las décadas del sesenta y el setenta, varios estudios mostraron la factibilidad de someter a Oxisoles y Ultisoles a una agricultura intensiva a pesar de los limitantes edáficos que los caracterizan (Sánchez & Salinas, 1983). De esta forma, la generación de conocimiento para introducir sistemas alternativos de producción para las sabanas tropicales en la altillanura, especialmente en el área de pastos y forrajes, se inició a finales de la década del sesenta con la consolidación, en los Llanos Orientales de Colombia, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el inicio del convenio con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Carimagua. Los trabajos iniciales se enfocaron en generar conocimiento sobre las sabanas tropicales e introducir y desarrollar germoplasma de pastos tropicales adaptados a suelos ácidos de baja fertilidad, con el objetivo principal de sustituir las pasturas nativas de baja producción de forraje por pasturas introducidas especialmente del género *Brachiaria* (Rivera et al., 2013a). A finales de los años ochenta la estrategia de investigación se direccionó hacia los sistemas agropastoriles: sistemas basados en la tecnología de pasturas introducidas asociadas al desarrollo de variedades de arroz y soya e híbridos de maíz adaptados a estos ecosistemas. En la década de los noventa y el inicio del siglo XXI se intensificó el uso de cultivos transitorios debido a una nueva generación de germoplasma de especies como maíz, arroz y soya para esta región, soportada en el uso intensivo de correctivos y fertilizantes. Este enfoque permitió la liberación y el uso de nuevos materiales forrajeros, cultivos transitorios y permanentes con mayor potencial de rendimiento para las condiciones de la altillanura. En la actualidad se avanza hacia la generación de modelos productivos integrales agropastoriles y agrosilvopastoriles con mayor productividad e impacto social y ambientalmente sostenibles (figura 3), cuyo reto fundamental es alcanzar un balance adecuado en términos económicos, sociales y ambientales. Se espera que la comprensión e interpretación integral de las funciones e interacciones de los diferentes componentes de los sistemas contribuyan a optimizar la productividad en forma sostenible.

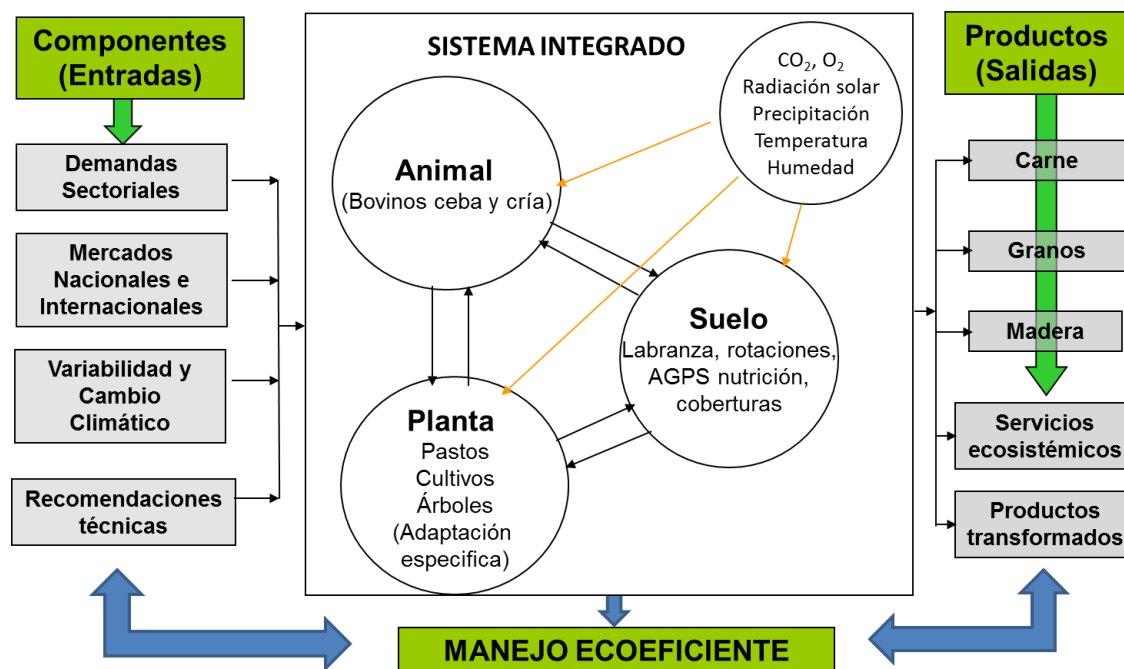


Figura 3. Diagrama del modelo de uso integral de los Oxisoles de la altillanura plana para los diferentes sistemas de producción

Fuente: Pérez et al. (2017).

Capítulo III.

Metodología, resultados y discusión

Entre 2011 y 2017 se desarrolló, en el Centro de Investigación Carimagua de AGROSAVIA, un estudio de generación, ajuste y validación de tecnología de manejo integral del sistema de ganadería de cría en condiciones de la altillanura; en la mayoría de los casos, sus efectos sobre el sistema de producción habían sido cuantificados o valorados de manera individual o separada. Entre las tecnologías que se consideraron están: los sistemas integrados (agrosilvopastoriles), el manejo de suelos (labranza, correctivos y fertilización), las prácticas de uso y manejo de recursos forrajeros (praderas y cultivos transitorios) y arbóreos, la suplementación estratégica, el manejo animal (genética, reproducción y salud) y la gestión empresarial (figura 4). Se monitorearon variables sobre el suelo (física, química, biología y gases de efecto invernadero); praderas y cultivos (producción y calidad de forraje); arbóreas (dasométricas); animales (productivas, reproductivas y salud) y toma y análisis de registros técnicos y económicos. La metodología seguida, los resultados y su análisis se describen, por componente, a continuación.



Figura 4. Estrategia tecnológica de manejo integral para sistemas de producción de ganadería bovina
Fuente: Pérez et al. (2017).

Localización

El trabajo se desarrolló en el CI Carimagua, ubicado en el municipio de Puerto Gaitán (Meta), a 320 km de Villavicencio, con latitud $4^{\circ}40'22,5''$ – $4^{\circ}27'11,3''$ N y longitud $71^{\circ}23'51,3''$ – $71^{\circ}6'51,4''$ W, perteneciente a la altillanura plana (figura 5). El área de estudio se encuentra a 150 m s. n. m., su climatología lo ubica dentro del bosque húmedo tropical (Bh/T), con una temperatura media de 26 °C, una precipitación media anual de 2.400 mm, con dos estaciones definidas, lluviosa (abril-noviembre) y seca (diciembre-marzo). Los suelos son Oxisoles desarrollados a partir de materiales sedimentarios, profundos y bien drenados, con alta saturación de aluminio, pH de 4,0 a 4,5, bajo contenido de materia orgánica, fósforo 1 a 2 ppm y bases intercambiables (Ca, Mg, K) inferiores a 1,0 cmol.kg⁻¹. La topografía del área de trabajo es plana y de fácil mecanización.

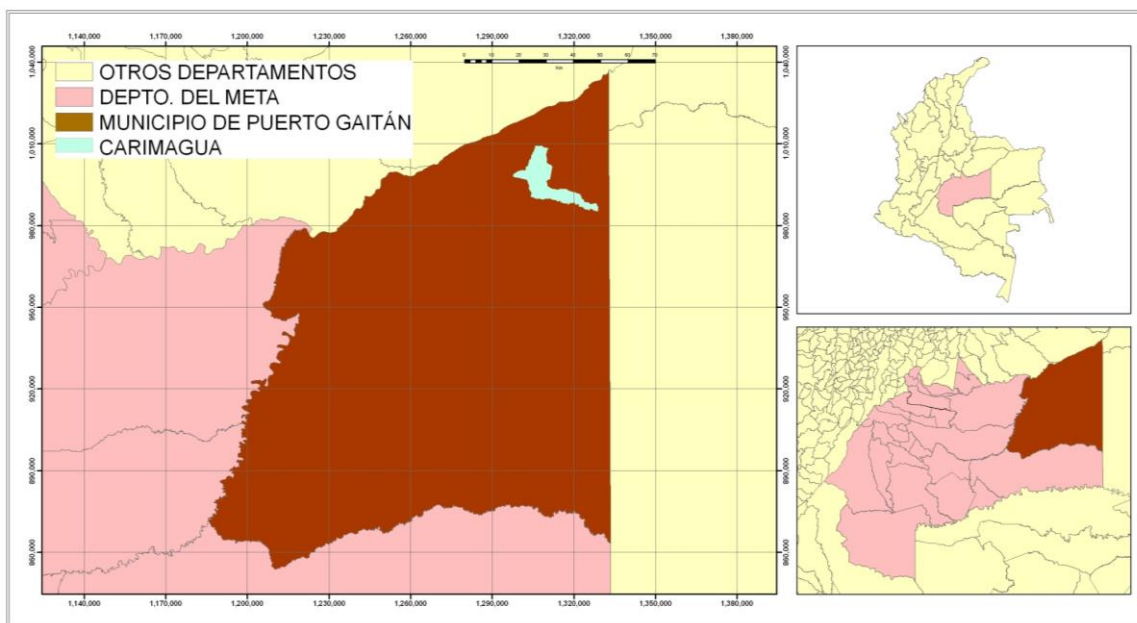


Figura 5. Mapa de localización geográfica del Centro de Investigación Carimagua
Fuente: Pérez et al. (2017).

Área experimental

En el 2011, se seleccionó en el CI Carimagua un lote de 70 hectáreas establecidas con *Brachiaria dictyoneura*, el cual presentaba degradación moderada, con baja oferta de forraje (< 700 kgMS/ha), procesos de compactación del suelo y presencia de termiteros (topias). A partir de una revisión general del lote se determinaron las necesidades, en términos de mantenimiento o renovación de praderas y de adecuación de infraestructura, para asegurar un manejo más tecnificado para la producción de ganadería de cría. Se evidenció la necesidad de realizar una inversión escalonada para la construcción y la adecuación de cercas perimetrales y divisorias, molino y redes hidráulicas, bebederos y saladeros y establecimiento de arbóreas, además de la renovación o mantenimiento de praderas (tabla 2).

Tabla 2. Sistemas o estrategias de manejo del suelo y año de intervención en el lote La Manga del CI Carimagua (2011-2017)

Sistemas	Intervención (año)	Parcela	Descripción
Pastura introducida 1	2011	9	<i>B. dictyoneura</i> con 1 pase de rastra + fertilización
Pastura introducida 2	2012	1	<i>B. dictyoneura</i> con 1 pase de cincel + fertilización
Cultivos y pastos 1 (Rotación 1)	2011 con maíz 2013 con soya	12A	Cultivos + pastos (Toledo + llanero) (2011 y 2013)
	2011 con soya 2013 con sorgo	12B	Cultivos + pastos (Toledo + llanero) (2011 y 2013)
Cultivos y pastos 2 (Rotación 2)	2011 con maíz 2015 con soya	13A	Cultivos + pastos (Toledo + llanero) (2011 y 2015)
	2011 con soya 2015 con sorgo	13B	Cultivos + pastos (Toledo + llanero) (2011 y 2015)
Cultivos-pastos 3 (Rotación 3)	2011 con pastura degradada 2012 con maíz y pastos	23	Cultivos + pastos (2012)
	2011 con pastura degradada 2012 con soya y pastos	24	Cultivos + pastos (2012)
Arbóreas	2011 con siembra 2014 con acceso a bovinos	25	Establecimiento de <i>A. mangium</i> en 2011
	2011 con siembra 2014 con acceso a bovinos	26	Establecimiento de <i>P. opacifolia</i> en 2011
	2011 con siembra 2014 con acceso a bovinos	27	Establecimiento de <i>C. grandis</i> en 2011
Bosques o parche de árboles espontáneos	2011 con acceso a bovinos	28	Sucesión del bosque (pequeño)
	2011 con acceso a bovinos	29	Sucesión del bosque (grande)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo del proyecto (2011-2017).

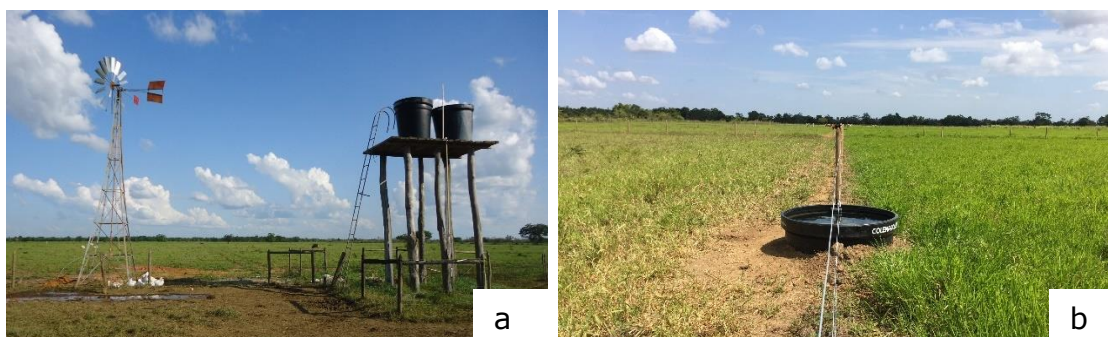
Construcción y adecuación de infraestructura para manejo animal

La adecuación de infraestructura incluyó la construcción y el mantenimiento de 4,8 km de cercas perimetrales en alambre de púa con postes cada cinco metros y la construcción de 10,2 km de divisiones en cerca eléctrica con tres cuerdas y postes cada 15 m (figura 6). Así mismo, se instaló una red hidráulica integrada por un pozo profundo de 40 m, un molino de viento, dos tanques plásticos, con capacidad de 5.000 litros cada uno, ubicados sobre una estructura construida en madera elevada a 6 m de altura, y una red de distribución conectada a tanques bebederos plásticos con capacidad de 1.000 litros compartidos por cada dos potreros (figura 7).



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 6. a. Cercas en alambre de púas en la periferia de los potreros; b. Cerca eléctrica en las divisiones de los potreros.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 7. Instalación de bombeo. a. Estación con molino de viento y almacenamiento de agua; b. Bebedero para suministro de agua a bovinos de cría en el CI Carimagua.

Componente de alimentación y nutrición animal

La productividad y el contenido nutricional en las praderas de gramíneas introducidas en los llanos colombianos, en forma general, se han visto afectados por problemas de manejo del pastoreo, la falta de planes apropiados de fertilización para el establecimiento y el mantenimiento, el ataque de plagas y la invasión de arvenses, el uso de especies no adaptadas al medio y la compactación o erosión de los suelos. En casos severos, la recomendación es aplicar las tecnologías para el establecimiento con nuevos pastos; cuando el nivel de degradación es moderado, la solución consiste en la aplicación de prácticas (mecánicas, fertilización y semilla) para recuperar su capacidad productiva (Rincón, 2010). Se cuenta con tecnologías validadas y ajustadas para la región, que permiten restablecer la producción y la calidad nutricional de los pastos, lo que incide significativamente en la respuesta productiva de los animales y en el beneficio económico de la inversión.

Mantenimiento y recuperación de praderas

En condiciones del CI Carimagua y con base en análisis de suelos, se pudo confirmar que una de las principales causas de degradación de las praderas fue la limitada disponibilidad de minerales en el suelo para la nutrición de las plantas, como respuesta a la baja fertilidad natural de estos suelos, y la falta de manejo del cultivo de pastos con planes de fertilización acordes con los requerimientos

de las especies forrajeras, condiciones que generan una baja producción y calidad nutricional de los forrajes.

La recuperación o renovación de las praderas tiene por objeto mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo para promover un ambiente favorable para el crecimiento y el desarrollo vigoroso de las especies forrajeras, favorecer la estabilidad de las especies deseables y reducir la incidencia de malezas, para garantizar así la persistencia y mejorar la productividad. De acuerdo con Rincón (2010), la renovación de praderas está asociada con la aplicación de prácticas agronómicas tales como labranza o mecanización, fertilización, control de malezas y siembra de especies forrajeras para aumentar la población de las gramíneas, o para mejorar la diversidad con la inclusión de leguminosas. Dependiendo del estado de degradación y del sistema de producción animal, se puede utilizar una o la combinación de varias prácticas, tales como:

- Fertilización
- Labranza + fertilización
- Labranza + fertilización + introducción de leguminosas

Teniendo en cuenta que el suelo debe brindar las condiciones físicas, químicas y biológicas para un buen desarrollo radicular de las plantas y el adecuado transporte de los nutrientes, la labranza o escarificación del suelo contribuye con este propósito. Además de los implementos de disco, como la rastra y el arado, en la recuperación de las praderas degradadas es recomendable el uso de implementos como el renovador de praderas o un arado de cincel (rígido o vibratorio) que rompe las capas compactas del suelo, favoreciendo la aireación, el movimiento de agua, el flujo de los nutrientes y el desarrollo del sistema radicular (Rincón, 2010).

En praderas degradadas, la aplicación de fertilizantes busca restituir al suelo los nutrientes necesarios para mejorar el vigor de las especies y su producción de forraje (tabla 3). El efecto de la labranza en la renovación de las praderas es mayor cuando se complementa con la aplicación de los nutrientes deficitarios.

Tabla 3. Requerimientos (kg/ha) de fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre para algunas especies de gramíneas y leguminosas de pastoreo en suelos ácidos

Especie	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
Gramíneas menos exigentes (<i>B. decumbens</i> , <i>B. humidicola</i> , <i>B. dictyoneura</i>)	30	30	200	20	20
Gramíneas más exigentes (<i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Megathyrsus maximus</i>)	40	40	400	30	30
Leguminosas <i>S. capitata</i> (Capica), <i>D. ovalifolium</i> (Maquenque), <i>P. phaseoloides</i> (Kudzú), <i>A. pinto</i> (maní forrajero)	30	30	200	30	30

Fuente: Adaptado de CIAT (1984) y Rincón (2010)

En el CI Carimagua, en áreas establecidas con *B. dictyoneura* que presentaban síntomas de degradación como compactación de suelos, baja cobertura del suelo y baja oferta de forraje, se aplicaron prácticas como la mecanización con un pase de rastra o un pase de cincel, y posteriormente se distribuyó al voleo y se incorporó una mezcla de cal dolomítica (500 kg/ha), roca fosfórica (250 kg/ha), abono Paz del Río (250 kg/ha) y yeso agrícola (150 kg/ha) (figura 8). La fertilización de mantenimiento varió con la condición de la pradera, con frecuencias de uno a dos años para la aplicación de una mezcla de urea 100 a 150 kg/ha, cloruro de potasio (KCl) 25 a 50 kg/ha, DAP 50 a 100 kg/ha y Sulcamag 50 kg/ha.

Durante el periodo 2011-2017 se adelantó la recuperación de praderas en el área de estudio mediante la aplicación de prácticas integrales de mecanización, fertilización o renovación con la estrategia cultivos (maíz-soya, sorgo-soya) y pastos. Adicionalmente, se realizó la adecuación de cercas (eléctrica y convencional) que permitieron pasar de manejar un solo potrero, de 70 ha, a contar con 27 potreros con áreas mínimas de 1,4 ha y máximas de 2,79 ha.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 8. a. Panorámica de praderas degradadas; b. Práctica de labranza con rastra; c. Aplicación de fertilizantes con encaladora; d. Praderas bajo pastoreo después de la recuperación con prácticas integrales en el CI Carimagua

Renovación de praderas con la estrategia cultivos-pastos

La integración agrícola-pecuaria (agropastoril) es una alternativa que se ha venido desarrollando para condiciones de suelos ácidos, con niveles bajos de nutrientes y alta saturación de aluminio. La estrategia utiliza cultivos como arroz, sorgo, maíz y soya con adaptación o tolerancia a estas condiciones, así como prácticas de manejo agronómico que facilitan su integración al sistema y permiten renovar praderas degradadas, al tiempo que se mejoran las condiciones nutricionales del suelo, se producen forrajes (ensilaje) o granos, se aseguran pasturas más productivas y se recupera la inversión parcial o total a corto plazo. Los forrajes (ensilaje) o granos producto de los cultivos pueden ser utilizados para la alimentación de bovinos y otras especies en la explotación durante las épocas críticas (sequía o exceso de lluvias) o pueden ser

comercializados para diversificar los ingresos. Según Pérez (2003), la producción de cultivos, el uso de prácticas de cosecha y la conservación de forrajes permiten regular la oferta y la calidad alimenticia durante las épocas de escasez y se constituyen en alternativas prácticas y económicas para mejorar la productividad de los sistemas ganaderos.

La implementación de esta estrategia en sistemas ganaderos en condiciones de la altillanura se inició con el cultivo de arroz de secano, cuyos materiales iniciales fueron Oryzica Sabana 6 y Oryzica Sabana 10; en la actualidad existe Corpoica Llanura 11, que es una variedad precoz de solo 90 días. En los últimos años, los sistemas maíz-pastos, millo-pastos, sorgo-pastos o soya-pastos han demostrado su viabilidad para establecer y recuperar praderas degradadas. La siembra en forma simultánea de cultivos de maíz, sorgo, millo, soya o caupí con pastos, especialmente de los géneros *Brachiaria* sp. y *Megathyrsus maximus*, ha sido utilizada para obtener altos rendimientos y calidad del forraje y granos, los cuales sirven para la alimentación animal en épocas críticas o para la venta y la diversificación de ingresos.

En el estudio, con el propósito de intensificar en forma sostenible el sistema de producción, se integraron entre 2,5 y 5 hectáreas por año mediante la estrategia de cultivos (maíz, sorgo JYT18 y soya) y pastos (Toledo + Llanero) para la producción de ensilaje y la renovación de algunas praderas de *B. dictyoneura* con síntomas de degradación (figura 9). La preparación del terreno consistió en dos pases de rastra y un pase de cincel rígido. Las enmiendas y fertilizantes aplicados se calcularon de acuerdo con los resultados del análisis químico de los suelos y las exigencias de estos cultivos. En este caso, 40 a 50 días antes de la siembra, en forma general, se realizó la aplicación e incorporación de una mezcla de cal dolomítica (1.500 kg/ha), abono Paz del Río (500 kg/ha), roca fosfórica (500 kg/ha) y yeso agrícola (300 kg/ha). La dosis de fertilizantes para el cultivo de maíz se fraccionó en aplicaciones al momento de la siembra (DAP 200 kg/ha, borozinc 20 kg/ha, sulcamag 100 kg/ha y KCl 75 kg): a los 15 días después de la siembra (dds) se aplicó el 50 % (100 kg/ha) de la urea y el 50 % de KCl (75 kg/ha) y a los 30 dds se aplicó el restante 50 % de urea. En el cultivo de sorgo, al momento de la siembra se aplicó sulcamag 100 kg/ha, KCl 100 kg/ha, borozinc 20 kg/ha, DAP 200 kg/ha, a los 15 dds se aplicó urea 100 kg/ha y KCl 50 kg/ha

y a los 30 dds urea 100 kg/ha. En el cultivo de soya la fertilización consistió en la aplicación, al momento de la siembra, de una mezcla de sulcamag 75 kg/ha, superfosfato triple 200 kg/ha, KCl 100 kg/ha y borozinc 20 kg/ha, a los 15 días después de siembra (dds) se aplicó urea 50 kg/ha y KCl 50 kg/ha y a los 30 dds, en casos específicos de deficiencia de N, se aplicó urea 50 kg/ha.

La dosis de semilla utilizada para la siembra de cultivos forrajeros se determinó con base en su valor real de pureza y germinación (VR). Para la siembra de maíz se utilizaron de 20 a 22 kg/ha de un híbrido de maíz con una sembradora PHT2 a 80 cm entre surcos; en el caso del sorgo JJT18, se realizó con una sembradora Semeato PD47 a 80 cm entre surcos y dosis de 7 a 9 kg/ha; y las variedades de soya Corpoica Taluma 5 y Panorama 29, a una dosis de 40 a 60 kg/ha (40 cm entre surcos).

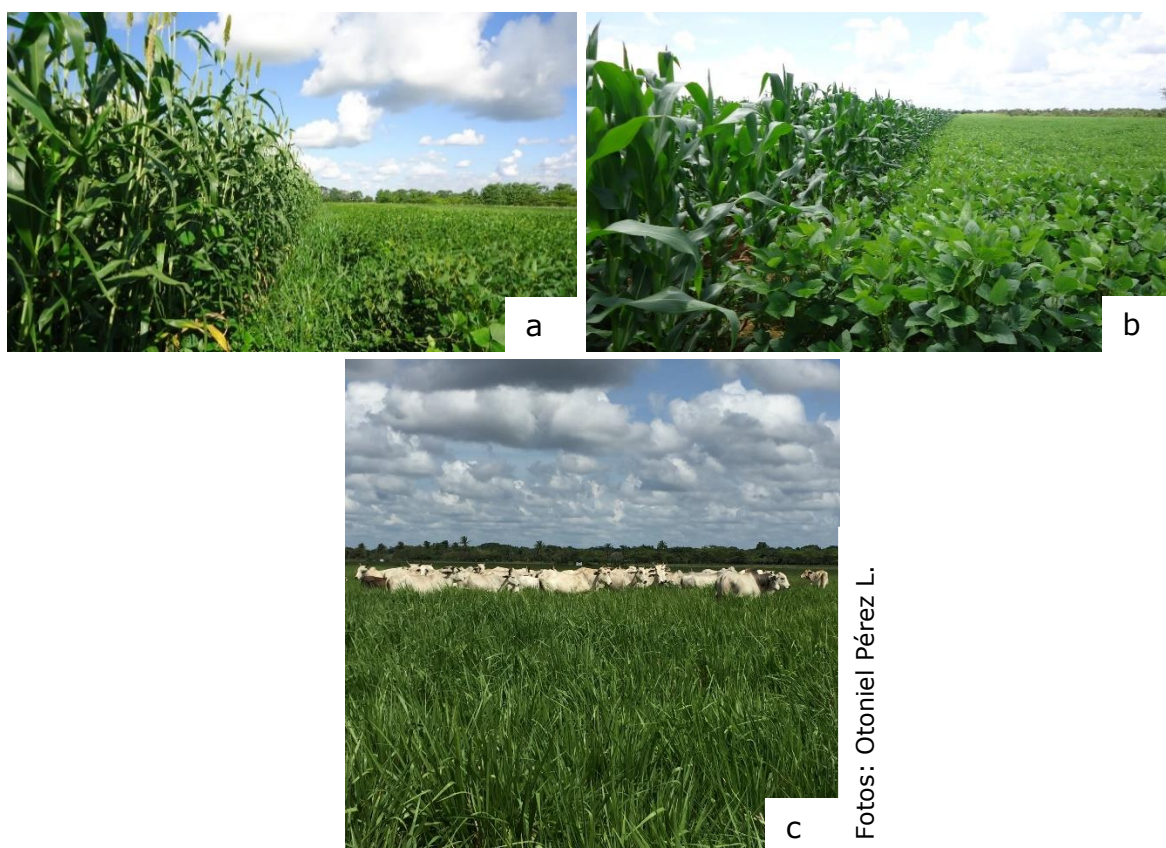


Figura 9. a. Cultivos de sorgo-soya; b. Maíz-soya para ensilaje; c. Praderas renovadas bajo la estrategia cultivos-pastos en el CI Carimagua

Para el manejo de larvas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz, se realizaron aplicaciones de productos comerciales como Exalt 10 ml + Break 10-15 ml por bomba de 20 litros, Proclaim 25 gr + Break 10-15 ml por bomba de 20 litros o Engeo en dosis de 50 ml por bomba de 20 litros.

La cosecha de los cultivos de maíz-soya o sorgo-soya se realizó en forma simultánea entre los 75 y 85 días después de la siembra con una cosechadora de surcos, y para el almacenamiento se utilizó una máquina Silo Press que permitió conservar el material ensilado en bolsas plásticas para ser usado en la alimentación del ganado en la época seca. El pastoreo con bovinos se reinició uno a dos meses después de la cosecha de los cultivos forrajeros, dependiendo de la recuperación o del desarrollo de las praderas.

Producción y contenido nutricional del forraje de cultivos y suplementos

Durante los años 2011 y 2012 se establecieron áreas con los híbridos de maíz Pioneer 30F35H y 3862 que alcanzaron rendimientos de 35,1 y 21,4 t/ha de forraje verde respectivamente. De 2013 a 2017 se establecieron áreas con el sorgo forrajero Corpoica JJT18, con rendimientos que variaron entre 39,6 y 50 t/ha. En 2017 se evaluó la producción del rebrote (2º corte) de sorgo forrajero, que arrojó rendimientos adicionales de 18 t/ha, lo cual, de acuerdo con la producción histórica del cultivo en condiciones del CI Carimagua, representa entre un 36 y un 45 % de forraje adicional para conservar. Los rendimientos del cultivo de maíz fueron similares a los reportados por Bernal et al. (2014) con 35 t/ha y Pérez y Bueno, (2010) con 24,3 a 40 t/ha en condiciones de la altillanura. Así mismo, el cultivo de sorgo presentó rendimientos similares a los obtenidos por Bernal et al. (2014) en dos fincas de la altillanura, que lograron producciones entre 40 y 50 t/ha. En relación con la producción de forraje de materiales de soya, la variedad Corpoica Taluma 5 alcanzó rendimientos de 18,5 a 26,5 t/ha, la variedad Panorama 29, entre 17,1 y 26,4 t/ha, y con la variedad Corpoica Sabana 7 se obtuvieron 27,7 t/ha (tabla 4). Estos rendimientos, en la mayoría de los casos, fueron superiores a los reportados por Bernal et al. (2014) en la altillanura, que alcanzaron 20 t/ha, y Bueno, Mojica y Pardo (2003), con 17 a 20 t/ha.

En relación con los contenidos nutricionales de las gramíneas forrajeras utilizadas para la elaboración de ensilajes, en el forraje de maíz los contenidos de proteína cruda (PC) variaron entre 7,0 y 8,5 %, y la degradabilidad, de 58,5 a 62,1 %, comportamiento levemente superior al reportado por Pérez y Bueno (2010), que indican que el contenido de PC de materiales de maíz oscila entre 6 y 7 % en la altillanura. El sorgo Corpoica JJT18 aportó valores de PC de 6,0 a 7,6 %, y la degradabilidad, entre 58,1 y 69,7 %; el valor de PC fue similar al 7 % reportado por Bernal et al. (2014). Entre los materiales de soya, la variedad Panorama 29 alcanzó valores de PC entre 12,1 y 19,2 %, y degradabilidad del forraje, de 59,3 a 65,8 %. La variedad de soya Corpoica Taluma 5 presentó contenidos de PC de 18,4 a 19,5 %, y degradabilidad del forraje de 56,7 a 71,1 %. La soya Corpoica Sabana 7 aportó 14,6 % de PC y 65,4 % de degradabilidad del forraje (tabla 4). La mezcla de maíz-soya o sorgo-soya

presentó valores de PC de 10,4 a 12,9 % con una degradabilidad de 58,4 a 72,1 %, confirmando resultados de trabajos previos que indican la importancia de la inclusión de soya en la mezcla con gramíneas para mejorar el aporte de proteína en la dieta (Bueno et al., 2003; Pérez et al., 2003; Rincón & Flórez, 2013; Bernal et al., 2014). Por otra parte, el suplemento balanceado con base en harina de maíz (32 %), harina de arroz (32 %), palmiste (20 %) y torta de soya (16 %) presentó contenidos de PC de 15,4 a 21,4 % y una degradabilidad de 80,1 a 89 %.

Los resultados nutricionales indican que tanto los ensilajes como el suplemento balanceado, por su buena calidad, contribuyen a mejorar el perfil nutricional de la dieta y, como consecuencia, a incrementar los indicadores productivos y reproductivos de los animales alimentados con estas fuentes. Según el National Research Council (NRC, 2000), una novilla para ganado de carne en crecimiento con ganancias diarias de 500 g requiere un 10 % de proteína total, una vaca en gestación, con peso de 500 a 600 kg, requiere un 5,9 % de proteína total y un toro de 800 kg necesita un 10 % de proteína total en la materia seca de la ración.

Tabla 4. Producción (t/ha) y contenido nutricional (%) de forraje verde de cultivos de maíz, sorgo y soya en el CI Carimagua (2011-2017)

Material	Forraje verde (t.ha ⁻¹)	PC (%)	Deg. 48 h. (%)
Maíz (híbrido)	25,0-35,1	7,0-8,5	58,5-62,1
Sorgo JJT18	39,6-50,0	6,0-7,6	58,1-69,7
Soya Taluma 5	17,7-27,8	18,4-19,5	56,7-71,1
Mezcla gramínea-leguminosa	-	10,4-12,9	58,4-72,1
Suplemento balanceado	-	15,4-21,4	80,1-89,0

Fuente: Laboratorio de Nutrición Animal, AGROSAVIA (2011-2017).

Producción y contenido nutricional de forraje de praderas

Durante el primer año (2011), las evaluaciones del componente de pastos sin intervenir arrojaron que en praderas de *B. dictyoneura* la oferta de forraje fue de 825,3 kgMS/ha en época de lluvias. Esta respuesta mejoró sustancialmente, a

1.893,9 kgMS/ha a los tres meses después de la aplicación de recomendaciones tecnológicas de recuperación (mecanización + fertilización), y mediante la estrategia de cultivos-pastos, a 1.929,2 kgMS/ha (tabla 5). La aplicación de prácticas de renovación y mantenimiento de praderas representó un incremento en la oferta de forraje del 129,5 % y del 133,8 % respectivamente, frente a la pradera no renovada; en consecuencia, en las praderas renovadas se mejoró la capacidad para soportar una mayor carga animal.

Tabla 5. Producción de forraje de pasto llanero (*B. dictyoneura*) y pasto Toledo (*B. brizantha*) a los tres meses después de la recuperación (mecanización + fertilización) y la renovación (cultivos-pastos) en el CI Carimagua (2011)

Pradera	Biomasa (kgMS/ha)	Diferencia (%)
Pradera renovada con cultivos-pastos	1.929,2	+133,8
Pradera recuperada con mecanización + fertilización	1.893,9	+129,5
Pradera sin renovar (testigo)	825,3	

Fuente: Pérez et al. (2017).

El monitoreo de las áreas con pasturas durante el periodo de seis años registró para la época de lluvia una oferta de forraje promedio de 1.030 kgMS/ha en praderas de *B. dictyoneura*, con periodos de descanso de 25 a 30 días. En las praderas de pasto Toledo (*B. brizantha*) establecidas bajo el sistema cultivos-pastos, la oferta promedio de forraje fue de 1.342 kgMS/ha con el mismo periodo de descanso. En época seca, en las praderas de *B. dictyoneura* la oferta de forraje promedio fue de 645,7 kgMS/ha con periodos de descanso de 35 a 40 días, mientras que en las praderas de pasto Toledo fue de 1.180,5 kgMS/ha (tabla 6). Los resultados confirman que la introducción y el manejo de cultivos forrajeros en sistemas ganaderos permiten la obtención de productos como granos o ensilaje y la intensificación de la producción de forraje por unidad de área. De esta manera, además de reducir la utilización de nuevas áreas (bosques o sabanas) al mejorar los rendimientos de las praderas, se contribuyó al incremento de la productividad bovina por hectárea y a la preservación y buen uso de los recursos naturales, como lo señala el *Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019* (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegan] & Fondo Nacional del Ganado [FNG], 2006).

Las praderas de pasto Toledo establecidas en forma simultánea con cultivos transitorios presentaron un incremento en la oferta de forraje del 30,3 % en época de lluvias y del 82,7 % en época seca en relación con las praderas de *B. dictyoneura*, como consecuencia principalmente de una mejora en el nivel nutricional de las áreas intervenidas con cultivos como maíz, sorgo o soya. Estos resultados concuerdan con autores como Rincón y Ligarreto (2008) y Rincón (2013a; 2013b), quienes indican que una forma de reducir costos es alimentar los bovinos con forrajes de pastoreo con mayor potencial de rendimiento. Para ello se deben aplicar las prácticas de buen manejo de las praderas y de los animales bajo los sistemas agrosilvopastoriles, con la utilización de forrajes que respondan a la mejor fertilidad con mayor disponibilidad de forraje de mejor calidad.

De igual manera, el monitoreo de las praderas en época seca durante el periodo 2011 a 2017 permitió determinar que *B. dictyoneura* presentó contenidos de proteína cruda entre 3,1 y 6,6 %, y degradabilidad de forraje entre 51,6 y 63,6 %. En la época de lluvias los contenidos de proteína cruda oscilaron entre 5,3 y 11 %, y la degradabilidad entre el 60,7 y el 77,5 % (tabla 6). El forraje de pasto Toledo establecido bajo la estrategia de cultivos-pastos, manejado bajo pastoreo con cinco días de ocupación y 35 a 40 días de descanso, presentó en época seca contenidos de proteína cruda de entre 3,5 y 5,7 %, y degradabilidad del forraje entre 45,7 y 68,0 %. En época de lluvias este alcanzó niveles de proteína cruda del 7,4 al 10 %, y degradabilidad del forraje entre el 66 y el 75 % (tabla 6). Los resultados indican que en la época seca las dos forrajeras apenas cubren los requerimientos de mantenimiento de los animales, razón por la cual es fundamental considerar la suplementación estratégica en esta época del año para mejorar el perfil nutricional de los bovinos y su respuesta zootécnica.

Tabla 6. Producción y contenido nutricional del forraje de praderas de pasto llanero (*B. dictyoneura*) y pasto Toledo (*B. brizantha*) en época de lluvia y seca en el CI Carimagua (2011-2017)

Pradera	Época de lluvia			Época seca		
	MS	PC	Degrad.	MS	PC	Degrad.
	(kg.ha ⁻¹)	(%)	(%)	(kg.ha ⁻¹)	(%)	(%)

Pasto llanero	1.030	5,3-11,0	60,7-77,5	645,7	3,9-6,6	51,6-63,7
Pasto Toledo	1.342	7,4-10,0	66,0-75,0	1.180,5	3,5-5,7	45,7-68,0

*MS: materia seca; PC: proteína cruda; Degrad.: degradabilidad.

Fuente: Laboratorio de Nutrición Animal, AGROSAVIA (2011-2017).

Establecimiento y manejo del componente arbóreo en arreglos silvopastoriles

En el proceso de integración del componente forestal, orientado a brindar confort (sombra) a los animales y disminuir costos en cercas, entre otros, en el lote La Manga, en 2011, se establecieron tres franjas (13 m x 600 m cada una) con más de 720 plantas de especies como *Piptadenia opacifolia* (yopo), *Acacia mangium* (mangium) y *Cassia grandis* (cañofistol). Las plántulas se sembraron en bloques alternos de 12 árboles por especie en arreglo de tresbolillo a siete metros entre plantas y cinco metros entre surcos. Previo a la siembra se realizó un pase de rastra y se aplicó una mezcla de cal dolomítica (1.000 kg/ha), roca fosfórica (250 kg/ha), abono Paz del Río (250 kg/ha) y yeso agrícola (250 kg/ha), y posteriormente se realizó un pase de cincel y un pase de rastrillo pulidor para la incorporación de las enmiendas. La siembra se realizó con plántulas con una altura de 30 a 45 cm en sitio definitivo. Para garantizar la supervivencia y un buen desarrollo de las plántulas, el manejo inició con la protección de las franjas con cerca eléctrica y alambre de púa para evitar la entrada de los animales. Las plántulas afectadas por déficit de agua o consumo por animales fueron resembradas. Anualmente se realizaron dos plateos con guadaña manual seguidos de la aplicación del herbicida glifosato en corona para controlar el crecimiento de arvenses; además se realizaron dos fertilizaciones por sitio con una mezcla de DAP 40 g, cloruro de potasio 40 g y urea 100 g. Cada año se realizó una poda de formación a las tres especies, buscando mejorar así su desarrollo para liberar las áreas para el confort de los bovinos a los 2,5 a 3 años después de la siembra en campo. Al tercer año se realizó la aplicación e incorporación por sitio de una mezcla de cal dolomita 500 g, roca fosfórica 300 g y yeso agrícola 200 g. De igual forma, al quinto año se aplicó e incorporó en

corona, por sitio, una mezcla de sulcamag 90 g, DAP 120 g, KCl 120 g, urea 150 g y borozinc 15 g.

En el año 2013 se realizó un inventario en las franjas del lote La Manga y se encontró un total de 723 árboles que representan más del 96 % de sobrevivencia como consecuencia de una buena protección, que evitó el daño por los animales, y la aplicación de prácticas como el plateo, la fertilización y las podas de formación, con un inventario que se distribuyó así: yopo (*P. opacifolia*): 293 árboles; acacia (*A. mangium*): 119 árboles y cañofistol (*C. grandis*): 311 árboles.

Para ampliar el componente forestal en el sistema de producción en 2015, en el lote La Manga se establecieron ocho bosquetes de 13 m de ancho y 43 m de largo con las especies *E. pellita*, *S. amara* y *P. opacifolia*. La siembra de árboles se realizó en tresbolillo a 5 m entre plantas y entre surco.

La toma de medidas dasométricas para cada una de las especies arbóreas durante el periodo del proyecto permitió calcular la tasa de crecimiento relativo mediante la siguiente ecuación:

$$TCR = (C_f - C_i) / (C_i \times t)$$

Donde: C_f = crecimiento final; C_i = crecimiento inicial; t = edad

En términos de crecimiento, en el periodo comprendido entre los 3 y los 72 meses de edad se encontró una mayor tasa de crecimiento diario para *A. mangium*, con cerca de 0,84 cm, seguida por el yopo, con 0,73 cm, y el cañofistol, con 0,38 cm, valores estimados con base en la altura de la planta al cabo de 72 meses de seguimiento en campo, lo cual evidencia un desarrollo superior de la *A. mangium*, seguida por yopo (*P. opacifolia*) y cañofistol (*C. grandis*) (tabla 7).

Tabla 7. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de tres especies en arreglo de franjas en Carimagua (2011-2017)

Edad (meses)	TCR (cm)		
	Acacia	Cañofistol	Yopo
3	0,5	0,6	0,4

23	107	36	96
37	103	40	137
52	65	29	68
64	63	48	64
72	84	38	73

Fuente: Pérez et al. (2017)

Durante los primeros meses se observó que tanto el yopo como la acacia presentaron un crecimiento rápido y más precoz en la acacia, característica que ha sido importante para introducir el árbol en los sistemas ganaderos tradicionales. Sin embargo, el yopo regula su crecimiento después del pico logrado a los 37 meses, comportamiento que se puede atribuir a su alta ramificación, a la menor poda de sus ramas para mantener su arquitectura de árbol bifurcado, con hojas y ramas menudas que dejan pasar luz a estratos inferiores, característica de importancia por ejercer menos competencia para las gramíneas forrajeras. Este comportamiento y los valores calculados fueron superiores a los observados en fincas del piedemonte del Meta por Bueno et al. (2014), en donde las tasas de crecimiento de especies como yopo y acacia fueron de 0,50 a 0,65 cm/día. De igual manera, se confirma que las especies nativas reportan un menor desarrollo que las introducidas, como *A. mangium* y *Eucalyptus pellita*.

En el periodo analizado las especies reportaron un buen comportamiento y desarrollo (figura 10), donde sobresale la acacia, con una altura de 9,6 m, seguida del yopo, con 7,9 m, y finalmente cañofistol, con 5,5 m., valores que confirman que algunas especies introducidas superan en crecimiento a las nativas. Es de anotar que, bajo estas condiciones de manejo, con buen control y protección de accidentes por la entrada de animales, podas de formación y fertilizaciones de mantenimiento se lograron alturas importantes para esta región, teniendo en cuenta las dificultades y las características de los suelos, que limitan el buen desarrollo de los materiales. El comportamiento en términos de crecimiento de los materiales establecidos confirma el buen desarrollo de *Acacia mangium*, especie introducida con gran adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la región, que supera a los materiales nativos, cañofistol y yopo, en 4,1 y 1,7 m respectivamente.

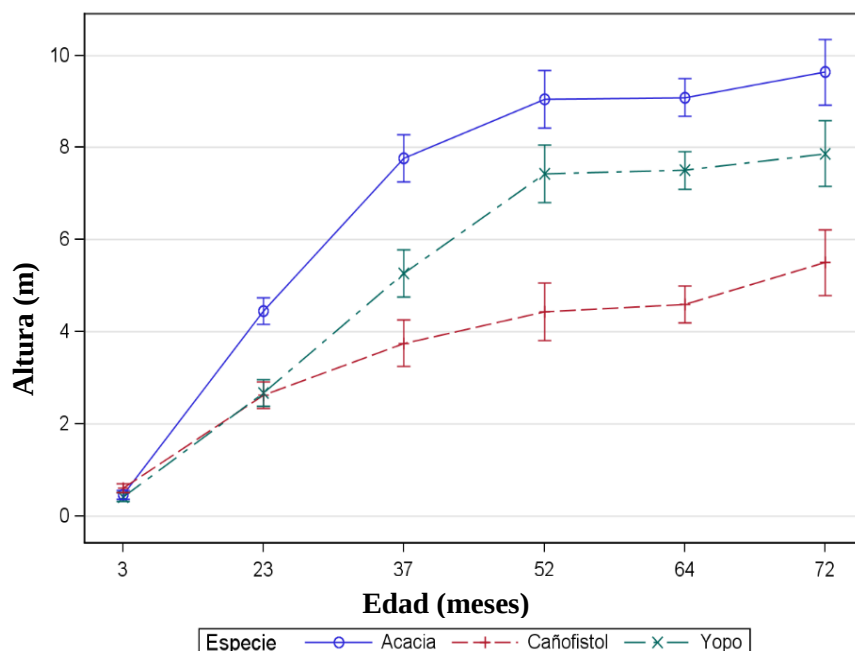


Figura 10. Altura (m) de tres especies arbóreas en arreglos de franjas en el CI Carimagua (2011-2017).

Fuente: Pérez et al. (2017)

Igual tendencia se observó para la variable *diámetro a la altura del pecho* ($DAP_{1,30}$), que corresponde a la toma de la medida a 1,30 m desde la superficie del suelo. La figura 11 muestra que entre los 52 y los 72 meses los valores superiores corresponden a acacia, seguida por yopo y cañafistol, en su orden, con 63, 48 y 31 cm respectivamente.

En la fase final se tomaron medidas de la cobertura de copa, que corresponde a la proyección de la sombra en el suelo. La acacia proyectó un área de copa de 8,5 m², seguida por el yopo, con 8,2 m², y para el cañafistol que, como se indicó, no presentó buen desarrollo, se reportó un área de 5,9 m². Es importante evaluar este parámetro en árboles maduros, que orientan para definir el número de árboles por hectárea que se pueden establecer para el sombrío del ganado sin que haya un efecto negativo en las áreas de pastoreo por competencia por luz. En este caso, con los valores registrados y con apoyo de ecuaciones que contemplan los factores de oclusión definidos para algunas especies arbóreas, y teniendo en cuenta que la producción de forraje se reduce enormemente cuando la copa de los árboles

(sombra) excede el 35 % (Centro Nacional de Agroforestería, 1997), se tomó el 30 %. Con base en los datos parciales se calculó que se deben plantar por hectárea 66 árboles de acacia, 114 de yopo y 219 de cañofistol. El caso de cañofistol, por lo encontrado y expuesto, hace que se vea afectado su desarrollo, especialmente la copa, por lo que se requieren más árboles. Con este material es necesario ajustar el manejo para lograr un mejor desarrollo, ya que es una especie nativa y, en su nicho, es un árbol de gran envergadura.

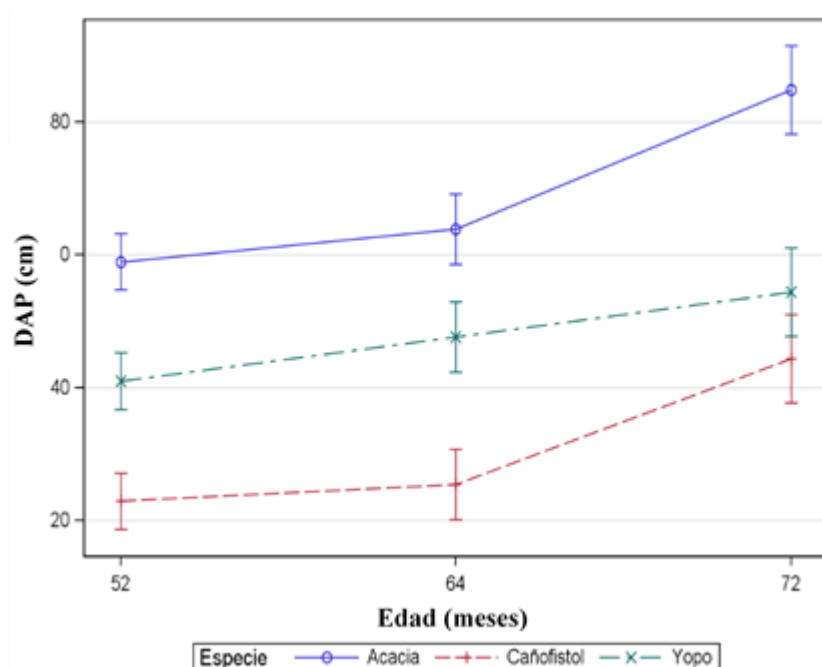


Figura 11. Diámetro a la altura del pecho (cm) de tres especies arbóreas establecidas en franjas en el CI Carimagua.

Fuente: Pérez et al. (2017)

La integración del componente arbóreo al sistema ganadero mediante arreglos forestales como los sistemas agrosilvopastoriles (SASP) busca generar bienes y servicios ambientales, además de contribuir a la adaptación y la mitigación del cambio climático, ya que benefician la relación suelo-planta-animal desde la perspectiva biológica, ecológica, ambiental, social y económica, generando interacciones positivas entre estos componentes. Se ha demostrado que esta estrategia integral de manejo de los componentes del sistema presentan, entre

otros, los siguientes beneficios: aportan a la protección y la conservación de la biodiversidad; los árboles, eje del sistema silvopastoril (SSP), capturan carbono, producen oxígeno, regulan el balance hídrico y son refugio, alimento, protección y hábitat de la fauna silvestre; con el efecto *sombra* disminuye el estrés térmico de los animales y se incrementa la humedad del suelo, que, a su vez, aumenta la calidad y la producción de la biomasa forrajera, disminuyendo así las emisiones de metano, dado el mejor balance de nutrientes, lo que garantiza una disminución en la compra de suplementos nutricionales (cuido y sales minerales) e insumos (fertilizantes y agroquímicos) y se refleja en mayores y mejores indicadores de producción bovina (leche y carne). En general, el manejo integral de las tecnologías ganaderas ofrece bienestar a las comunidades bióticas desde lo ambiental, lo social y lo económico, lo cual mejora también la rentabilidad de las empresas ganaderas.

Teniendo en cuenta lo expuesto, las ventajas de utilizar un sistema agroforestal dependerán de los objetivos del productor, las características del sitio (suelo, clima, etc.), las condiciones socioeconómicas del productor (capital, mano de obra y terreno, entre otros), las características de las especies arbóreas y el manejo de los componentes. En este orden, se establecieron arreglos silvopastoriles orientados a brindar bienestar a los animales. Con los resultados de las evaluaciones y el monitoreo del desarrollo de los materiales arbóreos se puede estimar un valor agregado a futuro en cuanto a la producción de madera, que puede considerarse como un seguro financiero en la medida en que se puede aprovechar en cualquier momento del año dado que actualmente la madera tiene un buen precio, que además es estable.

Las especies forestales introducidas en áreas de pastoreo con el propósito de brindar servicios como dar sombra, fijar el nitrógeno y controlar la erosión, entre otros, presentaron a los 72 meses de establecidos, en términos de volumen de madera (m^3ha^{-1}) e incremento medio anual (IMA) (m^3ha^{-1}), los siguientes resultados: para acacia, un volumen de $179,7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ y un IMA de $30,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$; para yopo, un volumen de $103,9 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ y un IMA de $17,3 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, y para el cañofistol, un volumen de $93,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ y un IMA de $15,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (tabla 8).

Tabla 8. Volumen de madera (m^3/ha) de tres especies forestales en arreglo de franjas a los 72 meses de edad en el CI Carimagua

Variable	Cañofistol	Yopo	Acacia
Nº árboles/ha	220	114	67
Volumen m^3/ha	93,2	103,9	179,7
Incremento $m^3/año$	15,5	17,3	30,0

Fuente: cálculos basados en datos de campo del proyecto (2017)

De la misma manera, se estimó otro de los servicios que ofrece el árbol, que tiene que ver con la captura de carbono: teniendo en cuenta la altura de planta y el DAP para calcular área basal (m^2), y con base al factor de forma (0,5), se obtiene el volumen de madera que de acuerdo a la densidad de la madera (g/cm^3) de cada especie, que permite determinar la biomasa total (t/árbol); de acuerdo al número de árboles/ha se estima el carbono y la tasa de acumulación que, para el ejercicio con acacia, cañofistol y yopo, reportó una tasa de acumulación de 32,5, 21,9 y 14,4 t C/ha/año respectivamente. Los parámetros y las fórmulas utilizadas para realizar los cálculos de variables dasométricas y ambientales se relacionan en la tabla 9.

Los resultados indican que las especies arbóreas sembradas presentan buena adaptación a suelos ácidos con contenidos altos de aluminio, toleran periodos prolongados de sequía y requieren una silvicultura moderada en el establecimiento y en el manejo, características que las convierten en especies con alto potencial para la forestación de esta zona del país.

Tabla 9. Parámetros y fórmulas utilizados para realizar cálculos de variables dasométricas y ambientales

Parámetro	Sigla/fórmula
Diámetro altura del pecho (cm)	DAP
Altura comercial (m)	AC
Área basal (m^2)	$AB = \pi/4 * DAP^2$
Factor de forma	Ff
Volumen comercial de madera (m^3)	$VCM = AC * AB * ff$
Densidad (g/cm^3)	D
Biomasa comercial (t/árbol)	$BC = VCM * D$

Factor de expansión biomasa	FEB
Biomasa total aérea (t/árbol)	$BT = BC * FEB$
Biomasa raíces (t/árbol)	$BR = 0.231 * BT$
Biomasa total (t/árbol)	$BT = BT + BR$
Fracción de carbono	FC
Contenido carbono en la biomasa (t C/árbol)	$CCB = BT * FC$
Nº árboles/hectárea	$\#A/ha =$
Carbono total almacenado (t C/ha)	$CTA = \#A/ha * CCB$
Años de la plantación (año)	Año Pla
Tasa de acumulación anual (t C/ha*año)	$Ta = CTA / \text{Año Pla}$

Fuente: Adaptado de Penman et al. (2003) e Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006).

Otro parámetro observado fue la bifurcación y los daños de los árboles, que en el caso del yopo y el cañofistol fue mayor, comparados con la acacia. Es de aclarar que esta es una condición fenotípica de las dos especies y el cañofistol mostró más daños causados por animales o problemas fitosanitarios, con afectación en el eje dominante del fuste en más del 40 %. Posiblemente la afectación en el desarrollo del cañofistol se atribuye a que es una especie cuyo nicho natural es el bosque, en donde existe una serie de factores que interactúan para que el material se desarrolle bien, y cuando se saca de este entorno, para establecerlo en la sabana, se evidencian los problemas.

En condiciones del CI Carimagua, las cercas de protección se liberaron a los tres años después de la siembra de las arbóreas y se permitió el acceso total de los semovientes bajo el dosel de los materiales, logrando de esta manera crear en los potreros tradicionales de la región las zonas de sombrío para dar bienestar y confort a los animales en pastoreo. La estrategia del arreglo en franja con tres surcos permitió levantar las dos cercas eléctricas laterales de protección y dejar solo una como cerca divisoria entre dos potreros, aprovechando como postes los árboles del surco central; de esta manera se redujo el uso de postes de madera inmunizados en más del 80 % (figura 12). Con los elementos recuperados (postes y alambre liso) de la primera inversión se redujo el costo en más del 50 % para futuras ampliaciones del arreglo forestal en potreros, al reutilizar los materiales colectados.

Aprovechando la poda de formación de los árboles a los 26 meses de edad se determinó la cantidad de biomasa que aportó cada especie al suelo, y se encontró que *P. opacifolia* (n = 30) arrojó en promedio 2,9 kg por árbol, *A. mangium* (n = 20), 13,8 kg por árbol, y *C. grandis* (n = 30), 1,7 kg por árbol.

De forma complementaria, se evaluó el contenido nutricional de las praderas bajo la sombra de las especies forestales *P. opacifolia*, *A. mangium* y *C. grandis*. En época de lluvias, el *B. dictyoneura* arrojó valores de MS de 24,9 a 26,9 %, PC 7,9 a 9,2 %, FDN de 64,4 a 67,8 %, cenizas entre 8,2 y 8,8 % y degradabilidad del forraje entre 62,2 y 66 %, mientras que en la época seca los contenidos de materia seca variaron entre 44 y 48 %, PC 3,06 %, FDN de 67 a 70,4 %, FDA de 35,4 a 37,6 % y degradabilidad entre 54,9 y 55,5 %.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 12. Arreglo silvopastoril en franjas con el surco central que soportan la cerca eléctrica. a. Yopo; b. Mangium.

Entre los factores climáticos que conforman el medio ambiente, otros aspectos para considerar son la temperatura y la humedad relativa, que pueden limitar o condicionar una serie de procesos biológicos para el componente animal, el cual

debe activar determinados mecanismos fisiológicos de regulación térmica para su mantenimiento o conservación de vida en detrimento de mantener o superar la actividad productiva. En la actualidad, estos cambios en las variables climáticas se pueden estimar y medir con mayor frecuencia por la disponibilidad de equipos sencillos, que facilitan el registro de estos cambios en el tiempo. De acuerdo con las diferentes condiciones, se han establecido ecuaciones que determinan el índice de temperatura y humedad (ITH) a partir de la temperatura del aire, la humedad relativa y algunas constantes. Este índice, por ejemplo, para el ganado bovino holstein (*Bos taurus*) determina los valores críticos del ITH mínimo, promedio y máximo, que corresponden a 64, 72 y 76 respectivamente, es decir que con valores mayores a 72 el animal pasa de un estrés moderado a un estrés grave. El ganado *Bos indicus* y las razas criollas tienen, dentro de sus particularidades, tolerancia a las temperaturas ambientales altas (Espinoza, Ortega, Palacios & Guillén, 2010).

En un estudio con sistemas agrosilvopastoriles realizado por Pachas (2011), se registró que el efecto de la sombra disminuyó considerablemente el estrés calórico de los animales respecto a la situación sin cobertura arbórea, lo cual se reflejó en una disminución del 30 % del promedio de horas con un índice de temperatura y humedad (ITH) mayor a 72, considerado como crítico para la condición de estrés.

En Carimagua se registraron los valores de temperatura del aire (TA) y porcentaje de humedad en las franjas establecidas en los lotes de pastoreo con las arbóreas mencionadas cada seis días, en la mañana (9 a. m.) y en la tarde (1 p. m.), bajo el dosel, durante dos periodos: uno de 24 días (franjas 1, 2 y 3) y otro de 86 días (en solo yopo). El ITH fue calculado mediante la ecuación de Leyva et al. (2009):

$$ITH = 0.8^{\circ}Ta + ((HR/100) \times (Ta - 14.3)) + 46.4$$

Donde: Ta = temperatura del aire (°C), HR = humedad relativa (%)

La interpretación se da de la siguiente manera:

ITH inferior a 72: no hay estrés.

ITH entre 72 y 78: estrés moderado.

ITH entre 78 y 88: estrés grave.

Aunque la definición del ITH no está dada para condiciones intertropicales, al hacer su interpretación con las variables registradas en este estudio, durante los meses de mayo a junio de 2017, se observó que los animales podrían estar sometidos a estrés debido a las condiciones ambientales predominantes (alta temperatura y humedad) en la región. Sin embargo, esta interpretación está soportada en resultados obtenidos en otras condiciones ambientales y con animales de otro tipo racial, lo cual no necesariamente refleja el comportamiento de los animales experimentales en las condiciones locales, pero puede aportar información relacionada con los cambios ambientales y su posible influencia sobre la etología y respuesta animal. De manera general, los factores climáticos registrados en las tres franjas de árboles o áreas de sombrío muestran que la temperatura ambiente es un 7,7 % más baja en la mañana que en la tarde, el porcentaje de humedad es mayor en un 9,1 % en la mañana y el ITH es 2,3 % mayor en horas de la tarde (tabla 10).

Tabla 10. Variación de factores climáticos en la mañana (9 a. m.) y en la tarde (1 p. m.) en áreas de sombrío de los bovinos en condiciones del CI Carimagua

Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de globo (°C)	Humedad (%)	ITH
9 a. m.	29,8	35,9	73,5	81,7
1 p. m.	32,1	38,4	64,4	83,6

Fuente: Pérez et al. (2017)

Los resultados registrados en el área de estudio muestran que bajo la sombra de los árboles disminuyó el ITH, en relación con la pradera a libre exposición, entre 2,4 a 3,1 puntos a favor de los árboles. Lo anterior se confirma en la medida en que el aire bajo los árboles presentó una disminución de 1 a 2,7 °C de temperatura (tabla 11), condición que beneficia el bienestar animal y constata lo encontrado por Souza et al. (2010), que indica que la presencia de árboles mejora el ambiente y el confort térmico de los animales. Además encontraron una tendencia similar al evaluar los efectos de la proyección de sombra en SSP con ganado de ceba y reportaron que la presencia de árboles no cambió la humedad relativa y la temperatura del aire excepto entre las 10 y las

18 horas, pero sí alteró la temperatura del globo (TG) y la velocidad del viento, mostrando así el efecto de la altura de las filas en los diferentes horarios del día que concuerda con lo registrado en este estudio, ya que tanto en horas de la mañana como de la tarde la diferencia de TG con respecto a la pradera sin árboles fue de 9,3 °C (tabla 11). Igualmente, Souza et al. (2010) reportaron, en un sistema sin sombra (ss), que la franja entre las 15 y las 16 horas es la de mayor incomodidad térmica, ya que los animales pastorearon menos tiempo y ocurrieron dos picos de menor intensidad de pastoreo a las 11 horas y las 14 horas, es decir, menor confort térmico.

Tabla 11. Variación de factores ambientales de acacia, yopo y cañofistol en la mañana y en la tarde bajo sombra vs. pradera a libre exposición solar en condiciones del CI Carimagua

	Mañana				Tarde			
	TA (°C)	TG (°C)	H (%)	ITH	TA (°C)	TG (°C)	H (%)	ITH
Acacia	29,8	32,9	71,3	81,2	31,3	34,3	66,1	82,6
Yopo	29,0	33,1	75,7	80,6	31,5	36,3	65,4	82,8
Cañofistol	29,1	34,5	76,1	81,0	31,7	36,9	65,4	83,1
Pradera	31,7	42,1	68,5	83,7	33,6	43,9	61,1	85,0

Nota: TA: temperatura del aire; TG: temperatura de globo; H (%): porcentaje de humedad; ITH: índice de temperatura y humedad.

Fuente: Pérez et al. (2017)

Manejo del componente animal

En el periodo de mayo de 2011 a mayo de 2015 se realizó el monitoreo de dos grupos de 35 vacas cebú comercial apareadas con toros blanco orejinegro (BON) mediante monta continua. Para junio de 2015 se realizó el cambio de toros y se incorporaron animales de la raza brahman hasta completar 53 vacas por lote, las cuales se manejaron en monta continua. Las novillas de vientre fueron manejadas en el área experimental hasta que alcanzaron un peso mínimo de 320 kg en BON x cebú y 350 kg en cebú para primer servicio. Los controles reproductivos se realizaron mediante palpación rectal. Las hembras destetas fueron manejadas en forma separada de acuerdo con el perfil alimenticio y nutricional correspondiente a cada lote: (T1) pastoreo y (T2) pastoreo +

suplementación. Todos los semovientes pastorearon en praderas de pasto Toledo + llanero, con una carga que varió entre 1,8 y 2,2 cabezas por hectárea. Se suministró sal mineralizada al 8 % de fósforo y 8,5 % de azufre; los bovinos accedieron a consumo de agua libremente.

Para el monitoreo del comportamiento productivo y reproductivo de los bovinos se realizaron trabajos de corral cada tres meses (cuatro trabajos al año) y, en forma recurrente, se tomaron registros técnicos y económicos según se presentaron novedades. La información registrada fue: nacimiento, peso vivo al parto, al destete y en cada trabajo de corral, chequeo reproductivo por palpación o ultrasonografía, preñez y natalidad.

Determinación de la variabilidad genética de bovinos

Un primer paso en el análisis genético de la población bovina objeto de estudio fue determinar su variabilidad y cuantificarla, debido a que este parámetro es el que determina la potencialidad de mejora genética. Establecer un patrón genético en esta población multirracial permitió conocer cuál era la tendencia de composición genética y, a partir de esta información, tomar decisiones para dirigir la selección hacia un grupo genético apto para la zona, mediante el incremento de la frecuencia de genes deseables, para cumplir el objetivo productivo de la explotación.

Para estimar la variabilidad genética de la población objeto de estudio, en 2011 se tomaron muestras sanguíneas a 55 de las 70 vacas con las que se inició el pie de cría y se llevaron al laboratorio, donde se procedió a realizar la obtención de glóbulos blancos y la extracción de material siguiendo protocolos estandarizados en el Laboratorio de Genética Molecular (LGM) de AGROSAVIA. Para la extracción del material genético de cada individuo se utilizaron kits comerciales. Mediante la técnica de PCR, se amplificaron los marcadores moleculares TGLA227, BM2113, TGLA53, ETH10, SPS115, TGLA126, TGLA122, INRA23, BM1818, ETH3 y ETH225, recomendados por la FAO y la Sociedad Internacional de Genética Animal (ISAG, por su sigla en inglés) para realizar estudios de variabilidad genética en ganado bovino. Posteriormente fueron

sometidos a electroforesis capilar en un equipo de secuenciación y se realizó la lectura de los marcadores.

Se encontró un total de 108 variantes alélicas. La heterocigosidad observada (que es una medida de la cantidad de variabilidad genética de la población) fue de 0,733, mientras que el número promedio de alelos fue de $9,81 \pm 2,31$. Los marcadores ETH3 y TGLA126 presentaron el menor número de alelos (7 alelos cada uno), mientras el TGLA53 y el INRA023 presentaron mayor variabilidad, con 14 y 13 alelos respectivamente (tabla 12). Según valores sugeridos por la FAO, la mayoría de los microsatélites evaluados en este estudio serían moderadamente polimórficos, sin embargo, marcadores como el ETH3, TGLA126 y el TGLA227 presentarían una baja cantidad de variantes alélicas.

El contenido de información polimórfica (PIC), el cual depende del número de alelos y de la distribución de sus frecuencias en la población, tuvo un valor promedio de 0,75. En general, los 11 marcadores presentaron valores intermedios a altos, por lo que se pueden considerar informativos: el marcador con el menor valor (0,577) fue el TGLA227, mientras que el TGLA53 fue el más informativo (0,860).

Tabla 12. Variantes alélicas encontradas para 11 microsatélites en una población de 55 bovinos de raza cebuina en condiciones del CI Carimagua (2011)

Microsatélites	Variantes alélicas													
BM2113	122	124	126	128	130	132	134	136	138	140				
BM1818	250	254	256	258	260	262	264	266	268					
INRA023	192	194	196	198	200	202	204	206	208	210	212	214	216	
ETH10	204	206	208	210	212	214	216	218	220					
ETH225	132	134	138	140	142	144	148	150	152	162	164	168		
ETH3	117	119	121	123	125	127	129							
SPS115	236	238	240	242	244	246	248	250	252					
TGLA122	133	135	137	141	143	145	147	149	153	155				
TGLA126	100	106	112	114	116	124	126							
TGLA227	75	77	79	81	83	87	89	91						
TGLA53	149	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	175	177	183

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2011)

Con el análisis inicial de la población se concluyó que la heterocigosidad observada fue de 0,733, menor a la esperada, de 0,782, que se considera un valor alto y atribuible a la baja manipulación de esta población en procesos de selección.

Una vez determinada esta situación genética del hato, se procedió a homogenizar la vacada cebuina con animales seleccionados por sus características fenotípicas, definidas en el cebú brahman; esto conllevó al cambio en los bovinos experimentales por animales de raza cebú brahman. En el 2015, se realizó nuevamente la evaluación de la variabilidad genética de los bovinos experimentales, que involucró 104 animales de la raza cebú brahman comercial (BRC) y se comparó con 101 animales de la raza brahman (BRA) y las razas de origen taurino blanco orejinegro (139), romosinuano (98), costeño con cuernos (128), sanmartinero (122), Casanare (20) y chino santandereano (126), para determinar similaridad y perfil racial. La base de datos de información genómica estuvo conformada por 838 animales de las razas mencionadas. Todos estos animales fueron genotipados con un chip GPLD 26K, que integra un total de 26.151 marcadores SNP.

El ADN de los 104 animales se obtuvo a partir de muestras de sangre almacenadas en tubos vacutainer que fueron remitidas al LGM de AGROSAVIA. Las muestras de ADN de los otros animales de referencia incluidos en este estudio se obtuvieron en vigencias anteriores y se mantuvieron almacenadas en el banco de ADN de razas criollas colombianas. Para el aislamiento de ADN genómico se utilizó un kit de extracción comercial (MoBio Laboratories, Inc., Carlsbad, CA, EE. UU.).

El ADN extraído se cuantificó por espectrofotometría a 260 nm utilizando un espectrofotómetro tipo NanoDrop ND-2000 (Thermo Fischer Scientific Inc., EE. UU.) y se diluyó a 100 ng/μl. La calidad del ADN se evaluó mediante la estimación de la proporción de absorbancia a 260 y 280 nm. Los genotipos de los marcadores SNP utilizados en este estudio fueron obtenidos en el Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA. El genotipado fue realizado utilizando chips de SNP de baja densidad (GeneSeek Genomic Profiler 26K BeadChip), que fueron procesados según el protocolo Infinium de Illumina® y analizados en el equipo HiScan®. Los procedimientos utilizados son descritos por Matukumalli et al. (2009). Se

usaron solo los animales con una frecuencia $> 99\%$ y los genotipos corridos de manera exitosa se mantuvieron en la base de datos final. Se excluyeron SNP con errores de genotipado (basado en los genotipos disponibles de los familiares), posiciones desconocidas de cromosomas de acuerdo con el genoma de la especie bovina, con una frecuencia $< 95\%$, alelo de menor frecuencia $< 0,025$, y el equilibrio de Hardy Weinberg dentro de la raza ($p < 0,01$).

La heterocigosidad esperada (H_e) y el coeficiente de endogamia (f) fue calculado usando la función "genome and het" en el programa PLINK y los índices de homocigosis fueron calculados con la herramienta Runs of Homozygosity en PLINK (v.1.07) con parámetros ajustados (densidad de homocigosidad 1.000, homozig-window-het 1,-homozyg-kb 10,-homozyg-window-snp20) (Bosse et al., 2012).

Para el análisis de la estructura poblacional, primero se usó PLINK (Purcell et al., 2007) para limpiar los datos y establecer el primer parámetro genético para la estructura poblacional y heterocigosidad, índice de fijación y endogamia. Se realizó un análisis multidimensional (mds) y se calculó la matriz IBS. Se usó el programa R para graficar los parámetros de la población.

Los métodos de agrupamiento por análisis de componentes principales (PCA, por su sigla en inglés) y Admixture se basan en genotipos de SNP, y el agrupamiento se realizó sobre la información de 26.215 SNP autosómicos para todos los grupos de animales. El PCA permitió distribuir cada uno de los animales de acuerdo con sus frecuencias alélicas en un plano de dos dimensiones y mostrar su distancia genética en función de la similaridad o diferenciación en sus frecuencias alélicas.

Por otro lado, a través del programa Admixture, que adopta el modelo del programa Structure (Alexander, Novembre & Lange, 2009) para determinar el número más probable de grupos raciales (k) en el conjunto de datos, se estimó el error de validación cruzada basado en 100 rondas de validación; el mejor valor de K fue el que presentó el menor error de validación cruzada comparado con otros valores. Los resultados arrojados por Admixture se presentaron en un diagrama de barras apiladas usando el programa R, donde cada barra vertical se divide en k segmentos, cada uno del tamaño definido por la proporción de membresía a cada grupo. Si un individuo presenta la barra vertical de un solo

color indica que tiene un 100 % de asignación o membresía al grupo en el cual se encuentra.

Con base en el análisis de componentes principales que se realiza para identificar animales que pueden tener un componente genético cruzado o animales que debido a las frecuencias de las variaciones en sus genes no podrían ser catalogados en un determinado grupo racial, se identificaron cinco grupos principales en las razas criollas y dos grupos cebuinos: el primero, brahman puro registrado (BRA), y el segundo grupo, la población del servicio (animales en estudio) que corresponde a brahman comercial (BRC). Lo importante es que los grupos cebuinos se separaron claramente en la dimensión 1 del resto de razas taurinas criollas y se notó claramente una mayor dispersión en el grupo BRC, con aproximadamente 15 animales que se alejaron de la inercia principal del grupo cebuino y que posiblemente pueden mostrar diferencias en sus frecuencias genéticas que los hacen diferentes del BRA. Por su parte, las razas taurinas romosinuano (ROM), costeño con cuernos (CCC), blanco orejinegro (BON), chino santandereano (CHS) y Casanare (CAS) se separaron claramente de las razas cebuinas (figura 13).

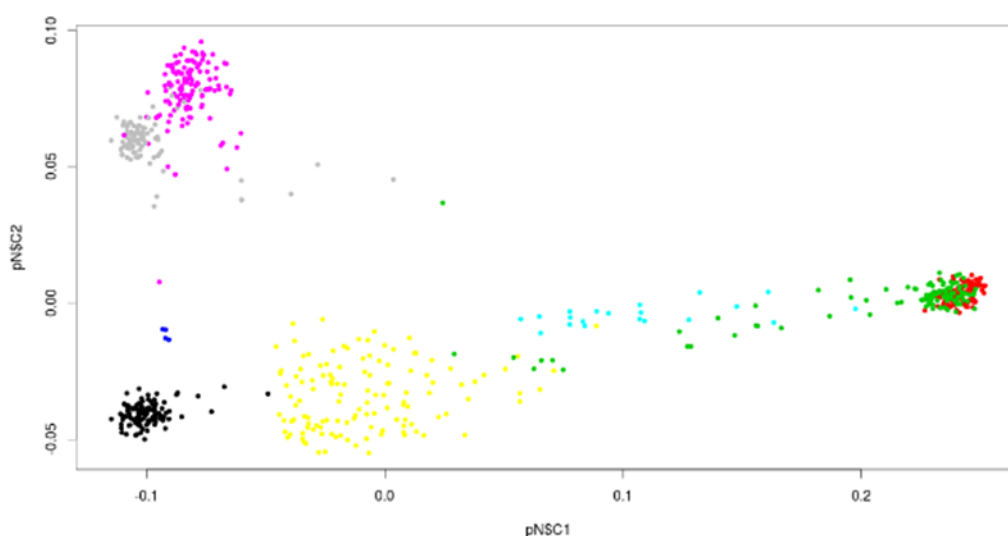


Figura 13. Análisis de componentes principales para diferenciación genética de dos poblaciones cebuínas, BRA (rojo) y BRC (verde), y cinco grupos de las razas

criollas: romosinuano (fucsia), costeño con cuernos (gris), blanco orejinegro (negro), chino santandereano (amarillo) y Casanare (azul)

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015)

En la figura 14 se presentan solamente las razas brahman puro y brahman comercial, con el objeto de diferenciar claramente los animales que presentaron mayor distancia de la inercia principal del grupo brahman. En esta se identificaron quince animales que se separaron en la dimensión 1 y que podrían catalogarse como “animales con un menor grado de pureza” o que sus frecuencias alélicas los diferencian del grupo general; por el contrario, el resto de los animales presentaron una uniformidad alta.

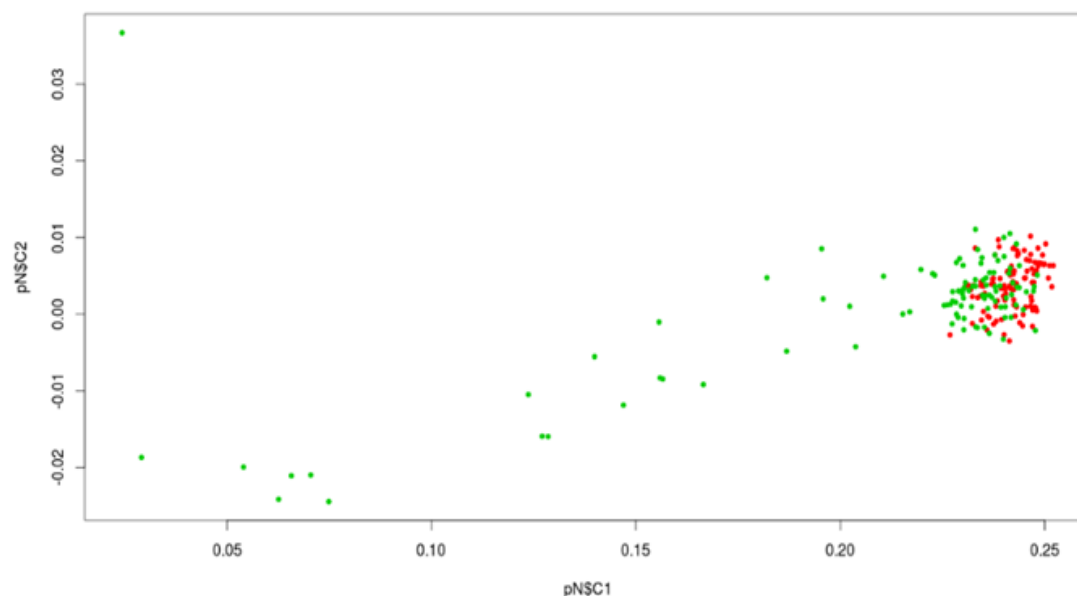


Figura 14. Análisis de componentes principales para diferenciación genética de dos poblaciones cebuinas: BRA (rojo) y BRC (verde)

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015).

En la tabla 13, se presentan los animales que se encontraron más alejados de la inercia principal, es decir, con mayor diferenciación, evaluados por las frecuencias alélicas encontradas en los 26k marcadores evaluados. Es

importante contrastar estos resultados con la evaluación fenotípica de los animales a fin de comparar la apariencia de animales cruzados.

Tabla 13. Animales del grupo brahman comercial (BRC) que se encontraron a mayor distancia del grupo general de BRA y BRC y las coordenadas en el componente 1 (C1) y el componente 2 (C2)

IID	C1	C2	Raza
BRC442082	0,0540500	-0,01992420	BRC
BRC441012	0,0626131	-0,02413520	BRC
BRC90064	0,1398970	-0,00553682	BRC
BRC80014	0,1469320	-0,01184800	BRC
BRC80108	0,0704691	-0,02096320	BRC
BRC80212	0,0748922	-0,02442890	BRC
BRC441024	0,0290857	-0,01867510	BRC
BRC110004	0,1270780	-0,01590520	BRC
BRC442320	0,0657202	-0,02106150	BRC
BRC45554	0,0243455	0,03667230	BRC
BRC80010	0,1236830	-0,01048230	BRC
BRC50998	0,1285120	-0,01594150	BRC

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015)

Para el análisis de la estructura poblacional se usó el programa Admixture, se utilizó un número máximo probable de grupos de $k = 7$, pero se presentó $k = 5$ y se estimaron los valores de membresía de cada uno de los animales a cada uno de los k grupos, los cuales fueron graficados utilizando la opción "diagrama de barras" del paquete CAR, del programa R-Studio (figura 15). Se realizó un análisis de validación cruzada para cada uno de los k número de grupos probables, el cual varió desde 0,74 cuando se asumieron dos grupos hasta 0,51 cuando se asumieron 10 grupos, pero se encontró el número más probable de grupos cuando se asumieron cinco poblaciones en la estructura de todas las razas criollas.

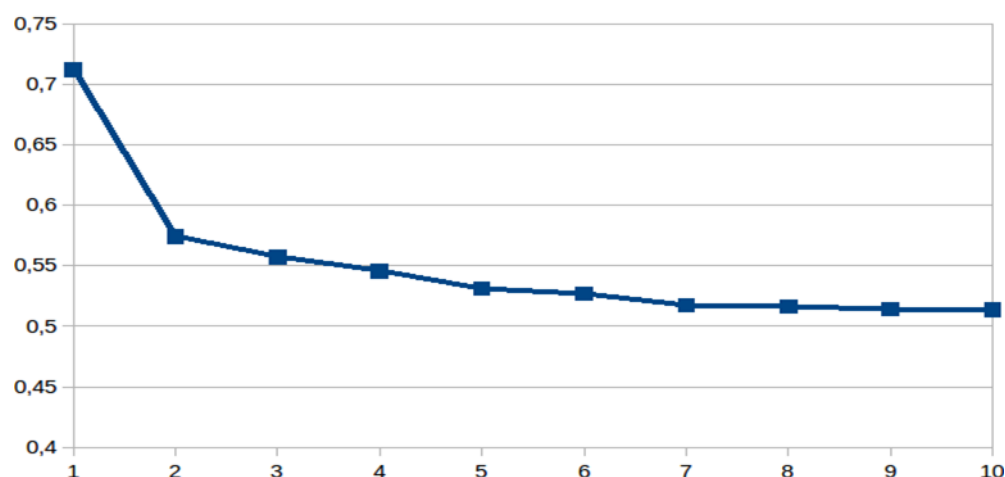
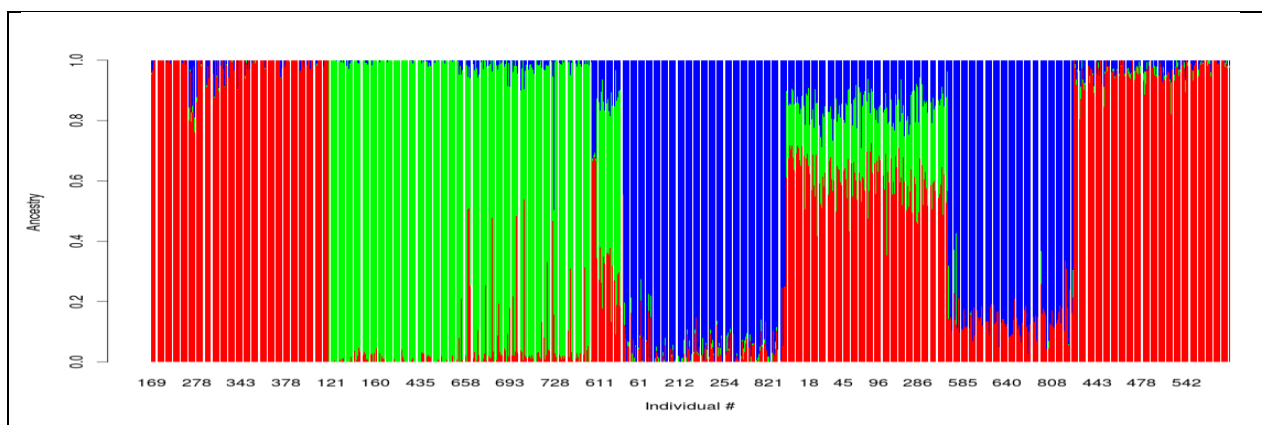


Figura 15. Valores de validación cruzada para cada uno de los k valores de grupos asumidos para el análisis de estructura poblacional

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015)

El análisis de estructura poblacional para las muestras evaluadas indicó que los animales del servicio (experimentales) correspondían claramente a animales de tipo cebuino, con excepción de 15 animales que presentaron valores de membresía bajos (figura 16); dichos animales se ubicaron dentro del grupo de color verde, que corresponde a los cebuinos comerciales. En términos generales, la población se diferenció claramente de los demás grupos taurinos criollos.



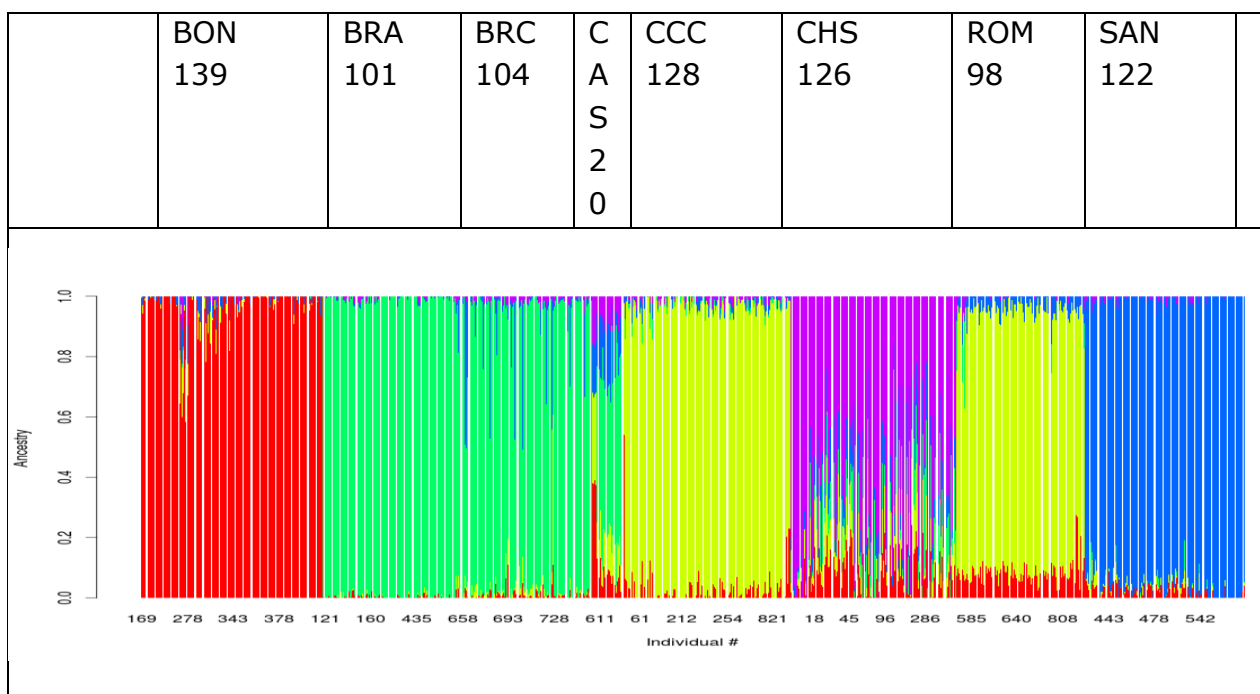


Figura 16. Análisis de estructura poblacional de la raza brahman comercial (BRC) comparado con la raza pura (BRA) y con las razas taurinas criollas blanco orejinegro (BON), Casanare (CAS), chino santandereano (CHS), romosinuano (ROM) y sanmartinero (SAN)

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015)

En forma general, la mayoría de los animales del servicio de la raza BRC presentaron valores de membresía de una magnitud alta que los relacionan al grupo cebuino; solamente 15 presentaron valores por debajo de 0,75 y corresponden a los mismos animales que se presentan más alejados en el análisis de componentes principales, los cuales podrían catalogarse como *animales cruzados*. Adicionalmente se encontraron 18 animales con valores de membresía de 0,8 a 0,95 que podrían catalogarse como *madres para dar descendencia pura*, si se aparean con toros cebúes registrados, y, finalmente, 70 animales con valores de membresía entre 0,95 y 0,99 que podrían catalogarse como *puros*. En la tabla, 14 se muestra los valores de membresía cuando se estiman cinco grupos o clústeres, donde se puede evidenciar que los animales con valores bajos de membresía concuerdan con los que podrían catalogarse como *animales cruzados*. Se debe destacar que los animales que

presentaron bajos valores de membresía concuerdan con los animales genéticamente más distantes en el análisis de componentes principales.

Tabla 14. Valores de membresía para el grupo de animales de la raza brahman comercial cuando se estimaron $k = 5$ grupos o clústeres

FID	Raza	C1	C2	C3	C4	C5
BRC45554	BRC	0,110679	0,495939	0,346391	0,046981	0,000010
BRC441024	BRC	0,048637	0,088222	0,355594	0,478349	0,029198
BRC442082	BRC	0,033817	0,039786	0,435191	0,484981	0,006225
BRC441012	BRC	0,023996	0,010245	0,460621	0,488407	0,016731
BRC442320	BRC	0,045644	0,039457	0,472924	0,423056	0,018919
BRC80108	BRC	0,028547	0,025126	0,475582	0,435385	0,035359
BRC80212	BRC	0,026150	0,006868	0,490213	0,459472	0,017297
BRC80010	BRC	0,027270	0,039578	0,634854	0,273397	0,024901
BRC110004	BRC	0,000010	0,003614	0,637479	0,319232	0,039666
BRC50998	BRC	0,005536	0,002212	0,659078	0,278024	0,055149
BRC90064	BRC	0,003297	0,049837	0,677513	0,231306	0,038047
BRC80340	BRC	0,110722	0,084276	0,727327	0,048783	0,028892
BRC110006	BRC	0,000010	0,029845	0,733142	0,199486	0,037516

Fuente: Laboratorio de Genética Molecular de AGROSAVIA (2015)

En la población evaluada, se identificó que el 67 % de los animales presentaron un perfil genético que permitió catalogarlos como *cebú brahman pura*, dada la similaridad genética con una población evaluada de esta raza. Un 15 % de la población podrían catalogarse como *animales con alto grado de cruzamiento* y un 17 % de los animales que presentaron valores de membresía de 0,8 hasta 0,94 podrían estimarse como *madres para generar descendencia pura*. A partir de este trabajo, se pudo reorganizar la población y direccionar su selección hacia un grupo genético puro sin registro.

Manejo reproductivo de bovinos

La respuesta reproductiva tanto del macho como de la hembra bovina en condiciones del trópico es menor a la que se puede alcanzar en países con

estaciones. En ambientes tropicales, las condiciones están dadas por las elevadas temperaturas, la baja calidad de la oferta forrajera y la exposición a enfermedades. Thatcher et al. (2010) consideran que el estrés ambiental que sufren los animales debido a la falta de prácticas adecuadas, acordes con su estado fisiológico, conllevan a la reducción de la fertilidad en el hato debido a los aumentos en la temperatura y la humedad relativa ambiental, que ocasiona elevación en la temperatura corporal y provoca fallas en la función testicular, la calidad del espermatozoide y el ovocito, el desarrollo embrionario, el crecimiento placentar y fetal y en la función reproductiva posparto. Los factores ambientales, igualmente, impactan en forma negativa el crecimiento y el desarrollo de los animales después del destete, incrementando la edad del animal al inicio de la actividad sexual, la pubertad y, por consiguiente, al primer parto y a su reactivación ovárica. De igual forma, Velásquez, Cardozo, Velásquez y Onofre (2000), Velásquez, Barajas y Cardozo (2015) y Barajas (2013) encontraron que la época y el efecto de la radiación solar sin disponibilidad de sombra afectaban la calidad espermática en bovinos sanmartinero y cebú en condiciones del trópico bajo en la Orinoquia colombiana. En este sentido, procurar condiciones de confort y alimentación integradas al manejo reproductivo estratégico tanto del reproductor macho como de la hembra, con estrategias desarrolladas por Corpoica ahora AGROSAVIA y otras instituciones para sistemas ganaderos de la Orinoquia colombiana, se constituyen en alternativas tecnológicas para incrementar los índices productivos del hato. A continuación, se describen algunas de las estrategias que fueron consideradas para el manejo reproductivo de los animales experimentales en condiciones del CI Carimagua.

Manejo estratégico del macho reproductor

La fertilidad del macho reproductor debe ser vista con gran atención dentro de la eficiencia reproductiva del hato. En tal sentido, Tribulo et al. (2000) destacan que la fertilidad del toro es económicamente diez veces más importante que la calidad de su carcasa y cinco veces más que la velocidad de crecimiento. Por cada celo en el que no se logra preñez, se pierden 25 o 30 kilos del becerro al destete y disminuye la posibilidad de preñez temprana el año próximo. Los aspectos que se consideraron para el macho reproductor involucran el manejo de las condiciones ambientales como el clima y su variación mediante la incorporación de árboles, la

división de potreros, las pasturas y su sistema de rotación, la suplementación mineral y energético-proteica, y, por otra parte, el monitoreo de exámenes reproductivos y la evaluación de la calidad seminal (figura 17).



Fotos: José Guillermo Velásquez P.

Figura 17. a. Toro reproductor cebú brahman en proceso de evaluación reproductiva; b. Colecta de semen con apoyo de electroeyaculador.

Se ha reportado que la baja fertilidad del toro en condiciones tropicales está relacionada con la demora para iniciar el proceso reproductivo (pubertad), deficiencias endocrinas, baja libido, testículos pequeños, pobre calidad del semen y baja producción de espermatozoides. Estudios realizados en la Orinoquia (tabla 15) indican como el efecto del medio ambiente climático influye sobre el comportamiento sexual del macho reproductor cebú brahman, la motilidad, la morfología y la viabilidad espermática (Velásquez et al., 2000).

Tabla 15. Comportamiento de la calidad espermática del bovino cebú adulto con y sin sombra en época seca en la Orinoquia

Indicador	Sin disponibilidad de sombra	Con disponibilidad sombra	Efecto sobre la eficiencia (%)
Libido (1-100)	39,92	66	39,5
Concentración (Espermat.x10 ⁶ /ml)	720,9	787,82	0
Motilidad general (%)	60,82	76,68	20,7
Espermatozoides normales (%)	70,8	78,32	9,6
Viabilidad (%)	64,63	74,93	13,7

Fuente: Velásquez et al. (2000) y Barajas (2013)

Una de las formas de atenuar el efecto del medio ambiente es la inclusión de áreas de confort; para ello, los árboles son la mejor opción, en especial de especies que por su arquitectura permitan una buena circulación de aire, como el yopo. Una alternativa a corto plazo para brindar este confort es establecer, en las áreas de pastoreo, zonas de sombrío con polisombra del 80 % (12 m x 6 m) (figura 18).

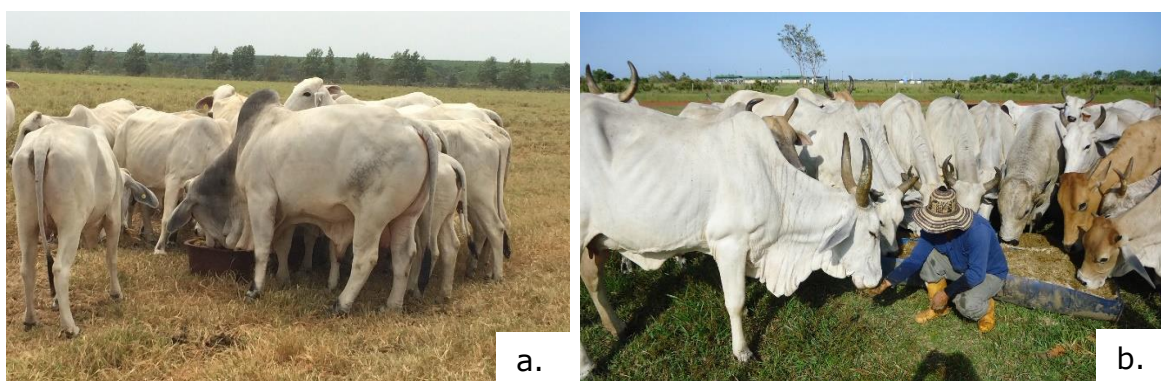


Fotos: José Guillermo Velásquez
P. y Otoniel Pérez L.

Figura 18. Zonas de sombrío para bovinos. a. Polisombra al 80 %; b. Árboles establecidos en franjas.

La adecuación de infraestructura es un punto de gran importancia en el manejo del toro reproductor y su rebaño, las cercas deben estar bien definidas y con mantenimiento permanente que permita su delimitación y seguridad. La cerca puede ser construida con cuatro líneas en alambre de púa; para bajar costos, se pueden colocar las dos superiores en calibre 12 y las dos inferiores en calibre 16 o reforzar incluyendo una quinta línea que puede ser en alambre liso, especialmente para cercas periféricas. Los postes se pueden colocar cada cuatro a seis metros con estaciones de tres postes cada 100 metros u optar por la implementación de cercas eléctricas con postes cada 12 a 15 metros y dos a tres líneas con alambre acerado, especialmente en divisiones de potreros, como se implementó en las condiciones de este trabajo. De igual forma, se dispuso de agua permanente a través de la construcción de dos pozos profundos que, con apoyo de una bomba sumergible y un molino de viento, permitieron el suministro de agua a los bovinos. Además, se contó con un corral adecuado para el manejo animal, dotado con una calceta con puerta de ahogo, tanques de agua, un brete y báscula para facilitar el manejo y el registro de información de los animales.

Otro de los aspectos importantes son las pasturas: en este sentido, se establecieron prácticas de mantenimiento y recuperación de praderas mediante la mecanización, la fertilización o la renovación, y también se utilizó como alternativa la rotación con cultivos forrajeros (maíz-soya, sorgo-soya) que permitió una mejora sustancial del suelo y, por ende, de las praderas. Sumado a esto, se debe considerar el suministro de un suplemento energético proteico a razón de 0,5 a 1 kg/animal/día (27 % proteína y 3.900 cal/g) (Medrano et al., 2001), especialmente en la época seca, adicional a la suplementación mineral (sal mineralizada del 6 al 8 % de P) (figura 19).



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 19. a. Suplementación energético-proteica y mineral para bovinos en época seca en condiciones del CI Carimagua y b. Mansedumbre en lote de bovinos suplementados

Examen reproductivo

El examen reproductivo que se debe realizar a todo toro reproductor (figura 20) que ingresa al hato debe considerar: a) la valoración del tracto reproductor mediante un examen rectal que determina la condición de la próstata, las vesículas seminales, las ampullas y los conductos deferentes y un examen físico externo que evalúa los testículos y el prepucio; b) la evaluación de la condición del semen, que tiene en cuenta su volumen, concentración, motilidad, viabilidad y morfología espermática, y c) el comportamiento del toro para su apareamiento o cubrición, que se realiza por evaluación de la libido y la capacidad de servicio,

la cual valora el deseo del toro para aparearse con la vaca, la habilidad para completar el servicio y su número en un determinado tiempo.

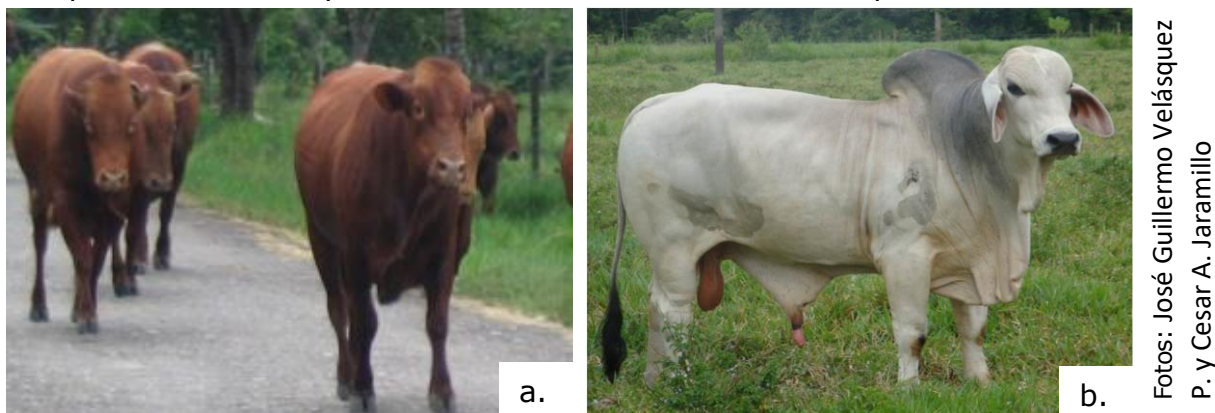


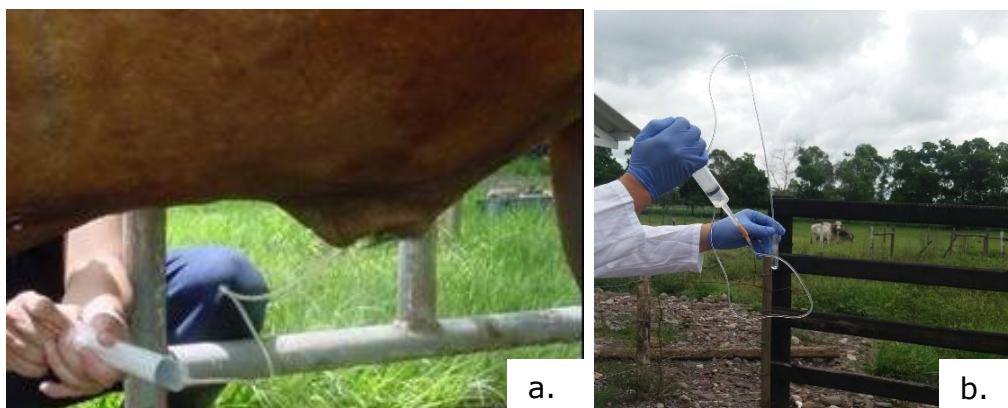
Figura 20. Toros reproductores de las razas. a. Sanmartineros; b. Cebú Brahman

Es importante, antes del inicio de los apareamientos, realizar una evaluación de fertilidad del toro reproductor. Por otra parte, existen pruebas, que estarán al servicio en poco tiempo, que identifican proteínas del plasma seminal asociadas a toros con alta fertilidad y que permitirán seleccionar reproductivamente toros a temprana edad; en el sanmartinero y el cebú ya se tienen algunos adelantos (Barajas, 2013).

Previo a la evaluación de la fertilidad es conveniente efectuar exámenes que garanticen la salud integral del reproductor para no poner en riesgo la salud y la productividad del hato, ya que el toro puede ser el principal diseminador de enfermedades infecciosas que se transfieren por vía genital o por el eyaculado infectado, como la campilobacteriosis y la tricomoniasis bovina. De igual forma, otras entidades infecciosas que se pueden introducir en el hato mediante el uso del toro en monta directa o a través del semen, como la brucelosis, tuberculosis, leptospirosis, rinotraqueítis infecciosa bovina, diarrea viral bovina, parainfluenza y leucosis bovina.

En este sentido, se recomienda tomar muestras de esmegma prepucial para la determinación de *Campylobacter* y *Trichomona*, sanguíneas para las otras enfermedades infecciosas y realizar pruebas de tuberculina para la tuberculosis;

esta última la realiza el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) o técnicos certificados. Para tomar la muestra del esmegma prepucial, se debe realizar un masaje en la mucosa del prepucio para estimular la micción, seguidamente se procede a hacer una limpieza y posteriormente, con apoyo de un catéter rígido adaptado a una manguera de venoclisis y a una jeringa hipodérmica de 50 cc, se introduce el catéter, previo estiramiento del prepucio para evitar lesiones de la mucosa del prepucio. Posteriormente se aspira desde la jeringa, manipulando el catéter sobre las paredes de la mucosa; una vez obtenida la muestra se realiza un lavado del catéter desde un tubo de ensayo (vacutainer) estéril, en el cual se ha colocado un centímetro cúbico de solución salina fisiológica (figura 21). Al final, la muestra se mezcla con la solución, se tapa y se identifica para su envío al laboratorio.



Fotos: José Guillermo Velásquez P.

Figura 21. a. Procedimiento de toma de muestra de esmegma prepucial apoyado con venoclisis; b. Muestra para envío al laboratorio.

Las muestras sanguíneas son obtenidas por venopunción de la vena yugular o de la vena coccígea (figura 22) en tubos de tapa roja o que no contengan anticoagulante, que en posición oblicua facilitan la obtención y la extracción del suero que puede ser envasado en viales para su envío al laboratorio. Esta práctica se realiza si los reproductores se encuentran a distancias lejanas del laboratorio, de lo contrario pueden ser enviados en los tubos tapa roja.



Fotos: José Guillermo Velásquez P.

Figura 22. a. Procedimiento de toma de muestra sanguínea a nivel coccígeo y b. Muestras sanguíneas colectadas

Selección del toro reproductor

En la selección del reproductor para el hato es importante considerar que no existe un toro perfecto y que su elección requiere del apoyo técnico de un profesional experto en el tema (figura 23).



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 23. a. Evaluación fenotípica de reproductores cebú brahman, b. Evaluación del tren posterior

Es imprescindible conocer las características cuantitativas o heredables y las cualitativas, que expresan su condición externa y que contribuyen a la elección de un toro reproductor (tabla 16).

Tabla 16. Características a considerar para la selección de toros reproductores

Caracteres	Características que se deben tener en cuenta	Características que no se deben considerar
Cabeza	Mayor amplitud que longitud. Hocico ancho y fuerte.	Mandíbula inferior gruesa, cara larga y hocico fino.
Cuello	Debe ser musculoso y fuerte.	Delgado, poco volumen muscular, poca pigmentación y pelo fino.
Omoplato	Definido en su componente muscular.	Bajo desarrollo muscular.
Pecho	Debe ser fuerte.	Bajo desarrollo muscular.
Giba	Musculosa, tosco bien pigmentado.	Flácida.
Patas anteriores y posteriores	Bien musculadas y proporcionales a su cuerpo, no muy largas. Las posteriores, con buen ángulo y capacidad.	Anteriores y posteriores sin ángulo y planas.
Costillas	Musculadas y arqueadas, las posteriores con buen arco y gran capacidad.	Largas, planas y sin arco.
Lomo	Definido, uniforme y con musculatura fuerte.	Baja definición de la musculatura.
Cadera	Músculos bien definidos.	Pobre musculatura y con grasa, más ancha que la caja torácica.
Piernas	Musculatura fuerte y definida.	Flácida, no definida.
Cuartillas	Fuertes y de regular tamaño.	Largas y débiles.
Prepucio	No muy largo, abertura moderada con pelos gruesos.	Largo, abertura amplia, carente de pelos.

Fuente: adaptado de Cardozo et al. (2002).

Por otra parte, para la elección del toro se debe considerar su comportamiento sexual (tabla 17), la evaluación de la calidad seminal y la circunferencia escrotal. Para ello, el médico veterinario considera aspectos macroscópicos: el volumen (la eyaculación media es 4 ml y varía entre 1 y 12), la consistencia del semen

(acuosa, semiacuosa, lechosa, cremosa) y el color (principalmente blanco, otras coloraciones pueden ser respuesta de alguna alteración), y microscópicos: concentración ($> 600.000.000$ de espermatozoides/ml), motilidad, morfología y viabilidad ($> 70 \%$). Con estos análisis se valora la calidad del semen (tablas 18, 19 y 20).

Tabla 17. Caracterización de la libido de acuerdo con el tiempo de la respuesta eyaculatoria

Clasificaciones	Tiempo
Muy Buena	Hasta 1 minuto
Buena	$> de 1$ hasta 5 minutos
Regular	$> de 5$ hasta 10 minutos
Mala	$> de 30$ minutos

*La forma de clasificar la libido de un animal tiene en cuenta el tiempo transcurrido desde el momento en que el macho se encuentra frente a la hembra hasta la realización del salto y el golpe de riñón.

Fuente: Cardozo et al. (2002).

Tabla 18. Criterios para determinar el comportamiento sexual en toros reproductores en función de la motilidad espermática

Motilidad	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Masal	Vigor 5	Vigor 4-5	Vigor 4	Vigor 3 (0-3)
Individual	$> 70 \%$	60-70 %	50-60 %	$< 50 \%$
Total de puntos	20	12	10	3

Para la evaluación se debe dejar al toro en descanso por 3 a 5 días. La prueba es individual y cada toro debe estar con una vaca en celo o estrogenizada por 5 minutos.

Fuente: Vale Filho, Reis, Pereira y Castro (1989).

Tabla 19. Criterios para determinar el comportamiento sexual de toros reproductores en función de la morfología espermática

Morfología	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Defectos mayores	$< 10 \%$	10-19 %	20-39 %	$> 29 \%$
Total de defectos	$< 25 \%$	26-39 %	40-59 %	$> 59 \%$
Puntos	40	25	10	3

Para determinar el porcentaje de anomalías espermáticas se procede a una tinción de eosina-nigrosina, que consiste en mezclar la eosina-nigrosina y el semen en cantidades iguales (una gota de cada una) y realizar un frotis para luego leerlo en el microscopio. Esta tinción, además de

determinar la morfología (anormalidades primarias y secundarias), permite evaluar la integridad de la membrana espermática y el porcentaje de vivos y muertos (los espermias que tiñen se determinan como muertos y con daño en la membrana espermática).

Fuente: Vale Filho et al. (1989).

Por otra parte, la circunferencia escrotal es un indicador indirecto de la cantidad de tejido testicular y, dado que es donde se producen los espermatozoides, esta medición tiene un valor muy alto dentro del porcentaje de evaluación (40 %) (Figura 24).



Foto: Otoniel Pérez L.

Figura 24. Medición de la circunferencia escrotal

Tabla 20. Interpretación de los indicadores de calidad espermática y circunferencia escrotal

Factores evaluados	Clasificación			
	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo
Motilidad espermática				
Global	Remolinos vigorosos	Remolinos lentos	Sin remolinos	Movimientos difíciles
Individual	Rectilínea rápida	Rectilínea moderada	Lineal recta a errática	Muy lenta a errática
Calificación	20	12	10	3
Morfología espermática				

Anormalidades primarias (%)	10	10-19	20-29	29
Anormalidades secundarias (%)	25	29-39	40-59	59
Calificación	40	25	10	3
Circunferencia escrotal (cm)				
Edad en meses				
12-14	34	30-34	30	30
15-20	36	31-36	31	31
21-30	38	32-38	32	32
> 31	39	34-39	34	34
Calificación	40	24	10	10
Calificación total	100	61	30	16

Fuente: Bavera y Peñafort (2003).

Pruebas de desempeño: Finalmente, para la adquisición de un toro reproductor se puede acudir a instituciones que realizan pruebas de desempeño (figura 25). AGROSAVIA (antes Corpoica), en asocio con Asocebú y Asocriollanos, realiza anualmente pruebas de comportamiento para seleccionar toros reproductores y brindar sementales de buena calidad a los productores. La prueba se basa en la expresión de crecimiento, conformación y evaluación reproductiva mediante ganancias de peso, clasificación lineal y evaluación de la calidad espermática. Por otra parte, AGROSAVIA también cuenta con los equipos para realizar el genotipado de los reproductores, procedimientos que contribuyen de forma segura al proceso de selección.



Fotos: José Guillermo Velásquez P.

Figura 25. a. Toretas cebú brahman en prueba de desempeño en potrero; b. Evaluación en el corral.

Recomendación final: Para la selección de un toro reproductor es importante que el productor se apoye con un profesional, quien evaluará su condición sanitaria, nutricional, reproductiva y sus características genotípicas.

Manejo de la hembra bovina en condiciones de la altillanura

En sistemas de ganadería de cría, el diagnóstico reproductivo es una herramienta que permite determinar el estado productivo inicial de las hembras que entran a programas o modelos técnico-económicos sustentables para la producción de carne. Una de las herramientas diagnósticas disponibles es la ultrasonografía, un procedimiento que permite evaluar de una forma más acertada el estatus ginecológico de la hembra y que, a su vez, orienta sobre las posibles opciones que tiene el ganadero para el manejo de las hembras aptas para reproducción y permite clasificarlas como *hembras preñadas* y *hembras vacías*.

En las hembras preñadas se determina la edad de gestación y se reubican en potreros de maternidad, mientras que las hembras vacías se evalúan como *cíclicas* y *no cíclicas*.

- 1) Las cíclicas, determinadas por palpación rectal ayudada con o sin ultrasonido, son las hembras que presentan un cuerpo lúteo funcional. Estas hembras tienen tres alternativas de manejo:

- a) Observación de celo natural e inseminación.
- b) Manejo hormonal con aplicación de un agente luteolítico e inseminación.
- c) Vacas que quedan en monta natural.

En las alternativas a y b se recomienda hacer una o dos inseminaciones; si la hembra repite, se manda a monta natural. De este grupo, las vacas que no queden gestantes por monta natural requieren una evaluación reproductiva adicional para determinar un posible tratamiento o descarte.

- 2) Las hembras no cíclicas, igualmente determinadas por palpación rectal ayudada con o sin ultrasonido, son las que no presentan un cuerpo lúteo funcional. En este grupo están:
 - a) Las vacas con días abiertos prolongados por causa de inactividad ovárica o patologías no detectadas en la evaluación reproductiva.
 - b) Las recién paridas, ya que su anestro es fisiológico, por lactación o por nutrición.

La recomendación para el primer grupo es que entren a un programa de reinicio de la actividad ovárica (RAO) mediante el uso de progestágenos y aplicación de estimuladores ováricos. Las vacas entran a monta natural para que el toro las bioestimule.

Las vacas recién paridas entran a un manejo nutricional estratégico basado en praderas con buena producción y contenido nutricional del forraje y, si es necesario, con programas de suplementación estratégica ajustados a sus requerimientos nutricionales. Estas vacas se suplementan estratégicamente por 50 días posparto; al finalizar, se realiza el manejo de amamantamiento restringido por 48 horas y una bioestimulación, y posteriormente se realiza la detección del celo y se inseminan. Las vacas que no presenten celo hasta el día 80 entran a un programa de reinicio de actividad ovárica (RAO) mediante el uso de progestágeno. Este grupo tiene tres alternativas:

- Vacas que quedan gestantes con una inseminación.
- Vacas que quedan gestantes con dos inseminaciones.
- Vacas que no quedan gestantes en la inseminación y van a monta natural.

De este grupo, las que no queden gestantes por monta natural son *vacas problema* y se realiza una nueva evaluación reproductiva para determinar un posible tratamiento o descarte.

La reproducción de la hembra bovina en condiciones de la altillanura (figura 26) frecuentemente se ve afectada por la baja calidad y la baja oferta alimenticia que habitualmente enfrentan los hatos, de manera que la implementación de esquemas de manejo que incluyan la suplementación estratégica son fundamentales para mejorar los índices reproductivos y productivos. En este sentido, se han realizado varios estudios (Medrano et al., 2001; Cobb, 2002; Pérez et al., 2010; Rincón et al., 2013; Bueno et al., 2015) que permiten al productor orientarse en la estrategia alimenticia que debe utilizar para manejar su ganadería.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 26. a. Vacas de la raza cebú brahman bajo manejo integral en la altillanura colombiana; b. Lote de vacas con sus crías.

Fertilidad y desarrollo de crías de vacas cebú con estrategias de alimentación en periparto

En estudios desarrollados en condiciones de la altillanura con vacas cebú de seis a nueve años de edad, con más de dos lactancias, se manejaron dos estrategias de alimentación en el periparto: 1) pastoreo de *B. decumbens* dos meses antes y después del parto, y 2) pastoreo de *B. decumbens* más suplementación 2 kg/día (26 % proteína y 4.000 cal/g de energía bruta). Dos meses después del parto se obtuvieron los siguientes resultados para las estrategias 1 y 2 respectivamente: recuperación del peso perdido en el posparto por las vacas en uno y dos meses; porcentaje de fertilidad al día 150 posparto del 57 y el 17 %;

natalidad para ese año del 77 y el 33 %; pesos promedio de los terneros al nacimiento de 23 y 25 kg; estos pesos representaron el 5,9 y el 6,3 % del peso de la vaca; pesos a los tres meses de 92 y 96 kg, y a los 8 meses, 155 y 159 kg; las ganancias diarias de peso desde el nacimiento al destete fueron de 567 y 542 g (Medrano et al., 2001). Los resultados permitieron concluir que el manejo estratégico alimenticio en el periparto influye positivamente en la reducción de los días abiertos posparto e indica grandes diferencias en la natalidad y en el desarrollo final de la cría, que presenta una tendencia positiva a favor de la estrategia 1 (tabla 21).

Tabla 21. Fertilidad y desarrollo de crías de vacas cebú manejadas con estrategias de alimentación en periparto en la altillanura

Tipo de alimentación en periparto	Fertilidad al día 150 (%)	Natalidad (%)	Peso al nacimiento (kg)	Peso a los 3 meses (kg)	Peso a los 8 meses (kg)	Ganancias de peso al destete (kg)
Estrategia 1	57 a	77 a	23 a	92 a	155 a	567 a
Estrategia 2	17 b	33 b	25 a	96 a	159 a	542 a

1: pastoreo de *B. decumbens* 2 meses antes y después del parto; 2: pastoreo de *B. decumbens* más suplementación 2 kg/día (26 % proteína y 4.000 cal/g de energía bruta). Las letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas.

Fuente: Medrano et al. (2001).

Actividad reproductiva de novillas cebú bajo diferentes estrategias alimenticias en época seca en la altillanura

En la reproducción, un aspecto importante es la etapa de crecimiento prepuberal y pospuberal, en donde la maduración sexual y el inicio posterior de la actividad reproductiva son etapas críticas asociadas a la nutrición. En este sentido, Velásquez et al. (2001), en el CI Carimagua, desarrollaron un estudio de actividad reproductiva basado en estrategias nutricionales durante la época seca, en donde se determinó, desde el destete, la edad y el peso a la pubertad y el porcentaje de fertilidad por monta directa. Los resultados señalaron las siguientes ganancias diarias de peso hasta los 22 meses, que indican respuestas significativamente diferentes entre tratamientos: con la estrategia 1 (pastoreo en *B. decumbens* + suplementación), de 528 g; con la estrategia 2 (pastoreo en sabana nativa + suplementación), de

442 g; con la estrategia 3 (pastoreo en *B. decumbens*), de 350 g, y con la estrategia 4 (pastoreo en sabana nativa), de 348 g.

Por otra parte, al hacer una evaluación de predicción se encontró que, hasta los 29 meses, por cada mes de vida, el aumento de peso fue significativamente diferente según los tratamientos analizados, con valores de 14,4 kg con la estrategia 1; 12,3 kg con la estrategia 2; 9,2 kg con la estrategia 3 y 6,18 kg con la estrategia 4. La edad a la pubertad se observó, para la estrategia 1, a los 21-24 meses, para la estrategia 2, a los 25-28 meses, para la estrategia 3, a los 29 meses, y para la estrategia 4, a los 32,5 meses. A la pubertad no se observaron diferencias de peso significativas entre tratamientos y se alcanzaron valores de 280, 295, 290 y 285 kg respectivamente.

De otra parte, con la estrategia 1 a los 22 meses se alcanzó una gestación del 40 %, y a los 29 meses, del 100 %; con la estrategia 2, a los 24 meses se logró un 13 % y a los 29 meses un 66 %, mientras que con las estrategias que no incluyeron la suplementación en época seca la gestación se inició después de los 30 meses de edad (Velásquez et al., 2001) (tabla 22). Este estudio permitió concluir que en condiciones de la altillanura colombiana la suplementación en época seca se constituye en una alternativa para mejorar el desarrollo de las novillas y su respuesta en términos reproductivos, aspectos de manejo nutricional que fueron considerados en el desarrollo de este trabajo.

Los estudios relacionados fueron la base para la retroalimentación del manejo estratégico de la ganadería en condiciones de la altillanura que se adelantó en el CI Carimagua, para mejorar los indicadores de producción y reproducción en bovinos de cría.

Tabla 22. Actividad reproductiva de novillas cebú con estrategias alimenticias en época seca en la altillanura colombiana

Tipo de alimentación en periparto	Ganancia de peso a los 22 meses (g)	Edad a la pubertad (meses)	Peso a la pubertad (kg)	Edad y % de gestación	% de gestación a los 29 meses
-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------

Estrategia 1	528 a	22,5 a	280 a	22 (40 %)	100
Estrategia 2	442 b	25,8 b	295 a	24 (13 %)	66
Estrategia 3	350 c	29,0 c	290 a	0	0
Estrategia 4	348 c	32,5 d	285 a	0	0

1: pastoreo en *B. decumbens* con suplementación en época seca de 1 kg (27 % proteína y 3.900 cal/g energía); 2: pastoreo en sabana nativa con suplementación en época seca de 1 kg (26 % proteína y 4.000 cal/g energía); 3: pastoreo en *B. decumbens* sin suplementación en época seca; 4: pastoreo en sabana nativa sin suplementación en época seca. Las letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas.

Se tomaron los pesos de los animales en ayuno en las horas de la mañana y se determinó la edad y el peso en la etapa pubertad según el comportamiento y la progesterona; el porcentaje de gestación se determinó por evaluación diagnóstica transrectal.

Fuente: Velásquez et al. (2001).

Crecimiento predestete de bovinos

Para definir la mejor opción de manejo en la etapa de crecimiento hasta el destete, se determinó el peso al nacimiento y el desarrollo de las crías del cruce F1 (BON x cebú) bajo los dos tratamientos de manejo: (T1) pastoreo y (T2) pastoreo + suplementación. Como resultado se obtuvo que el promedio de peso al nacimiento de F1 BON x cebú del T1 fue de 28,36 kg para las hembras y 28,56 kg para los machos, mientras que en el T2 fue de 28 kg para las hembras y 29 kg para los machos, valores que indican que los neonatos son de tamaño medio y que, en consecuencia, representan menores riesgos de partos distócicos, condición que se reflejó en apenas dos partos distócicos con muerte neonatal en los lotes de novillas de primer parto. Además, no se observó efecto del tipo de alimentación sobre el peso al nacimiento de las crías. Durante el periodo de evaluación (mayo 2011-abril 2017), los terneros se destetaron con edades entre ocho y nueve meses, y el peso se ajustó a nueve meses de edad. Estos se distribuyeron por separado según el tratamiento en las áreas adecuadas (destetadero) para este fin. Cada dos meses se realizó el monitoreo y la selección de los terneros a destetar.

Los destetos (machos y hembras) F1 BON x cebú del T1 (testigo) presentaron pesos promedio al destete ajustados a los nueve meses entre 161,9 y 173,9 kg,

mientras que los destetos del T2 (pastoreo + suplemento) presentaron pesos entre 171,2 y 190 kg.

Por otra parte, en el periodo de mayo de 2015 hasta abril de 2017 los terneros producto de la monta de toros con vacas de la raza cebú manejadas con los dos esquemas de alimentación (T1: pastoreo y T2: pastoreo + suplementación) presentaron, con el T1, pesos al destete promedio entre 188,9 y 195,4 kg, y los terneros del T2 alcanzaron valores entre 211,6 y 223 kg (tabla 23, figura 27), lo cual evidencia un incremento sustancial (14,9 a 20,3 %) en el peso al destete como consecuencia del cambio en la genética de los hatos experimentales.

Tabla 23. Peso (kg) al destete ajustado a 9 meses de machos y hembras de raza BON x cebú y cebú x cebú en condiciones del CI Carimagua (2011-2017)

F1 BON x cebú		Cebú x cebú	
2011-2015		2015-2017	
T1 (pastoreo)	T2 (pastoreo + suplemento)	T1 (pastoreo)	T2 (pastoreo + suplemento)
161,9-173,9	171,2-190,0	188,9-195,4	211,6-223,0

Edad de destete: línea de base de 10 meses.

Fuente: Pérez et al. (2017).

En forma general, un mejor perfil nutricional asociado al T2 (pastoreo + suplementación) permitió un mayor desarrollo (11,5 a 13,1 %) al destete de bovinos machos y hembras en relación con los semovientes manejados bajo pastoreo.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 27. Novillas destetas. a. BON x cebú; b Cebú, en pastoreo de *B. dictyoneura* en condiciones de la altillanura.

Edad y peso de monta en novillas

Como práctica de manejo antes de la monta, todas las novillas fueron evaluadas reproductivamente con apoyo de ultrasonido (figura 28) para determinar las condiciones del tracto reproductivo y descartar las hembras con alteraciones anatómicas que pudieran impedir un normal comportamiento. Posterior a la monta, fueron evaluadas nuevamente para definir su condición reproductiva y ubicación para realizar un seguimiento del estado gestacional hasta antes del parto, para ser trasladadas a un potrero destinado para este fin.



Fotos: Otoniel Pérez L.

Figura 28. Evaluación del estado reproductivo de hembras bovinas. a. Palpación; b. Ecógrafo

En la práctica, en condiciones del CI Carimagua, el manejo integral del sistema de producción permitió que las novillas F1 BON x cebú bajo pastoreo de *B.*

dictyoneura (T1) entraran a monta a una edad de 19 a 27 meses, con peso vivo entre 323 y 356 kg. Cuando se manejaron en el T2 (pastoreo + suplementación en época seca), iniciaron la monta con 19 a 26 meses de edad y un peso de 320 a 364 kg (tabla 24). La edad al primer parto de las novillas, bajo las condiciones implementadas de manejo integral del sistema de producción, usando como base alimenticia *B. dictyoneura* con y sin suplementación, se pudo reducir aproximadamente en 14 meses en relación con los datos reportados en la región para ganaderías con manejo tradicional.

En Australia, Burrow (2012) demostró que el uso de vacas brahman cruzadas con toros de diferentes razas puede beneficiar las tasas de crecimiento y la mayoría de las características de calidad de la canal y la carne, además de incrementar la rentabilidad. Los resultados de este trabajo demuestran que el manejo integral de los animales da la posibilidad de reducir la edad a la pubertad, con pesos adecuados para la monta, en relación con reportes de Grajales, Hernández y Prieto (2006), Padilla, Castillo, Peña y Belchez (1982) y Martínez, Galina, Basurto, Lamothe y Aluja (1988).

Tabla 24. Edad (mes) y peso (kg) al primer servicio de hembras BON x cebú en condiciones del CI Carimagua

Parámetros	Base	Periodo 2011-2016	
		T1 (Pastoreo)	T2 (Pastoreo + suplementación)
Edad primer servicio (mes)	> 30	19-27	19-26
Edad primer parto (mes)	> 48	31-36	29-35
Peso promedio primer servicio (kg)	270	313-356	320-364

Fuente: elaborado con base en datos de campo del proyecto (2011-2016)

Comportamiento reproductivo de la vacada bajo el manejo integral

Entre mayo de 2011 y abril de 2015 se observó que en la vacada del T1 (testigo, pastoreo) el intervalo entre partos (IEP) promedio fue de 569,6 días y la natalidad del 66,82 %. Para el mismo lapso, en el T2 (pastoreo + suplemento) el IEP fue de 495,7 días, comportamiento que permitió una natalidad del 75,6 %. Para el

periodo de mayo de 2015 a abril de 2017 los bovinos del T1 presentaron una natalidad de 73,2 % y un IEP de 517,7 %, mientras que en el T2 la natalidad fue de 77,2 % y el IEP de 482,1 días. Al igual que en la edad y el peso de monta de las novillas, la suplementación estratégica y el pastoreo en pasturas de *B. dictyoneura* en la época seca generó un efecto positivo sobre el intervalo entre partos y la natalidad en las vacas.

La combinación de prácticas como el manejo de praderas, la suplementación estratégica, el mejoramiento de las condiciones de confort animal y el uso de razas adaptadas evidenció una mejora en los indicadores productivos y reproductivos de bovinos de cría en condiciones del CI Carimagua, confirmando lo expuesto por Thatcher et al. (2010), que indican que entre los factores que inciden sobre el crecimiento y el desarrollo reproductivo del animal en sistemas tropicales se destaca el estado nutricional y la falta de definición de estrategias claras de manejo integrado reproductivo en cada uno de los periodos del ciclo productivo. A la situación planteada se agrega el estrés ambiental que sufren los animales debido a la falta de prácticas adecuadas, acordes con su estado fisiológico.

Al contar con personal experto y con las condiciones de manejo adecuado de los hatos, en el CI Carimagua se logró establecer en forma exitosa un programa de inseminación con eficiencias que superaron el 70 % (figura 29). Estas prácticas favorecen de forma más rápida el mejoramiento genético que la monta natural, ya que se puede escoger el semen del toro que puede corregir algunos defectos y mejorar la ganadería.



Fotos: José Guillermo Velásquez P.

Figura 29. a. Termo de conservación de semen; b. Práctica de inseminación artificial.

Manejo de la salud en bovinos de cría en la altillanura

En condiciones del CI Carimagua, se realizó el seguimiento continuo de los parámetros sanitarios en los diferentes grupos de animales experimentales durante seis años y se desarrollaron ajustes y validaciones basados en la implementación de prácticas de manejo integrado de parásitos externos y de los protocolos sanitarios diseñados para los diferentes grupos etarios y estados reproductivos. Así mismo, se continuó el trabajo iniciado en el año 2013 sobre el estatus sanitario del hato, con el diagnóstico de enfermedades virales como la diarrea viral bovina (DVB) y la rinotraqueítis infecciosa bovina (IBR), leucosis, parainfluenza PI3, virus sincitial respiratorio bovino, neosporosis y leptospirosis.

Entre los esquemas de manejo integrado para garrapatas y moscas, se incluyó el uso y la aplicación estratégica de inhibidores de quitina, el suministro diario de flor de azufre en la sal mineralizada, en una proporción de 40 kg de sal por 1 kg de flor de azufre. La implementación de la flor de azufre y sus niveles de ingesta se determinaron con base en diferentes estudios realizados no solo en Colombia (Villar, Gómez & Pérez, 1992; Villar & Martínez, 1999; Villar, 2006), sino en Rusia y EE. UU. (McDowell, Conrad, Ellis & Loosli, 1984), donde comprobaron la importancia de la suplementación del azufre en la dieta de los

animales como mediador en la síntesis proteica en el rumen, que permite mejorar la productividad, la digestibilidad de los alimentos, la tonicidad y demás sirve para tratar las parasitosis externas. Se efectuaron diagnósticos coproparasitarios al 50 % del hato en forma aleatoria cada tres meses, con el fin de hacer seguimiento y ver la dinámica de los parásitos internos. Para efectuar las vermifugaciones, se realizó un diagnóstico previo y posteriormente, en caso de requerirlo, se aplicaron productos comerciales como albendazol y febendazol en dosis ajustada de acuerdo con el peso vivo y la condición fisiológica de los animales. Además, se aplicó un regulador orgánico con vitaminas A, D, B y minerales como coadyuvante para jóvenes y adultos.

Así mismo, se incluyó el uso de trampas para captura de moscas en los potreros con el fin de bajar poblaciones adultas, y para disminuir poblaciones de formas inmaduras se aplicó cal viva en los sitios determinados como propicios para su proliferación. Como medida complementaria y fundamental, se hizo énfasis en asegurar una carga adecuada de animales y una rotación oportuna de las áreas de pastoreo. Las medidas de manejo integrado que se instauraron en el hato se basaron en investigaciones realizadas en el piedemonte llanero de Meta y Casanare (Cassalett, Parra & Onofre, 2013), donde las trampas para moscas y el manejo de la materia fecal y detritus orgánicos, considerados como métodos físicos de control de poblaciones, fueron fundamentales para la reducción de diversos tipos de moscas como la *S. calcitrans*, *H. irritans* y *M. domestica*. Las trampas de captura (12) se construyeron con una superficie blanca (plástico de 4 mm con adhesivo para atrapar a los dípteros, con forma triangular, de un metro de altura) y se ubicaron en sitios estratégicos de proliferación de moscas (junto a los sesteaderos, silos, bebederos o saladeros y cerca al corral) con el fin de capturar los dípteros recién emergidos de la materia fecal o de los detritus orgánicos (Cassalett et al., 2013, Cassalett, Julio, Parra & Baldrich, 2011). El uso de la cal fue una práctica complementaria para cambiar el pH de la materia fecal y generó mortalidad en las larvas de las moscas *Haematobia irritans*. Cada 8 a 15 días, se aplicó cal viva en las áreas donde se observaba acumulación de materia fecal (sesteaderos, saladeros, comederos, corral y alrededor de los silos).

Con el fin de evaluar el comportamiento de las cargas de garrapatas y moscas en la ganadería, una vez implementado el manejo integrado de plagas (MIP), se

realizó seguimiento mediante 24 evaluaciones a todos los animales, por lo general, con una distribución trimestral, con excepción del año 2014, que fue semestral. La ganadería de Carimagua tenía como problema principal el nivel de infestación de garrapatas, el cual permanecía en niveles promedio por animal de 65 teleoginas o más antes de comenzar la implementación del MIP. Una vez se combinaron las diferentes estrategias la caída de la población de garrapatas fue dramática, al punto que 18 meses postratamiento con MIP los niveles bajaron un 76 % y un 98 % a los 30 meses después de la implementación. A pesar de los cambios en las condiciones climáticas de la altillanura, las poblaciones de garrapatas permanecieron en niveles de bajos a nulos durante los últimos tres años, solamente se observó un pico de población en el año 2014 de 11 teleoginas/animal, pero en el 2017 las infestaciones de los animales fueron, en promedio, de 1 garrapata/bovino (figura 30). En cuanto a las moscas, su control fue efectivo, pero las dinámicas de la población asociadas a sus hábitos y los cambios de clima, especialmente por la precipitación que tuvo un rango mayor de variación en relación con la humedad y la temperatura, generó picos de población en todos los años de estudio, particularmente hacia los meses de mayo-junio. Las moscas capturadas en las trampas y las obtenidas mediante jameos en los animales fueron identificadas taxonómicamente y se determinó que, en general, el 85 % de la población pertenecía a la especie *Haematobia irritans*, seguida por un 11 % de *Stomoxys calcitrans* y un 4 % perteneciente a otras especies como *Musca domestica*, *Fannia thelaziae*, *Muscina* spp. y *Chloropidae* spp., entre otros. Una vez implementados los MIP, se observó una reducción en la población del 37 % a los 22 meses, que llegó al 92 % de reducción a los 30 meses post MIP. Actualmente los niveles de moscas en el hato se encuentran entre los más bajos históricamente en la población.

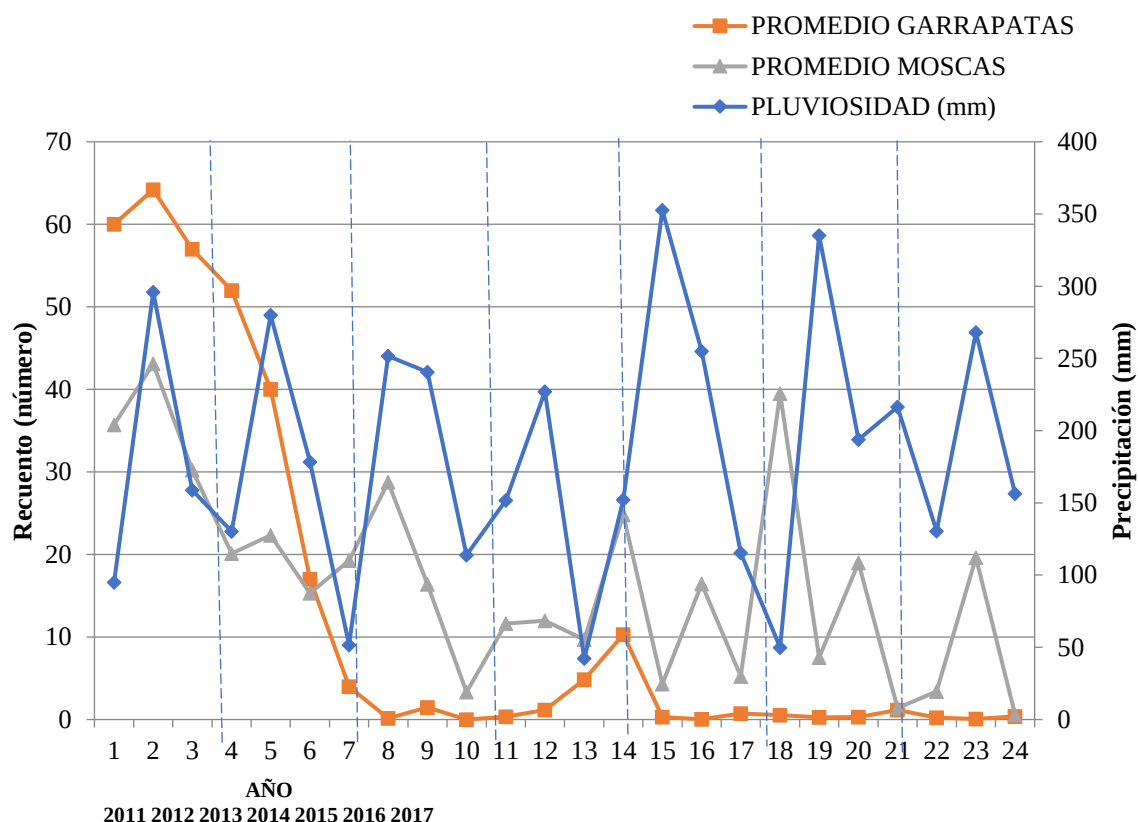


Figura 30. Promedio en los recuentos de hemilado de garrapatas y moscas en bovinos de cría del CI Carimagua (2011-2017).

Fuente: Pérez et al. (2017)

Al comparar los recuentos promedio de garrapatas y moscas entre los bovinos en pastoreo ($T1 = M1$) y los que recibieron suplementación en la época seca ($T2 = M2$), para la variable *recuento de garrapatas* no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los lotes $M1$ y $M2$ en ninguna de las épocas evaluadas, al igual que para la variable *promedio recuento de moscas*, pero sí se observó una tendencia a un mayor nivel de infestación, tanto de garrapatas como de moscas, en el grupo no suplementado ($M1$) (figura 31). Esto con excepción del año 2015, donde el lote $M2$ presentó un incremento en el número promedio de moscas debido a la introducción o recambio de bovinos, que hasta ese momento venían siendo manejados con un esquema de control de moscas tradicional que generó, inicialmente, un impacto negativo para la evaluación,

pero que una vez se incluyeron en el MIP se logró nuevamente un equilibrio persistente en la población de parásitos externos (figura 31).

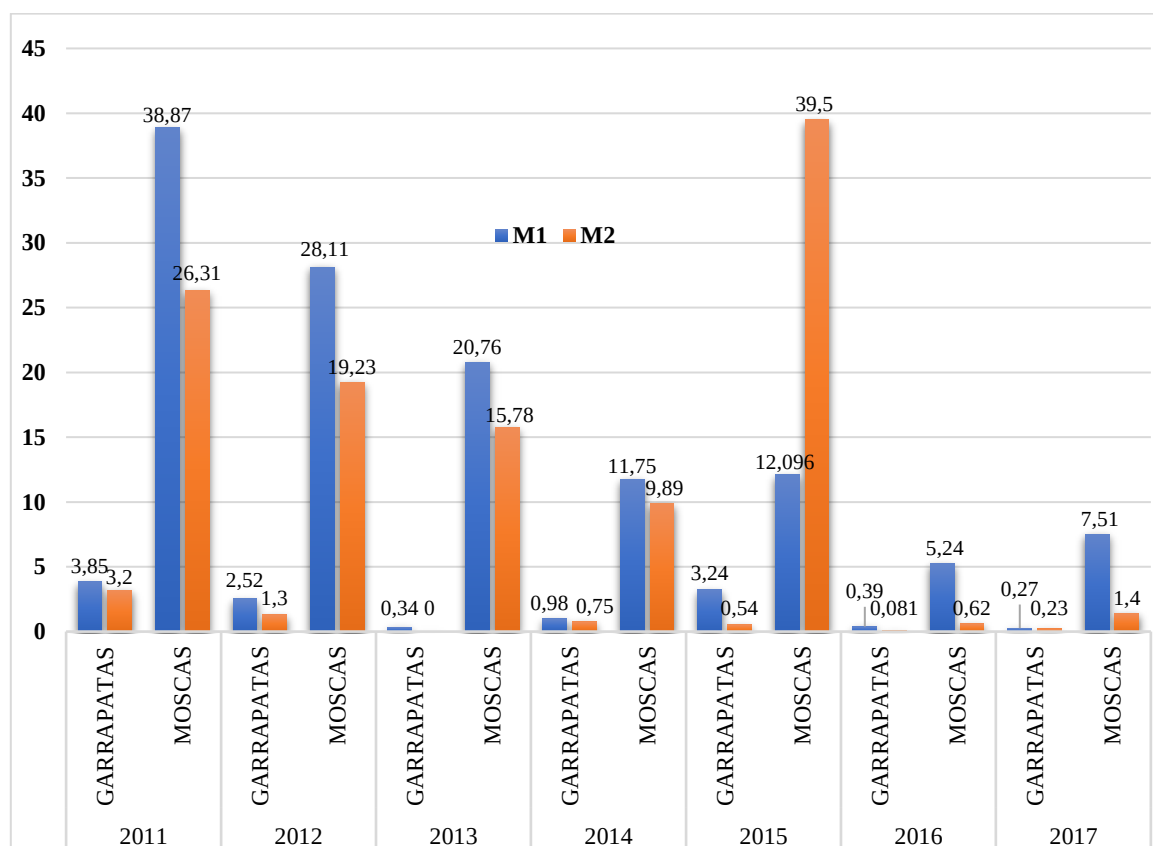


Figura 31. Comparación del promedio de recuentos de garrapatas y moscas entre bovinos de T1 pastoreo (M1) y T2 pastoreo + suplemento (M2) en el sistema de cría del CI Carimagua (2011-2017).

Fuente: Pérez et al. (2017).

La determinación de indicadores epidemiológicos en Carimagua incluyó el establecimiento de las prevalencias globales de punto verdaderas para enfermedades virales, bacterianas y parasitarias. Se estableció la prevalencia verdadera de las principales enfermedades virales de control no oficial y se encontró que la que más afecta los grupos de animales fue el virus respiratorio sincitial bovino, con una prevalencia verdadera de 27,97 %, con una sensibilidad y especificidad de la prueba de un 97,4 %, el cual predominó en animales

mayores de 24 meses. Así mismo, se determinó que la variable sexo es considerada un factor de riesgo para la presencia de la enfermedad en el hato. El hematocrito (HTC) fue altamente significativo, con un valor de $P = 0,00727$. Los valores de infestación de garrapatas tuvieron una distribución normal en la población muestreada que no fue significativa para la presencia de la enfermedad ($P = 0,41937$), a pesar de que tuvo una frecuencia en la población del 38,43 %, pero fue significativa con relación a la infestación de moscas, especialmente la *Haematobia irritans* que fue la de mayor prevalencia en la población, donde $P = 0,00803$.

El virus de rinotraqueítis infecciosa bovina (IBR) se encontró como el segundo virus de importancia, con prevalencias verdaderas del 33,98 %. Esta enfermedad, causada por el herpesvirus bovino tipo 1 (HVBo-1), es un padecimiento del ganado bovino doméstico y salvaje y se ha estudiado previamente en fincas de productores doble propósito, donde ha mostrado prevalencias entre el 62,79 y el 66,81 % en el piedemonte del Meta, mientras que en el piedemonte del Casanare oscilaron entre un 64,20 y un 72,25 % (Cassalett et al., 2011). Para el IBR, el sexo es considerado un factor de riesgo, donde $PR = 1,0749$, aunque en la prueba de Bartlett la significancia obtuvo valores de $p = 1$. Los animales mayores de 24 meses son los más susceptibles a esta enfermedad. La relación observada entre el virus de IBR y factores hemáticos evidenció que para el hematocrito (HCT) no existen diferencias significativas $p > 0,05$ con la prueba paramétrica de Bartlett $P = 0,05860$ y con leucocitos. Debido a que los datos no están distribuidos normalmente, se recurre a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis donde el valor de $p = 0,0869$, lo que indica que no es significativa la leucocitosis y la presencia de IBR ($p > 0,05$).

El virus de la parainfluenza tipo 3 (PI3) fue considerado el tercero en importancia, con una prevalencia verdadera del 17,56 %. Los virus de la parainfluenza son miembros de la familia Paramyxoviridae. Es una enfermedad leve que presenta descargas a nivel de las mucosas nasales y oculares, con fiebre y aumento del ritmo respiratorio. Si bien no hay trastornos severos, el virus se replica en células del sistema inmune (macrófagos) causando una disminución de la respuesta contra agentes bacterianos.

Los valores de $RP = 0,9337$ obtenidos al evaluar la variable sexo con el PI3 permiten inferir que no es considerado como un factor de riesgo para la presencia de la enfermedad y que la edad no tiene significancia ($P = 0,07214$) de acuerdo con la prueba paramétrica de Bartlett. Los parámetros hemáticos evaluados como el HCT, con una desviación estándar de 7,5, permiten inferir que no hay significancia entre los dos grupos de animales y esto se confirma con la prueba de Bartlett ($p > 0,05$), con un $p = 0,38343$, donde el HCT no es significativo con los animales reactivos. Para el factor de leucocitos, P muestra un valor en la prueba de Anova $< 0,05$, lo que significa una gran variabilidad entre los grupos de animales con una distribución de los datos de una forma no homogénea, para lo cual se aplica la prueba de Kruskal-Wallis, donde $P = 0,0491$ ($p < 0,05$), lo que permite inferir que los niveles de leucocitos son altamente significativos con la enfermedad. Los valores obtenidos en el recuento de garrapatas y moscas se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) por no mostrar una distribución homogénea, donde no se evidencian diferencias significativas ($P = 0,4766$) para el recuento de garrapatas, a diferencia del recuento de moscas, donde sí se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a la presencia del PI3 en la población bovina de Carimagua, con valores de $P = 0,0028$.

En Carimagua, el virus de diarrea viral bovino (VDVB) se presentó como el cuarto en importancia, con prevalencias verdaderas del 14,09 %. Según la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2015), el VDVB es un pestivirus que pertenece a la familia Flaviviridae y que está estrechamente emparentado con los virus de la peste porcina clásica y de la enfermedad ovina de la frontera. Ambos genotipos (1 y 2) se clasifican como especies independientes del género Pestivirus.

Las prevalencias encontradas en los hatos están dentro de los rangos reportados en estudios previos en el piedemonte llanero, en 17 predios del sistema doble propósito de Casanare, que presentaron reactividad entre el 3,13 y el 66,67 %, y en 16 predios del sistema doble propósito del Meta, con reactividades entre el 10 y el 74,42 % (Cassalett et al., 2011). Esta enfermedad puede ser subclínica o convertirse en un proceso grave que ocasiona la muerte del animal. Los animales IP constituyen el principal reservorio del virus en las poblaciones y excretan grandes cantidades de virus en la orina, las heces, las secreciones

corporales, la leche y el espermatozoides. La detección de las reses IP es crucial para el control de la infección (OIE, 2009).

En la población bovina de Carimagua, el sexo no es considerado un factor de riesgo para la presencia de la DVB, con un $RP = 0,8263$, a pesar de que se diagnosticó una prevalencia mayor en las hembras que en los machos de un 98,78 %. Para los parámetros hemáticos, el HCT, HGB y recuentos de leucocitos no evidenciaron diferencias estadísticas significativas, con valores de $p = 0,9552$, $p = 0,9225$ y $p = 0,2446$ respectivamente.

En cuanto a la leucosis bovina enzoótica (LBE), con una prevalencia verdadera de 12,51 % en Carimagua, es una enfermedad del ganado bovino causada por el virus de la leucemia bovina (VLE), miembro de la familia Retroviridae. Para esta enfermedad viral no fueron considerados como factores de riesgo el sexo ni la edad de los animales $RP < 1,0$, y esto se confirmó con la significancia en la prueba de Bartlett, donde se obtuvieron valores de $p = 1,0$. El recuento de leucocitos tampoco mostró diferencias significativas, con un $p = 0,6155$, al igual que los valores de HCT, con un $p = 0,7873$. Según la OIE (2009; 2012), el ganado puede infectarse a cualquier edad, incluida la fase embrionaria. Aunque la mayoría de las infecciones son subclínicas, cuando se presentan síntomas clínicos estos dependen de los órganos afectados. Los bovinos con linfosarcomas casi siempre mueren de manera súbita o a las pocas semanas de la aparición de los signos clínicos.

Para las enfermedades bacterianas, las prevalencias aparentes de *Leptospira hardjo* diagnosticadas en Carimagua fueron del 39,45 %, con una prevalencia verdadera del 39,4 %, sin que se evidenciaran signos de la enfermedad de aparición repentina de agalaxia, ictericia y hemoglobinuria, sobre todo en animales jóvenes, aunque su forma crónica se presenta con abortos, nacidos muertos, nacimiento de animales débiles (tal vez prematuros), infertilidad e insuficiencia renal crónica. Al respecto, Cotrino (1998) reportó que *Leptospira hardjo* a nivel nacional tenía una prevalencia serológica del 22,9 % para individuos y un 34,2 % para hatos, valores inferiores a los encontrados en este estudio, y que para *Leptospira pomona* la positividad era del 5,5 % para individuos y del 11,1 % en los hatos. Sin embargo, otras leptospirosis como *L.*

canicola y *L. icterohemorrhagiae* no se reportan y pueden tener importancia en la alteración del estado reproductivo por su diseminación a través de perros y roedores.

Para el *Mycobacterium paratuberculosis* se obtuvieron prevalencias aparentes del 0 %, lo que significa que este patógeno no está afectando el hato y su circulación no fue diagnosticada. Esta enfermedad de distribución mundial afecta principalmente a bovinos y caprinos, pero también se ha encontrado en especies como caballos, cerdos, ciervos, alpacas, llamas, conejos, armiños, zorros y comadreas.

Esta enfermedad causa importantes pérdidas económicas en las ganaderías debido a la disminución en la producción de leche, el incremento en el número de casos de mastitis, el aumento de los costos por el reemplazo temprano de los animales del hato, la pérdida de la condición corporal de los animales y a que predispone al bovino a sufrir otras enfermedades infecciosas, lo que, en conjunto, reduce los ingresos del ganadero (Gilardoni & Mundo, 2008).

La información sobre la prevalencia de paratuberculosis bovina en América Latina, incluyendo a los exportadores importantes de carne como Brasil y Argentina, es nula, sin reportes a la OIE entre 2005 y 2009, mientras que Colombia es uno de los pocos países que ha reportado esta enfermedad a la OIE, con 29 casos de 3.179 animales ensayados y 50 casos confirmados. Esto sería solo la punta del iceberg, teniendo en cuenta que menos del 0,02 % del ganado colombiano fue muestreado para esta enfermedad en los últimos cinco años.

Se estableció la prevalencia verdadera de hemoparásitos como *Anaplasma marginale* (figura 32), *Babesia* spp., *Trypanosoma* spp. y del protozoario *Neospora caninum* utilizando dos técnicas: por extendidos sanguíneos y por serología. Por extendidos sanguíneos, el *Anaplasma marginale* fue el hemoparásito de mayor prevalencia, con un 5,82 % y 32 animales positivos en Carimagua. Las prevalencias verdaderas en *Babesia* spp. y *Trypanosoma* spp. fueron nulas.

Lo anterior permite inferir que no se evidencia un problema de hematozoarios en el hato de Carimagua, dado que sus prevalencias tanto aparentes como

verdaderas son bajas con relación a la media regional y nacional (50 %), y a pesar de que existen vectores, como dípteros de diferentes géneros, garrapatas y condiciones medioambientales que permiten su adecuado desarrollo y coinfección, la tasa de inoculación posiblemente es muy baja ($< 0,01$), a pesar de que la proporción de infección oscila entre un 75 % al 100 % en edades muy tempranas (menores de nueve meses) (Useche, 2010).

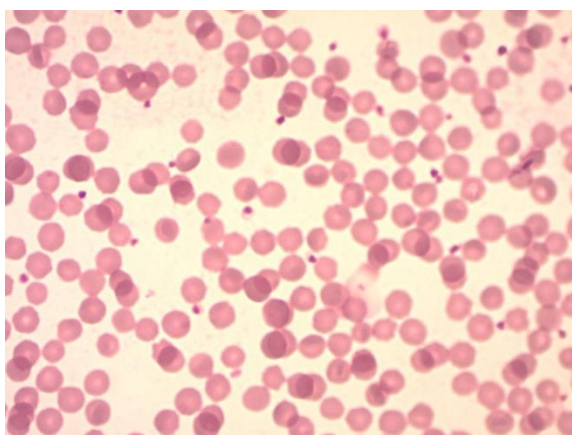


Figura 32. *Anaplasma marginale* en bovinos del CI Carimagua

Fuente: Pérez et al. (2017).

La edad de los animales no se consideró como un factor estadísticamente significativo para la presencia de ninguno de los hemoparásitos analizados ($p < 0,05$), con valores de $P = 0,0695$ para *Anaplasma* spp., $P = 0,8439$ para *Babesia* spp. y *Trypanosoma* spp. $P = 0,9749$, aunque los animales que presentaron mayor prevalencia aparente fueron los del rango de cero a seis meses de edad. Los valores hematológicos evaluados permitieron verificar que hay diferencias significativas $p < 0,05$ de *Anaplasma* spp. con relación a niveles de HCT y eosinófilos, con un $P = 0,0257$ y $P = 0,4976$ respectivamente, aunque para HGB no fue significativo $p > 0,05$. En cuanto a *Babesia* spp. y *Trypanosoma* spp., los valores hematológicos no presentaron diferencias significativas con $P > 0,05$ para HCT de $P = 0,7492$ en *Babesia* spp. y $P = 0,9965$ para *Trypanosoma* spp. La concentración de HGB presentó para *Babesia* spp. un $P = 0,6218$ y para *Trypanosoma* spp. un valor de $P = 0,5679$; el recuento de eosinófilos obtuvo valores de $P > 0,05$.

Las serologías para *Neospora caninum* mostraron prevalencias verdaderas del 19,05 %, que confirma que la neosporosis es una enfermedad parasitaria que se encuentra establecida en un alto porcentaje de los hatos ganaderos (media de la zona del 95,7 %), donde intervienen como hospederos intermediarios los caninos. De acuerdo con las prevalencias encontradas en estudios previos en la Orinoquia colombiana (Cassalett et al., 2011), el promedio de *Neospora* fue mucho mayor (83,33 %) que el reportado actualmente en el hato de Carimagua.

El protozoo *Neospora caninum* se encontró distribuido en toda la población bovina y no se observaron diferencias significativas entre la edad y la neosporosis ($P = 0,0632$), aunque los animales mayores de 24 meses fueron los que presentaron las mayores prevalencias (77,32 %). A igual que para otras etiologías analizadas, el sexo (macho/hembra) juega un papel importante como factor de riesgo ($P = 1,0898$), ya que para el caso en particular de la *Neospora caninum* hubo más machos que hembras reactivos (39,76 %), aunque en la población bovina el sexo (hembra/macho) no fue considerado como un factor de riesgo ($RP = 0,8531$).

Para las poblaciones bovinas de Carimagua, ninguno de los valores hemáticos analizados, HCT, leucocitos y eosinófilos, mostraron diferencias significativas, con resultados de $P = 0,1242$, $P = 0,367$ y $P = 0,4932$ respectivamente.

De acuerdo con las cargas de parásitos internos, estadísticamente se determinó que los huevos por gramo (HPG) son considerados como un factor de riesgo de la enfermedad ($RP = 1,0122$) y los recuentos de ooquistes por gramo (OPG) muestran una tendencia, pero no son considerados claramente como un factor de riesgo para la presentación de la neosporosis en los bovinos ($RP = 0,8194$).

Se estableció también la prevalencia verdadera de parásitos gastrointestinales (HPG), ooquistes de *Eimerias* spp. (figura 33), *Moniezia* spp. (figura 34) y *Dyctiocalus viviparus*, y se presentó una prevalencia aparente de 27,63 % y de OPG de 11,84 %. La prevalencia se mantuvo durante todos los años de estudio, con ciertas variaciones debido posiblemente a que existe una mayor carga animal/ha y porque existe mayor cantidad de animales jóvenes que son más susceptibles a coinfecciones de parásitos gastrointestinales que los animales

adultos. En cuanto a los ooquistes, su presencia se debe a la mayor cantidad de fuentes de agua contaminada y aumenta cuando se presentan las épocas de lluvias. Llama la atención de la presencia de *Moniezia* spp. (tenia) en bovinos, que ya ha sido reportado en trabajos anteriores en los Llanos Orientales como uno de los parásitos comunes de las ganaderías de esta zona del país (Villar, Sánchez & Parra, 2000).

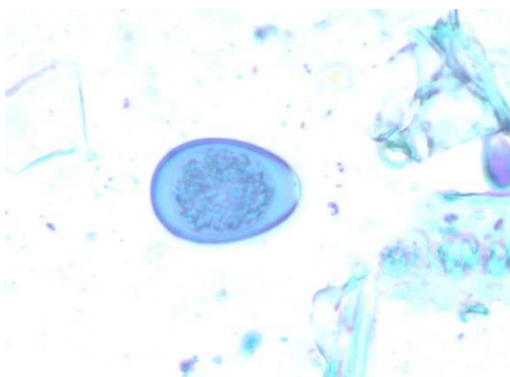


Figura 33. *Eimeria zuerni* en bovinos del CI Carimagua
Fuente: Pérez et al. (2017).

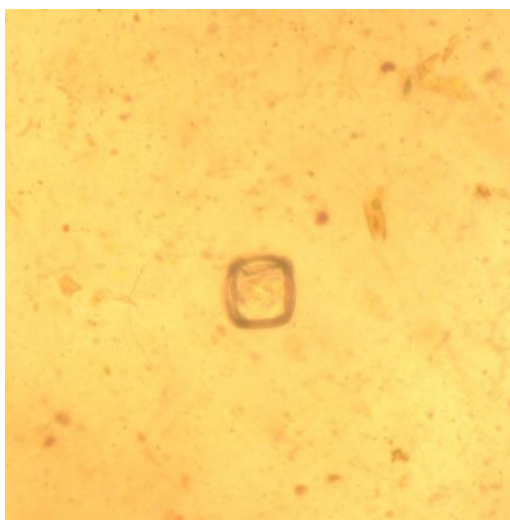


Figura 34. *Moniezia* spp. en bovinos del CI Carimagua
Fuente: Pérez et al. (2017).

Los otros dos parásitos reportados en los coproparasitarios fueron *Toxocara* spp. (figura 35) y *Dyctiocaulus viviparus*, los cuales también son reportados como comunes en los bovinos de los Llanos Orientales (Villar et al., 2000), con mayor prevalencia en los animales jóvenes menores de seis meses de edad, lo que puede coincidir con el hecho que este parásito se transmite a través de la placenta. No se obtuvieron recuentos de parásitos hepáticos (*Fasciola hepatica*), pero sí se evidenciaron recuentos de *Paramphistomum*.

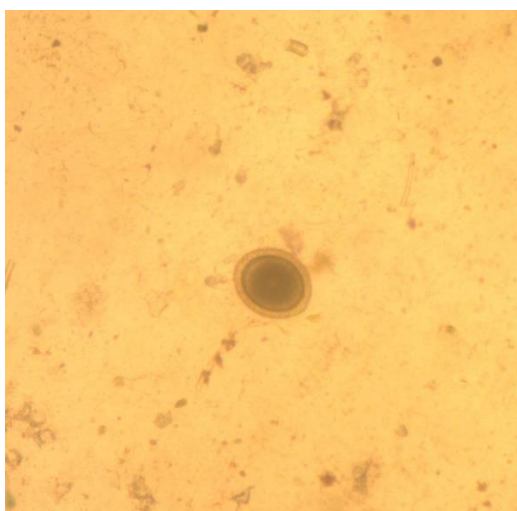


Figura 35. *Toxocara* spp. en bovinos del CI Carimagua

Fuente: Pérez et al. (2017).

Las prevalencias obtenidas para las diferentes etiologías que se estudiaron en los bovinos en el CI Carimagua presentaron valores por debajo de las medias nacionales y regionales que se han registrado en estudios previos en Colombia. Para enfermedades virales como la rinotraqueítis infecciosa bovina, la prevalencia verdadera de la población en Carimagua fue del 33,98 %, un valor muy por debajo de los obtenidos en otros estudios en el país, con seroprevalencias del 59,3 % en el Caquetá y del 74,7 % en Córdoba, 66,79-66,81 % en el piedemonte del Meta y 64,2-72,23 % en el piedemonte del Casanare (Rivera, Benito, Ramos & Manchego, 2004; Betancur, González & Reza, 2006). Para el virus de diarrea viral bovina se obtuvieron prevalencias verdaderas del 14,09 % una seropositividad muy baja, incluso al compararla con los históricos nacionales que mostraban valores de reactividad de 58,7, 47 y

18,4 %, con promedios de 47,2 % en la región Caribe, Andina y Llanos Orientales respectivamente (Griffiths, Gallego & Villamil, 1982). Así mismo, en los estudios de Rivera et al. (2004) se reportan seroprevalencias del 35,5 % en ganados del Caquetá, mientras que Vargas et al., (2009) reportaron reactores del 62,7 % en Boyacá. En países como Brasil, Argentina, Colombia y Chile se reportan prevalencias con variaciones entre regiones, pero con tasas superiores al 70 % (Lértora, 2003).

La leucosis bovina enzoótica presentó valores de prevalencias verdaderas del 12,51 % y, al igual que con las otras enfermedades virales, se trata de un resultado mucho menor que los obtenidos por Griffiths et al. (1982), con seroprevalencias de 24,9, 15,3 y 14,4 % para las regiones Andina, Llanos Orientales y Caribe, con un promedio del 21,9 %. Para enfermedades bacterianas como la leptospirosis, los valores encontrados en el hato de Carimagua fueron del 39,4 %, muy superiores al promedio histórico nacional de 21,7 %, al igual que las seroprevalencias reportadas en la zona de los Llanos Orientales y la zona Andina, del 24,8 y el 14,4 % respectivamente, y del Caribe, con 38,2 % (Griffiths et al., 1982). En investigaciones realizadas en Perú, en bovinos adultos se encontró que el 52,2 % de los animales tuvieron anticuerpos contra *Leptospira* spp. (Rivera et al., 2004). En el caso de enfermedades como la paratuberculosis, se presentan seroprevalencias altas en los hatos ganaderos nacionales, internacionales y regionales que pueden llegar al 35 % en Nariño y Antioquia (Benavides, Arteaga & Montezuma, 2016); en Florida (EE. UU.) presentan un 82,7 % en hatos lecheros infectados (Tiwari, Vanleeuwen, McKenna, Keefe & Barkema, 2006) y en Venezuela el 72,1 %. Sin embargo, estos valores son mayores a los encontrados en Argentina, con el 18,8 % de fincas lecheras afectadas, el 32,9 % en Brasil y el 28,7 % en México. En Canadá, Tiwari et al. (2006) reportaron que la prevalencia oscilaba entre el 9,8 y el 40 % al emplear la prueba de Elisa, la cual aumentó cuando se empleó el cultivo fecal como prueba diagnóstica (28-57 %). Llama la atención que el hato de Carimagua no presenta reporte de seropositivos con paratuberculosis, un estatus sanitario que sugiere mantener medidas zoonosanitarias especiales para evitar la contaminación posterior.

Las enfermedades parasitarias y las cargas de garrapatas y moscas sobre los bovinos del hato igualmente presentaron niveles bajos al correlacionarlos con las medias nacionales y regionales, donde para hemoparásitos solamente presentó reporte de positivos en el 5,82 % de la población para *Anaplasma marginale*, y del 19,05 % para *Neospora caninum*, la cual tiene reportes previos en la zona de estudio del 95 %, y de *A. marginale* del 14 al 63 % (Cassalett et al., 2011).

Prácticas de manejo sanitario

Entre las prácticas de manejo sanitario y para el tratamiento de eventos de salud en los hatos experimentales se implementaron los siguientes protocolos:

Manejo del ternero

Desde dos semanas antes del parto, las vacas deben ser trasladadas a un lote de maternidad con buena disponibilidad de forraje, sombrero y agua. Al momento del parto, cuando se requiera, se debe apoyar, situando correctamente el ternero y ejerciendo tracción en el sentido de la expulsión del neonato en forma manual, así como monitorear al ternero para asegurar el consumo de calostro. Cuando el parto ha sido normal, generalmente el ternero se incorpora rápidamente, encuentra la glándula mamaria y empieza a alimentarse con calostro. Cuando los tiempos se dilatan, se interviene y se observan los siguientes reflejos en el ternero:

- Reflejo de cierre de los ojos al tocar los párpados.
- Reflejo de succión: se introduce el dedo en la boca del ternero y este debe succionar.

Cuando los terneros presentan dificultades en la incorporación, se ayudan frotando el animal, con un trapo limpio, en el sentido contrario de la dirección del pelaje para facilitar la circulación. Cuando el ternero no tiene fuerzas para incorporarse o para mamar, se ordeña la vaca extrayendo el calostro y se le suministra al ternero en una botella con biberón. Se deben obtener aproximadamente tres litros y fraccionar esta cantidad en tres o cuatro tomas para el ternero en las primeras seis horas de vida.

El calostro

El calostro es la primera secreción de la glándula mamaria que sigue al parto, es rica en inmunoglobulinas, células de inmunidad celular e interleukinas (las tres están catalogadas dentro de la denominación de *defensas*), enzimas protectoras, como lactoferrina y lactoperoxidasa, y nutrientes para el ternero, como lactosa, grasa, proteínas, vitaminas y minerales. Cumple el calostro una doble función, la de nutrición y la de defensa inmunológica del ternero para los primeros meses de vida. Ello hace que el calostro sea la secreción animal más rica en nutrientes y en factores protectores para la salud animal (Reyes, Parra & Flórez, 2016).

El calostro se constituye en la defensa inmunológica del ternero que suministra la vaca porque las inmunoglobulinas (defensas) no atraviesan la placenta y, al no atravesarla, el ternero nace agamaglobulinémico (sin defensas) y es susceptible de contraer las infecciones que el medio ambiente o la finca tiene establecidas. Si el ternero consume el calostro, entonces esas defensas pasan del sistema digestivo a la circulación sanguínea y recorren el cuerpo, sus órganos y sistemas y defienden al recién nacido de las infecciones (Reyes et al., 2016). Este alimento natural, altamente concentrado en nutrientes, especialmente proteínas, inmunoglobulinas, azúcares y minerales, diseñado para sustentar la inmunidad y sobrevivencia de los terneros, puede conservarse para su posterior suministro a los terneros, a manera de un banco rotativo de calostro de la finca.

El calostro para conservar debe reunir los siguientes requisitos:

- Debe ser de color amarillo, denso y cremoso, para que tenga mayor probabilidad de tener altas concentraciones de nutrientes y de inmunoglobulinas.
- De vacas sanas, de buena condición corporal, que estén entre segundo y cuarto parto; desechar el de vacas que hayan presentado dificultad al parto, retención de placenta o mastitis.
- Debe utilizarse el calostro sobrante del primer amamantamiento del ternero, ordeñando a profundidad con una buena rutina de higiene.

- Se prefiere el calostro de vacas que en promedio produzcan en pastoreo menos de seis litros de leche para una mejor concentración de sólidos, que requieren menores volúmenes para almacenar.
- El calostro no debe presentar coloración rojiza, ni contaminación visible con sangre, ni coloración blancuzca similar a la leche.
- La colecta debe hacerse en forma higiénica para disminuir al máximo la posibilidad de contaminación bacteriana.
- Se puede almacenar en bolsas plásticas herméticas hospitalarias de 500 ml, de las que se usan para sueros. Rotule las bolsas con la fecha de congelación y la vaca o vacas donantes.
- Congelar a -20°C . Si no hay descongelaciones ni variaciones de la temperatura por carencia de energía eléctrica, el calostro puede conservarse por seis a ocho meses, tiempo en el cual se congela un nuevo calostro y el que se descongela se emplea para la alimentación de los terneros o de otras especies domésticas. Los calostros descongelados no deben volver a congelarse.
- Cuando necesite descongelar el calostro, hágalo lentamente, al baño de maría, hasta que este entre 35 y 37°C , empáquelo en biberones y suminístrelo a los terneros que lo requieran.
- Durante las primeras seis horas de vida del ternero recién nacido, se pueden suministrar entre 2,5 a 3,0 litros de un calostro de buena calidad, fraccionados en tres o cuatro tomas.
- El calostro sobrante de las vacas recién paridas, debido a la calidad y las altas concentraciones de componentes, puede utilizarse como alimento para terneros diluyendo un litro de calostro en tres litros de agua. Se debe suministrar fresco durante los primeros seis días posparto, periodo en el cual aún no se constituye en leche; además, es un contaminante que dificulta los procesos de transformación si se adiciona a la leche comercializable.

Curación del ombligo del recién nacido

En las primeras seis horas de nacido, se realiza la curación preventiva del ombligo del ternero porque es la comunicación entre el exterior y el interior, razón por la cual debe evitarse esa vía de entrada con el fin de prevenir infecciones que pueden ir directamente a las articulaciones, el pulmón o el sistema nervioso.

La curación del ombligo consiste en cortar el cordón umbilical a una distancia de 5 o 6 cm de la base de la piel, recorriéndolo previamente de arriba hacia abajo para evacuar la mayor cantidad de sangre; se secciona con unas tijeras u otro instrumento limpio y desinfectado y se hace una inmersión total del cordón remanente en una solución de alcohol y yodo al 10 %. No deben usarse medicamentos veterinarios innecesarios, como ivermectinas, antibióticos y desinfectantes con pesticidas, para prevenir las infecciones y la miasis del ombligo (miasis: colonización del ombligo o de las heridas por larvas de mosca): si se hace la curación preventiva en forma oportuna y correcta no es necesario incrementar los costos de producción con medicamentos.

En la altillanura, entre las enfermedades más comunes en la fase neonatal están las diarreas, los terneros nacidos débiles, la onfalitis (inflamación del ombligo) y el enflaquecimiento progresivo; algunos problemas respiratorios, las poliartritis y una fracción de los denominados “nacidos débiles” pueden explicarse parcialmente por la falta de curación preventiva del ombligo en las primeras ocho horas de vida y la garantía de ingestión de calostro en las primeras seis.

Diarreas

Las diarreas en los terneros tienen dos características: una diarrea blanquecina (diarrea de leche) que, de acuerdo con la evolución, puede pasar a diarrea semiverdosa, denominada *diarrea neonatal aguda indiferenciada* (DNAI), que se presenta en los primeros diez días de vida.

Los enteropatógenos más frecuentes asociados a la diarrea neonatal aguda indiferenciada son: la bacteria *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC), el protozoo *Cryptosporidium parvum*, los coronavirus y rotavirus, y puede eventualmente asociarse también con *Salmonella* spp. y *Clostridium perfringes*.

En el tratamiento de este tipo de DNAI lo importante es mantener la hidratación de los animales, ya que la diarrea es severa y extrae agua del animal, deshidratándolo. Se puede suspender por 24 horas el suministro de leche e hidratar el ternero con un suero casero (un litro de agua hervida, dos cucharadas

de azúcar y una cucharada de sal) al 10 % del peso calculado, es decir, entre tres y cuatro litros distribuidos en varias tomas. Este tipo de diarrea, si se trata con hidratación, rápidamente se controla.

El otro tipo de diarrea frecuente, que se observa en edades más avanzadas, es la diarrea negra, que es una hemorragia intestinal con diarrea originada por coccidias que los terneros adquieren en los corrales, los establos y los terneriles. Cuando la diarrea aparece ya hay una importante lesión intestinal que dificulta la absorción de nutrientes y, además, una hemorragia por severas lesiones intestinales. Los coccidiostatos son importantes y efectivos en el caso clínico, pero la prevención está en el aseo de corrales, establos y terneriles.

Parasitismo

Los terneros nacen libres de parásitos y se infestan cuando entran en contacto con superficies o camas de terneriles infestadas o ingieren alimento o agua contaminados con las formas de vida libre de los parásitos o sus huéspedes intermediarios.

Se considera una sintomatología compatible con infestaciones parasitarias cuando los animales muestran uno o más de los siguientes signos: pobre apetito (anorexia), crecimiento retardado, debilidad general, tos, pelaje áspero, enflaquecimiento progresivo, diarrea persistente de color verdoso o sanguinolento y muerte.

El pastoreo rotacional reduce las infestaciones parasitarias, ya que los periodos de descanso afectan la viabilidad y las poblaciones de larvas L3. El pastoreo continuo no es una actividad recomendada para la pradera ni para el control del parasitismo, ya que puede promover abundantes poblaciones de larvas L1, L2 y L3 que infectan y reinfectan a los animales en pastoreo.

Las praderas excesivamente contaminadas, que posiblemente estén degradadas por su uso continuo, pueden someterse a tecnologías de renovación o recuperación, lo cual permite que haya una buena disponibilidad y calidad de forraje y una carga de larvas infestantes escasa, ya que los procesos de

labranza, exposición al sol y tiempo de recuperación disminuyen ostensiblemente su población.

El uso de antiparasitarios debe ser estratégico para interferir el ciclo de los parásitos y debe acompañarse de otras prácticas, que incluyen el aseo de las instalaciones, la rotación de praderas, el manejo de la altura de pastoreo, una adecuada alimentación y nutrición, la disposición eficiente de excretas en los establos y los corrales, el ordenamiento del pastoreo por grupos de edad, el uso estratégico de antiparasitarios por grupos de edad y la asesoría profesional idónea.

El uso de antiparasitarios en las vacas en ordeño debe ser cuidadoso, bajo prescripción veterinaria, con el fin de que no se suministren medicamentos que se eliminan en leche, se acumulan en musculo y afectan la salud animal, la salud humana y los procesos industriales de producción de derivados lácteos. Cuando se suministren antiparasitarios, siga las instrucciones del inserto del producto y observe el tiempo de retiro para reingresar la vaca a la cadena alimenticia.

Los potreros de maternidad y de terneros que no se rotan y son empleados en forma permanente presentan altas cargas de formas no parasíticas de parásitos gastrointestinales, que van a estar infestando los terneros continuamente y ocasionan retardo en el crecimiento, anemia e incluso muerte de terneros. Debe adicionarse, además de la presencia de altas cargas de larvas parasitarias en este tipo de potreros, la pérdida de vigor de la pradera por la ausencia de periodos de descanso, lo que interfiere también en la alimentación y el desarrollo de los terneros.

Entre el tercer y cuarto mes de vida están apareciendo las primeras infestaciones de parásitos gastrointestinales de los terneros, época que coincide con una menor oferta de leche; así mismo, es el momento en que el ternero empieza a tener un desarrollo ruminal importante y un consumo de pasto que complementa el suministro de leche.

Si necesita aplicar un esquema antiparasitario, acuda a la orientación de un médico veterinario y tenga en cuenta aspectos como la eliminación del producto, los riesgos ambientales, la persistencia dentro del ternero, el estado corporal de los animales y el manejo y uso de las praderas con los terneros y las vacas.

Vacunas recomendadas

Las vacunas recomendadas están asociadas con las fechas y la edad que la autoridad sanitaria nacional (el ICA) tiene establecidas para las campañas oficiales de control.

- Vacuna contra la fiebre aftosa a todos los terneros mayores de tres meses.
- Vacuna contra la brucelosis bovina a todas las hembras de entre tres y nueve meses, una vez en la vida.

Se recomienda, para la prevención de la brucelosis bovina, aplicar a las terneras la vacuna RB51 (rugosa de *Brucella* 51), que permite distinguir infectados de vacunados, no es de riesgo para la salud humana y no produce aborto en las novillas o vacas preñadas.

Para los terneros y terneras también se recomienda la vacunación contra el carbón sintomático. Se sugiere que no se use con otras vacunas, sino que sea específica contra el carbón sintomático y se aplique a los tres meses, antes del destete, y dos veces al año, coincidiendo con los ciclos de la vacunación antiaftosa, hasta que los animales tengan tres años de edad.

Cualquier otra vacunación requerida deberá provenir de la recomendación del ICA o por criterio del médico veterinario sobre la salud en la región y en la finca. Algunas regiones de los departamentos de la Orinoquia que tienen historial de presentación de la rabia bovina paresiente, transmitida por el vampiro común, deberán hacer aplicaciones de esta vacuna, en lo posible con asesoría del ICA.

Componente de suelos y ambiente

Los cambios en el uso del suelo generan variaciones en las características químicas, físicas y biológicas que dependen en gran medida del tiempo y el grado de intervención realizado bajo una condición específica. De esta manera, la sustitución de sabanas nativas o praderas degradadas de los Oxisoles de la altillanura plana de la Orinoquia colombiana por nuevos sistemas de manejo generan modificaciones en las propiedades del suelo que pueden ser o no

favorables para la productividad y la sostenibilidad del sistema de ganadería de cría de esta región. Teniendo en cuenta lo anterior, en experimentos establecidos en Oxisoles de la altillanura plana de la Orinoquia colombiana se realizaron diversos muestreos en las sabanas nativas y las praderas introducidas para conocer los efectos de distintos usos del suelo sobre algunas de sus características físicas, químicas, biológicas y ambientales.

Efecto de las estrategias de manejo sobre la condición química del suelo

Para conocer los efectos de diferentes tipos de manejo y de uso del suelo sobre las características químicas de Oxisoles de la altillanura, se tomaron muestras disturbadas de suelo a dos profundidades, 0 a 10 cm y 10-20 cm, y sobre estas se determinaron las variables descritas en la tabla 25. Los sistemas analizados fueron: pradera introducida 1, pradera introducida 2, arbóreas, parche de árboles espontáneos, cultivos-pastos 1 (rotación 1), cultivos-pastos 2 (rotación 2) y cultivos-pastos 3 (rotación 3) (tabla 2). Se analizó la información siguiendo un diseño completamente al azar. Los factores fijos fueron los sistemas, el tiempo y la profundidad, y los factores aleatorios fueron asociados con la repetición. El análisis se efectuó bajo la teoría de medidas repetidas en el tiempo cuando la autocorrelación temporal era significativa; para tal caso, se evaluaron diferentes matrices de covarianza usando Proc GLIMMIX de SAS versión 9.3.

Tabla 25. Propiedades químicas y metodologías utilizadas en laboratorio

Variable	Metodología
pH relación 1:1	Potenciómetro
S (mg/kg)	Azufre extractable (fosfato Ca). Turbidimetría
Materia orgánica	Walkley-Black. Espectrometría molecular
K (cmol/kg)	Potasio intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Ca (cmol/kg)	Calcio intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Mg (cmol/kg)	Magnesio intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
Al (cmol/kg)	Aluminio cambiante (KCl 1M). Volumetría
Na (cmol/kg)	Sodio intercambiable. Espectrometría de absorción atómica
CIC (cmol/kg)	Capacidad intercambio catiónico (amonio acetato). Volumetría
B (mg/kg)	Espectrometría molecular

Fe (mg/kg)	Hierro extract. Doble ácido Ab.At. Espectrometría de absorción
Mn (mg/kg)	Manganeso extract. Doble ácido Ab.At. Espectrometría de abs.
Cu (mg/kg)	Cobre extract. Doble ácido Ab.At. Espectrometría de absorción
Zn (mg/kg)	Zinc extract. Doble ácido Ab.At. Espectrometría de absorción

Fuente: Pérez et al. (2017).

En forma general, se logró determinar que el carbono total, pH, Ca, Mg y P en el suelo presentaron efectos significativos debido al tipo de coberturas o tipo de manejo, profundidad del suelo y tiempo de uso, como se evidencia en la tabla 26.

Tabla 26. Análisis de varianza realizados para el contenido de nutrientes en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo en el CI Carimagua (2011-2016)

Fuente de variación	C total		pH		Calcio		Magnesio		Fósforo	
	F value	Pr > F	F value	Pr > F	F value	Pr > F	F value	Pr > F	F value	Pr > F
Sistema	4,64	0,0015	11,56	< ,0001	7,03	< ,0001	9,56	< ,0001	5,79	< ,0001
Profundidad	255,10	< ,0001	55,45	< ,0001	173,87	< ,0001	200,25	< ,0001	48,45	< ,0001
Sistema x profundidad	0,94	0,4701	3,98	0,0009	2,91	0,0090	2,30	0,0349	5,18	0,0001
Año	122,06	< ,0001	35,33	< ,0001	14,64	< ,0001	14,10	< ,0001	9,75	< ,0001
Sistema x año	2,60	0,0014	4,96	< ,0001	6,25	< ,0001	5,32	< ,0001	7,40	< ,0001
Año x profundidad	13,53	< ,0001	2,23	0,0914	3,93	0,0092	6,95	0,0025	5,88	0,0011
Sistema x año x profundidad	0,52	0,9682	3,16	< ,0001	4,75	< ,0001	3,60	< ,0001	5,75	< ,0001

Valores de α de los efectos < 0,05 son considerados significativos.

Fuente: Pérez et al. (2017).

El carbono total del suelo presentó cambios simultáneos relacionados con el sistema de uso evaluado y el tiempo de uso del suelo; asimismo, presentó cambios generados por la profundidad de muestreo en el tiempo de uso. De esta forma, los mayores valores se encuentran en los primeros 10 cm de suelo donde los contenidos oscilan entre 3,2 % en el año 2012 y disminuye en forma significativa a 2,1 % en el cuarto año de evaluación. Situación similar sucede entre los 10 y los 20 cm de profundidad, donde el valor máximo de 2,0 % se obtiene en el año 2012, mientras para el cuarto año este valor disminuye a 1,3 %, con un efecto más evidente en los usos de suelos con cultivos anuales y pasturas. Este efecto muestra un agotamiento del C del suelo en los primeros años de evaluación debido a la mineralización de la materia orgánica del suelo por efectos de la mecanización realizada para el establecimiento inicial de cultivos transitorios (figura 36).

El pH del suelo siguió una tendencia similar a la obtenida con el carbono orgánico (tabla 26), donde los valores oscilaron entre 4,07 y 5,79. Se encontraron los mayores pH en los primeros 10 cm de suelo, excepto para el año 5 de evaluación, donde no se encuentran diferencias a nivel de profundidades. Así mismo, las mayores variaciones entre sistemas se encontraron en los sistemas cultivos-pastos, debido a la aplicación de correctivos que afectan el pH del suelo (figura 37).

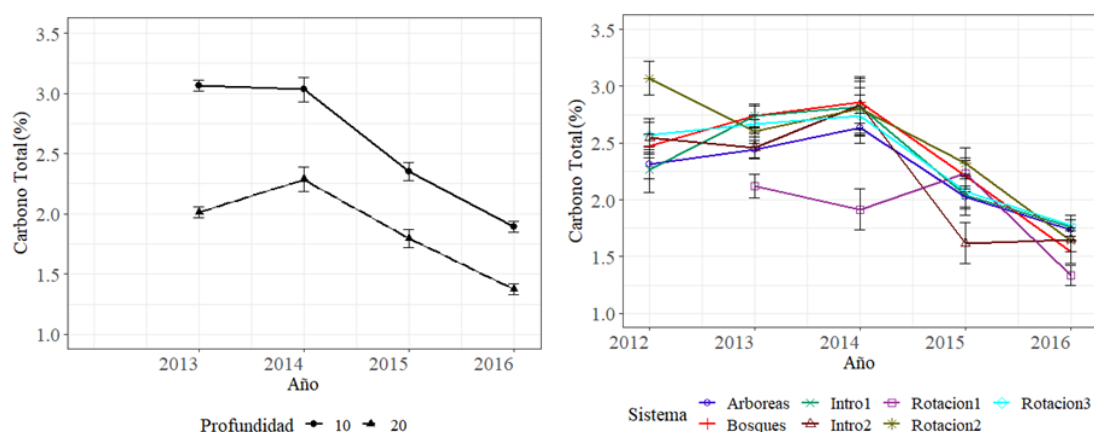


Figura 36. Carbono total en el suelo (%) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016).

Fuente: Pérez et al. (2017).

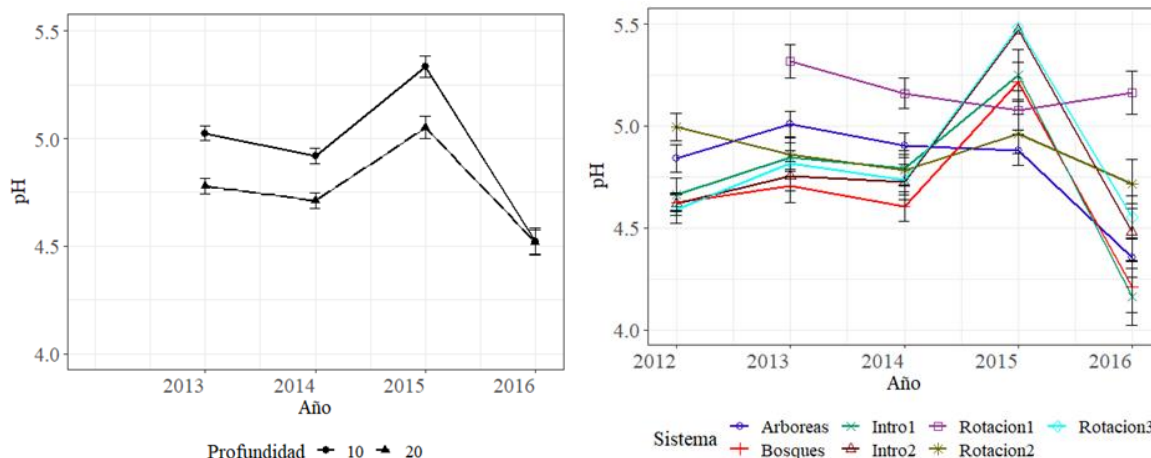


Figura 37. pH en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Los contenidos de calcio y magnesio en el suelo presentaron variaciones originadas por el manejo, el tiempo de uso y la profundidad en el suelo. Los mayores contenidos de Ca y Mg se encontraron en la profundidad de 0 a 10 cm, donde se destacan las parcelas que recibieron aplicación de correctivos (1 a $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de cal dolomita) en los sistemas de rotación cultivos-pastos (rotación 1, 2 y 3). Los contenidos de Ca y Mg oscilaron entre $0,19\text{-}3,41 \text{ cmol.kg}^{-1}$ y entre $0,06\text{-}0,93 \text{ cmol.kg}^{-1}$, respectivamente (figuras 38 y 39).

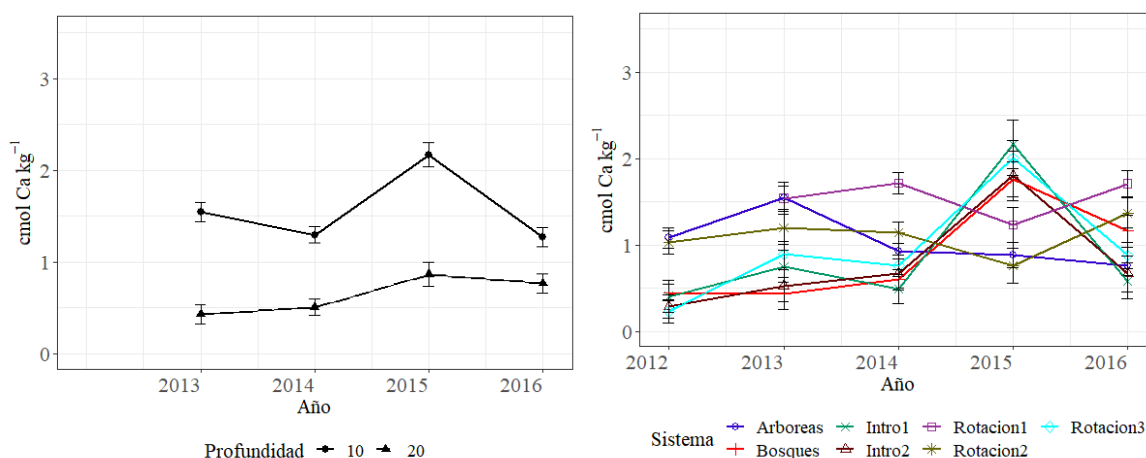


Figura 38. Calcio en el suelo (cmol.kg^{-1}) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

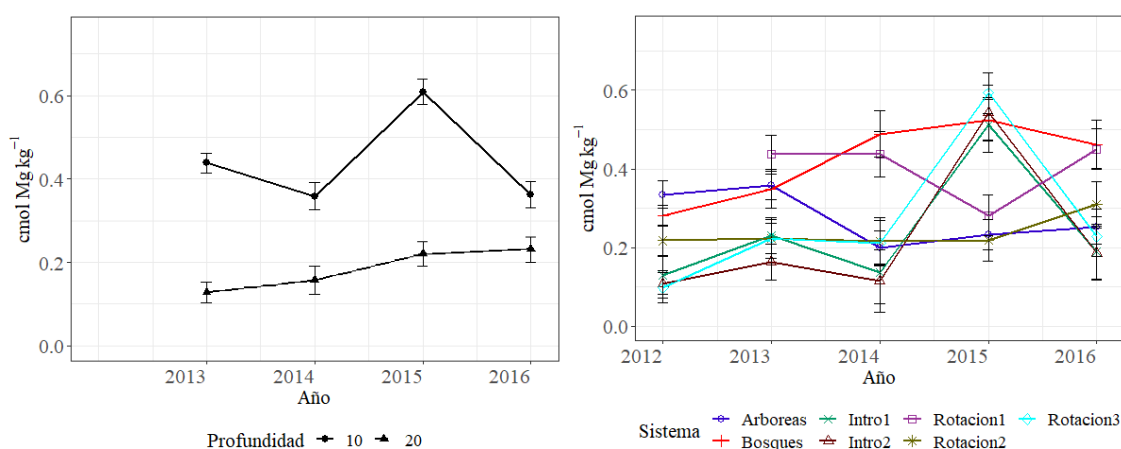


Figura 39. Magnesio en el suelo (cmol. Kg^{-1}) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

El fósforo en el suelo siguió una tendencia similar al Ca y el Mg, donde los mayores contenidos se encontraron en los primeros 10 cm del suelo y se destacan las parcelas que recibieron la adición de nutrientes, como los sistemas

cultivos-pastos (1, 2 y 3). Los contenidos de P oscilaron entre 1,5 y 6,0 mg.kg⁻¹ (figura 40), un valor considerado como bajo para una adecuada nutrición con este nutriente (Baquero, 2012).

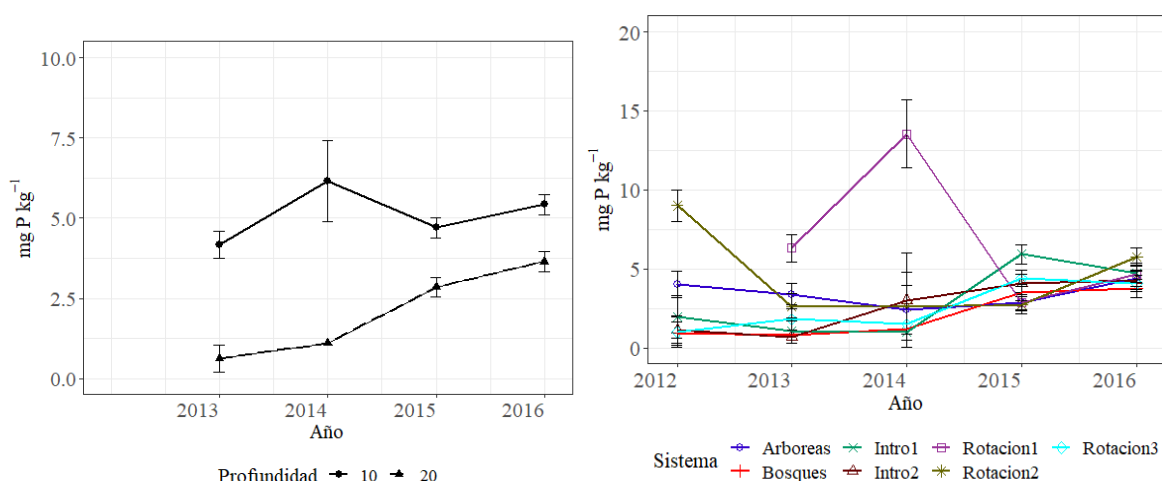


Figura 40. Fósforo en el suelo (mg.kg⁻¹) en un Oxisol de la altillanura plana a dos profundidades (cm) y bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Efecto de las estrategias de manejo sobre la condición física del suelo

Para el análisis físico, se tomaron muestras de suelo no disturbadas en cilindros metálicos de volumen fijo (100-300 cm³) a dos profundidades (0 a 10 cm y 10 a 20 cm) para determinar la textura (método Bouyoucos), la densidad aparente, la densidad real, la porosidad total, la distribución del tamaño de los poros, la humedad volumétrica y las curvas de retención a dos puntos (0,1 y 1,5 bares). El análisis de los datos obtenidos permitió encontrar que las variables de macro, meso y microporos fueron las que mayores variaciones presentaron debido a los manejos utilizados, en las dos profundidades de suelo y durante el periodo de evaluación (tabla 27).

Tabla 27. Análisis de varianza para las variables físicas de un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo en el CI Carimagua (2011-2016)

Fuente de variación	Mesoporos		Macroporos		Microporos	
	F	Pr > F	F	Pr > F	F	Pr > F
Sistema	4,94	0,0001	1,91	0,1158	4,46	0,0047
Profundidad	6,26	0,0135	5,5	0,0232	185,21	< ,0001
Sistema x profundidad	0,30	0,9355	0,68	0,6627	0,17	0,9841
Año	32,65	< ,0001	10,7	< ,0001	23,69	< ,0001
Sistema x año	6,03	< ,0001	3,1	0,0002	3,81	< ,0001
Año x profundidad	0,75	0,5576	1,21	0,3326	2,29	0,0625
Sistema x año x profundidad	0,46	0,9848	0,99	0,4750	1,14	0,3033

Fuente: Pérez et al. (2017).

La mesoporosidad del suelo está asociada a la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas: a mayor mesoporosidad, mejor disponibilidad de nutrientes y agua. Esta variable presentó variaciones originadas por el manejo y el cambio de uso del suelo en los cinco años de evaluación. En términos generales, los valores de mesoporosidad oscilaron entre 4,98 y 15,6 %, donde los mayores valores se encontraron para el primer año, principalmente por la acción de la labranza en los manejos de suelo donde se involucraron cultivos transitorios y rotación con pastos. En los años posteriores los valores de mesoporosidad se estabilizaron entre 5 y 8 % (figura 41).

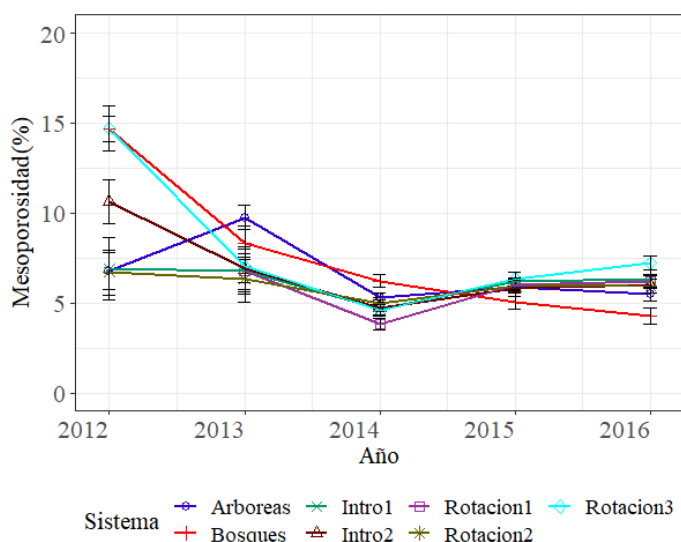


Figura 41. Mesoporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Estos resultados corroboran el efecto resiliente del suelo cuando se mantiene en una situación no disturbada, lo cual hace que este tienda a retomar su condición física natural. En este sentido, en los sistemas ganaderos la compactación del suelo, relacionada con la reducción de los espacios porosos ocasionada por el pisoteo de los animales, es la principal causa física que restringe el crecimiento y el desarrollo de las raíces. Las raíces de la vegetación natural o de los cultivos cumplen una función como subsoladores biológicos y se convierten en un método de restauración de la porosidad en las capas u horizontes densos (Medina, 2016).

La macroporosidad presentó variaciones significativas generadas por el tipo de manejo y el uso del suelo en los diferentes años de evaluación, con valores que fluctuaron entre 2,8 y 13,8 %. En términos generales, las mayores variaciones se presentaron en los manejos de cultivos transitorios-pastos (rotaciones), y en menor proporción donde la actividad de remoción de suelo fue baja o nula (arbóreas y bosques) (figura 42).

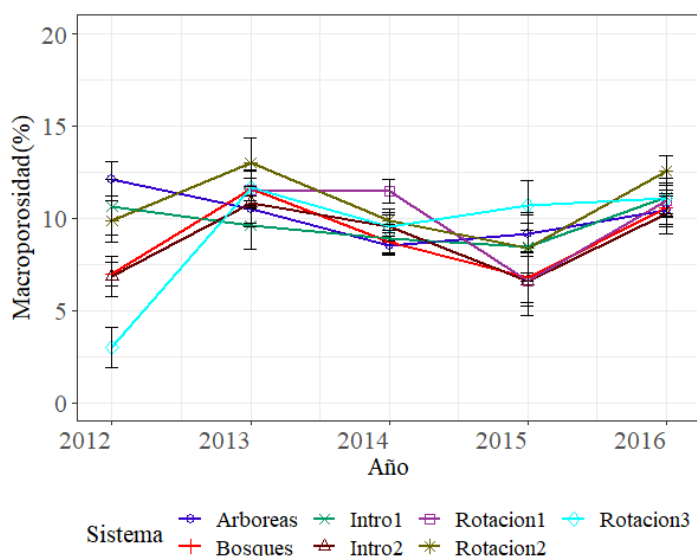


Figura 42. Macroporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

La microporosidad presentó variaciones significativas, con valores que fluctuaron entre 27,71 y 39,11 % (figura 43). En términos generales, la microporosidad fue el componente de mayor contribución a la porosidad total y fue menos afectada por los sistemas de producción y labranza durante el ciclo de evaluación. Los mayores valores de microporosidad se encontraron en gran parte de los periodos de evaluación en los cuales se realizaron labores de remoción de suelo por efecto de la labranza (rotaciones cultivos-pastos). De forma similar, los menores valores para esta variable se encontraron en las parcelas de bosques y arbóreas donde no se realizaron intervenciones al suelo o se hicieron al principio del proceso (año 2011) (figura 43).

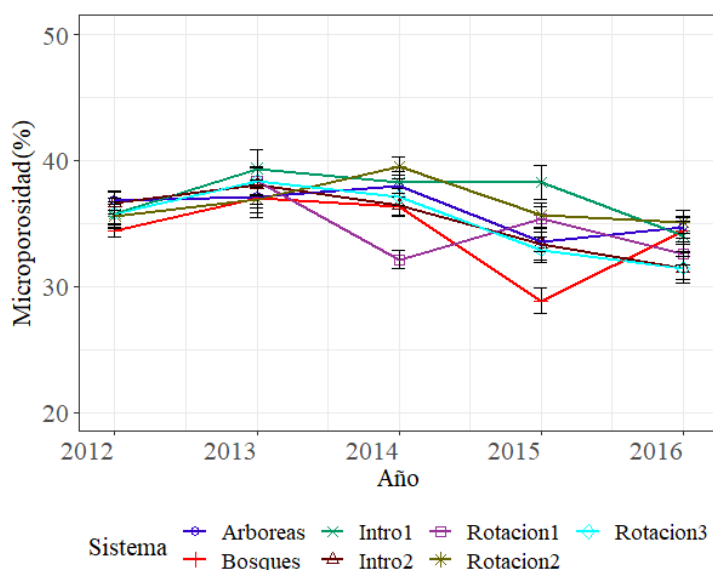


Figura 43. Microporos (%) en un Oxisol de la altillanura plana bajo diferentes sistemas de manejo con bovinos de cría (CI Carimagua, 2011-2016)

Fuente: Pérez et al. (2017).

En general, los cambios asociados al manejo del suelo con los sistemas de labranza aplicados en este estudio impactaron principalmente la relación de macroporos y mesoporos y tuvieron un menor efecto sobre la microporosidad, lo cual indica la necesidad de buscar estrategias de manejo del suelo que contribuyan a reducir la microporosidad, con aumentos importantes en la mesoporosidad para mejorar la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo para las pasturas establecidas. En este sentido, se evidencia la necesidad de mejorar la materia orgánica del suelo mediante prácticas como la aplicación de cales, la nutrición de las pasturas y el uso de equipos descompactadores de suelos que aumentarían la cantidad y la calidad del sistema radical de las gramíneas establecidas, ejerciendo así un efecto positivo sobre la estructura del suelo y, por consiguiente, sobre el incremento de meso y macroporos del suelo.

Muestreo y análisis de macrofauna del suelo

Con el objetivo de determinar la dinámica de la macrofauna edáfica en los diferentes usos del suelo en el CI Carimagua, se tomaron muestras en los siguientes sistemas para la evaluación:

- Introducida 1: *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero + rastra + fertilización.
- Introducida 2: *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero + cincel + fertilización.
- Rotación 1: cultivos transitorios-pasto Toledo + Llanero (año 2011-2013).
- Rotación 2: *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero (año 2012-2014) y cultivo-pastos (año 2015).
- Rotación 3: cultivos transitorios-pastos (2012) *Brachiaria dictyoneura* cv. Llanero (año 2012-2015).
- Franjas de árboles de *A. mangium*, *P. opacifolia* (yopo) y *C. grandis* (cañafistol) en 2011.
- Bosque o parche de árboles espontáneos.

Para la determinación de macrofauna del suelo asociada a cada punto de muestreo y sistema de uso, se tomaron muestras a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) siguiendo la metodología descrita por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson & Ingram, 1993), con algunas modificaciones; se utilizó un monolito de 25 x 25 x 20 cm de donde se extrajo un bloque de suelo asociado a la profundidad de 0 a 10 cm y otro a la profundidad de 10 a 20 cm. Una vez tomadas las muestras, el mismo día se separaron manualmente los organismos de acuerdo con su morfología y se almacenaron para su conservación en frascos de plástico con alcohol al 70 %; para el caso de las lombrices, la solución para el almacenamiento fue formol al 4 % (figura 44).

Las muestras conservadas se enviaron al Laboratorio de Biología de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para su identificación a nivel de orden y familia, y así poder realizar el conteo de individuos por m² para determinar la abundancia y la diversidad. Adicionalmente se empleó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando el software R (R Core Team 2015) y la biblioteca ADE4 y se usó la prueba de permutación de Monte-Carlo para detectar diferencias entre los sistemas de uso de la tierra. Se calculó un indicador sintético (IND) basado en PCA que osciló entre 0,1 y 1.

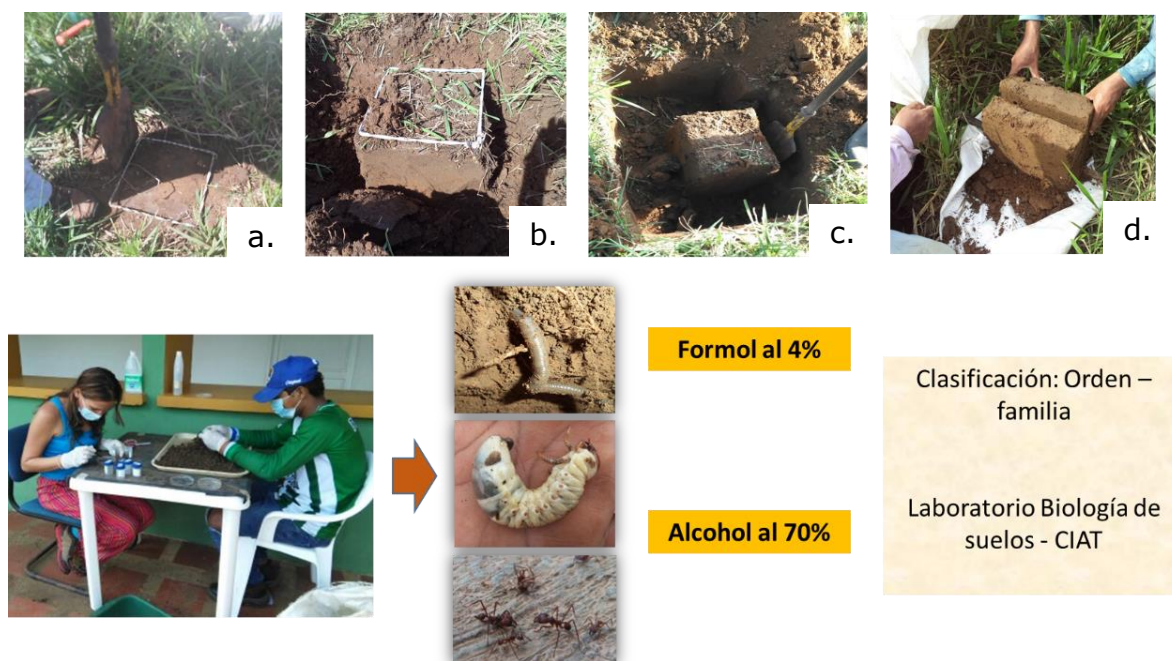


Figura 44. Toma de muestras para conteo e identificación de macrofauna del suelo. a. Selección del sitio; b. Excavación; c. Extracción del monolito; d. Selección; e. Conservación de especímenes.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Los recuentos obtenidos para cada año se organizaron en bases de datos en Excel y se analizaron estadísticamente mediante un análisis de componentes principales utilizando el software R (R Core Team 2015 y la biblioteca ADE4) y la prueba de permutación de Monte Carlo para determinar diferencias significativas entre los sistemas de uso del suelo. Se calculó un indicador sintético (IND) basado en el análisis de componentes principales, que varió entre 0,1 y 1.

Diversidad funcional y taxonómica microbiana en suelos dedicados a la actividad ganadera

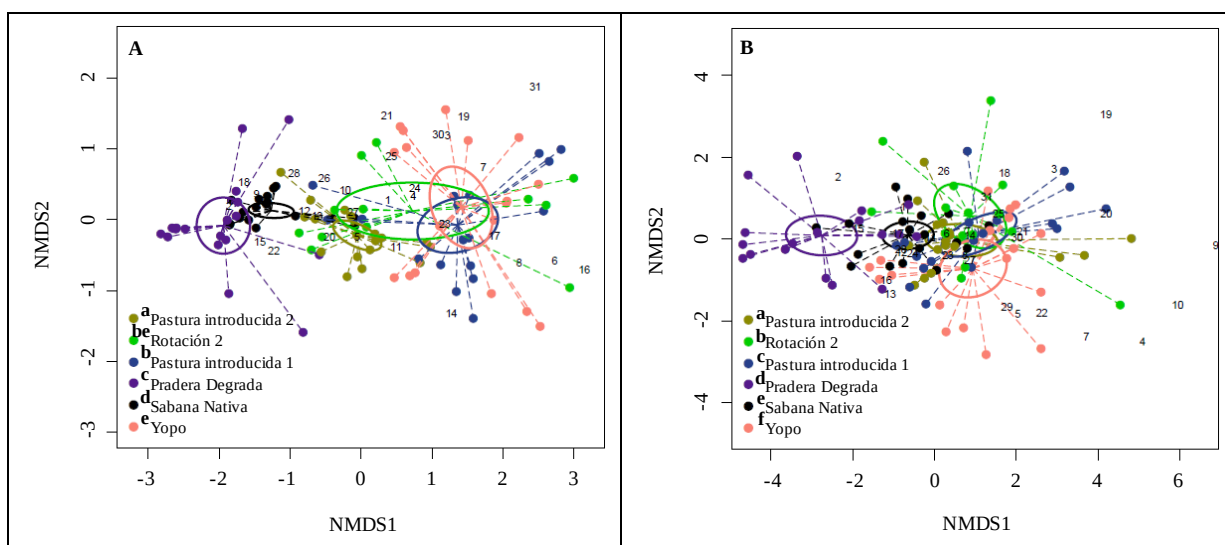
Con el propósito de realizar una caracterización inicial sobre el impacto de las diferentes prácticas de manejo implementadas desde el año 2011 en el área

destinada al estudio, para el año 2016 se realizaron análisis de diversidad funcional y taxonómica de microorganismos del suelo. Los sistemas evaluados fueron: pastura introducida 1 (*B. dictyoneura* cv. Llanero + rastra + fertilización); pastura introducida 2 (*B. dictyoneura* cv. Llanero + cincel + fertilización); y cultivos-pastos 2 (rotación 2, cultivos + pastos [Toledo + Llanero], 2011 y 2015). Adicionalmente, con el fin de observar los cambios en las comunidades de microorganismos de estos sistemas con respecto a los ecosistemas naturales o en degradación representativos de la zona, se tomaron muestras de suelo rizosférico de sabana nativa (SN), pradera degradada (PD) y debajo de árboles de yopo. Para el estudio de la diversidad funcional se emplearon Biolog EcoPlates™, con placas de 96 micropocillos que contienen tetrazolium y, en triplicado, 31 fuentes de carbono diferentes. Para el desarrollo de la metodología se siguió el protocolo descrito por Lagerlöf et al. (2014). Tres muestras compuestas de suelo de cada sistema evaluado, PD, SN y yopo fueron colectadas a una profundidad de 0-10 cm y mantenidas en frío hasta su procesamiento en los laboratorios de microbiología agrícola de los centros de investigación de AGROSAVIA, La Libertad y Tibaitatá. La tasa de degradación de los azúcares presentes fue medida a una densidad óptica (OD) de 590 nm a las 24 y las 48 horas postinoculación usando el lector de placas multipocillo Cytation™ 3 (Biotek Instruments, Inc.).

Adicionalmente, se determinó el rango poblacional de bacterias cultivables heterotróficas de rápido y lento crecimiento en medio TY (Beringer, 1974). Las muestras de suelo fueron resuspendidas en una solución salina al 0,85% y diluciones seriadas de estas fueron sembradas en medio TY e incubadas a 28 °C. Los recuentos de Cfu/mL (unidades formadoras de colonia/mL) fueron realizados a los dos y los ocho días postinoculación. El estudio de la diversidad taxonómica de los microorganismos se evaluó por medio de la caracterización de los porcentajes de ácidos grasos usados como biomarcadores y correspondientes a los grupos mayoritarios de microorganismos presentes en el suelo, tales como: bacterias Gram positivas, bacterias Gram negativas, actinomicetos, micorrizas arbusculares y hongos. Esta técnica fue llevada a cabo siguiendo el protocolo descrito por Fabrizzi et al. (2009). Para ello, se tomó una alícuota de 10 g de las muestras recolectadas en octubre del 2016. Las muestras fueron liofilizadas y procesadas por Microbial ID, Inc. Los datos obtenidos en los Biolog EcoPlates y la caracterización del perfil de

ácidos fosfolipídicos son representados por medio de ordenación multivariante non-metric multidimensional scaling (NMDS) y analizados por medio del test Permanova, el índice de Shannon y el índice de Simpson, ajustando los p valores para comparación múltiple mediante el método false discovery rate ($p < 0,05$). Para estos análisis se emplearon las funciones adonis, metaMDS e isoMDS en los paquetes Vegan y MASS de R (Oksanen, Blanchet, Kindt, Legendre & O'Hara, 2016).

El análisis de Permanova de los resultados de las placas Biolog EcoPlates a las 24 y 48 h postinoculación demuestra que la funcionalidad de las comunidades de los microorganismos en todos los ecosistemas estudiados es diferente (figuras 45a, 45b y 45c). Se observaron diferencias significativas tanto en aquellos tratamientos tomados como referencia (sabana nativa, pradera degradada y yopo) como en los sistemas de pasturas introducidas 1 y 2 y en la rotación 2. A pesar de que la funcionalidad de las comunidades de microorganismos heterótrofos de rápido crecimiento (24 h) parece ser similar en la pastura introducida 1 y la rotación 2, se puede observar que en aquellas de crecimiento un poco más lento (48 h) es diferente.



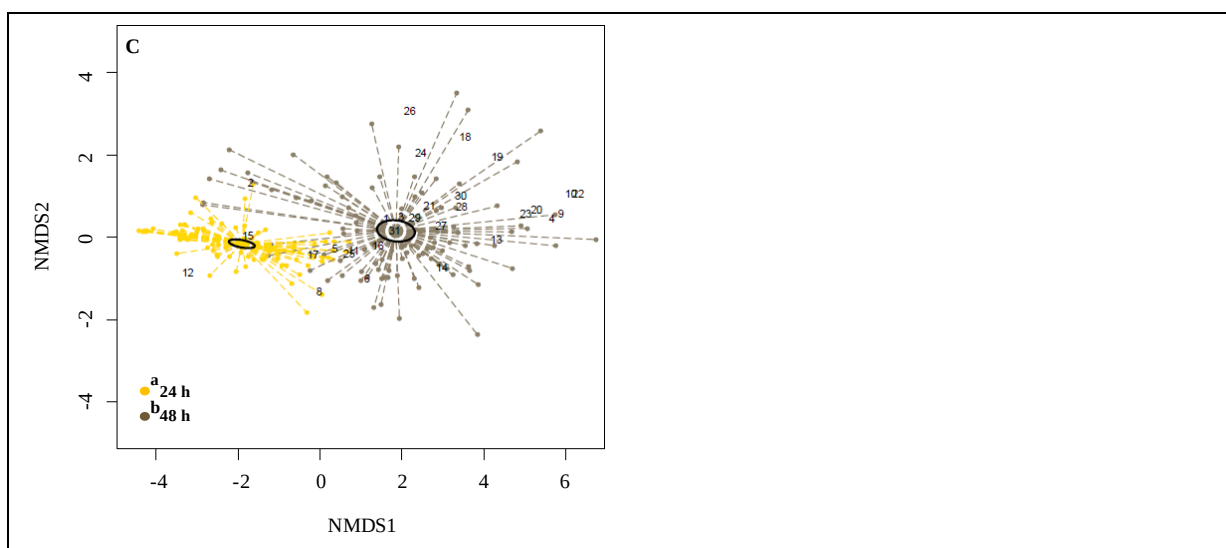


Figura 45. Ordenación multivariante NMDS de la diversidad funcional de la comunidad de microorganismos medida con Biolog EcoPlates: a. 24 h postinoculación; b. 48 h postinoculación; c. Ordenación multivariante NMDS del total de los resultados obtenidos a las 24 y 48 h en los Biolog EcoPlates

Fuente: Pérez et al. (2017).

Los análisis de biodiversidad efectuados a partir de los resultados de los Biolog EcoPlates por medio de los índices de Shannon y de Simpson demuestran que las prácticas de manejo empleadas en las pasturas introducidas 1 y 2 y en la rotación 2 permitieron incrementos en la biodiversidad funcional de los microorganismos con respecto a aquellas que presentan yopo, SN y PD. Adicionalmente, los conteos de colonia en medio TY evidenciaron que el número de microorganismos heterótrofos de lento crecimiento (8 dpi) que crecen en la rizosfera del yopo es similar al de la pastura introducida 1, y es mayor y significativamente diferente del número presente en el resto de los tratamientos (datos no mostrados).

Tabla 28. Índices de biodiversidad calculados de acuerdo con el uso de sustratos de carbono en los Biolog EcoPlates

Tratamiento	Índice de Shannon (24 h)	Índice de Simpson (24 h)	Índice de Shannon (48 h)	Índice de Simpson (48 h)

Pastura introducida 2	2,869 ± 0,16 a	0,924 ± 0,01 ac	3,196 ± 0,08 c	0,952 ± 0,01 c
Rotación 2	3,057 ± 0,12 b	0,940 ± 0,01 c	3,211 ± 0,08 c	0,954 ± 0,01 c
Pastura introducida 1	2,970 ± 0,06 ab	0,935 ± 0,01 bc	3,223 ± 0,06 c	0,955 ± 0,01 c
Pradera degradada	2,851 ± 0,26 a	0,923 ± 0,02 ab	2,989 ± 0,15 a	0,940 ± 0,01 a
Sabana nativa	2,846 ± 0,13 a	0,916 ± 0,02 a	3,085 ± 0,01 b	0,946 ± 0,01 b
Yopo	2,923 ± 0,16 ab	0,932 ± 0,01 bc	3,154 ± 0,06 bc	0,950 ± 0,01 bc

Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el test Permanova, ajustando los p valores para comparación múltiple mediante el método false discovery rate ($p < 0,05$).

Fuente: Pérez et al. (2017).

Teniendo en cuenta que todos los lotes partieron de sabana nativa, los resultados demuestran que las prácticas de manejo implementadas generaron cambios en las comunidades de microorganismos presentes en relación con el ecosistema natural en la zona de estudio. Estos resultados son corroborados por el análisis de Permanova de los Biolog EcoPlates y los análisis de biodiversidad (figura 45 a y b). Adicionalmente, se puede concluir que a pesar de que las comunidades de microorganismos presentes en la sabana nativa son alteradas, las prácticas implementadas para el manejo de pasturas introducidas 1 y 2 y rotación 2 impiden su degradación (figuras 45 y 46). La diversidad funcional de las comunidades de microorganismos de todos los tratamientos es diferente de aquella presente en la pradera degradada.

El análisis Permanova del perfil de ácidos fosfolipídicos no evidenció diferencias significativas entre la diversidad taxonómica de los microorganismos presentes en los distintos tratamientos estudiados (pasturas introducidas 1 y 2 y rotación 2, pradera degradada, sabana nativa y yopo) (figura 46). Sin embargo, los p valores son de 0,15 en numerosas de las comparaciones y la ubicación del centroide en el NMDS de los resultados del análisis del perfil de ácidos fosfolipídicos es similar al del NMDS de las placas Biolog EcoPlates. Esto sugiere que no se han evidenciado diferencias significativas, posiblemente como consecuencia del bajo número de réplicas de muestreo. La separación de los centroides, principalmente de sabana nativa y pradera degradada, con respecto

a los otros sistemas evaluados, es otra evidencia que señala las diferencias que pueden existir en la diversidad taxonómica. Por otra parte, a pesar de que las diferencias en términos numéricos son pequeñas, de acuerdo con el índice de Shannon (tabla 29) existe menor riqueza taxonómica en la sabana nativa con respecto a la pastura introducida 2, pradera degradada (PD) y yopo. Adicionalmente, de acuerdo con el índice de Simpson existe menor dominancia de especies en la sabana nativa con respecto a los demás sistemas (tabla 29).

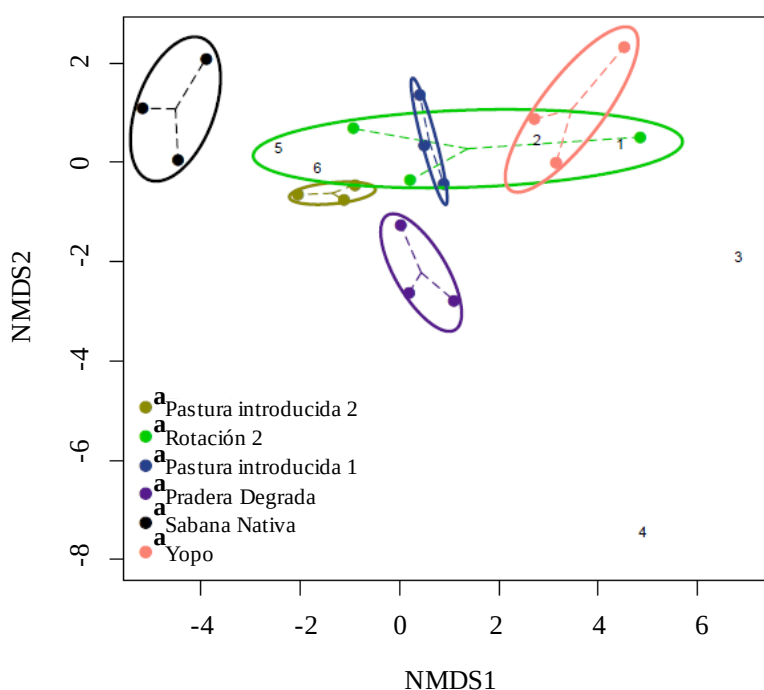


Figura 46. Ordenación multivariante NMDS de la abundancia relativa de individuos por sistema con respecto a los resultados del perfil de ácidos fosfolipídicos.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Tabla 29. Índices de biodiversidad en diferentes sistemas calculados con base en el análisis de perfil de ácidos fosfolipídicos

Tratamiento	Índice de Shannon	Índice de Simpson
Pastura introducida 2	1,356 ± 0,01 b	0,702 ± 0,01 b
Rotación 2	1,341 ± 0,03 ab	0,699 ± 0,01 b
Pastura introducida 1	1,344 ± 0,03 ab	0,699 ± 0,01 b

Pradera degradada (PD)	$1,381 \pm 0,02$ b	$0,711 \pm 0,01$ b
Sabana nativa (SN)	$1,280 \pm 0,03$ a	$0,682 \pm 0,01$ b
Yopo	$1,347 \pm 0,03$ b	$0,701 \pm 0,01$ b

*Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el test Permanova, ajustando los p valores para comparación múltiple mediante el método false discovery rate ($p < 0,05$).

Fuente: Pérez et al. (2017).

Los microorganismos del suelo son considerados como uno de los componentes esenciales de los sistemas agrícolas por su participación en el ciclaje de nutrientes y en los procesos de descomposición de materia orgánica, síntesis y descomposición de humus (Berthrong, Buckley & Drinkwater, 2013).

Los Biolog EcoPlates y el análisis de perfil de ácidos fosfolipídicos son metodologías empleadas en numerosos estudios de ecología microbiana (Bissett, Richardson, Baker, Kirkegaard & Thrall, 2013; Preston-Mafham, Lynne & Randerson, 2002). Por medio de este estudio piloto, se validaron estas metodologías en condiciones de la altillanura plana colombiana, lo que permitirá que estas sean empleadas en el estudio de comunidades de microorganismos asociadas a otros sistemas productivos y prácticas agronómicas. Los resultados dejan de manifiesto el efecto benéfico sobre las comunidades de microorganismos que tienen las prácticas de manejo empleadas en las pasturas introducidas 1 y 2 y la rotación 2, al impedir su degradación desde el punto de vista microbiológico. Las diferencias observadas entre las comunidades de microorganismos asociados a los diferentes tratamientos evaluados permiten evidenciar que, de forma similar a lo observado en otros estudios, las comunidades de microorganismos pueden ser influenciadas por la especie vegetal dominante (Jasper, 2007; Lagerlöf et al., 2014). Por otra parte, las diferencias observadas entre las pasturas introducidas 1 y 2 (*B. dictyoneura* cv. Llanero + rastra y *B. dictyoneura* cv. Llanero + cincel) sugieren que estas comunidades también se pueden ver impactadas por el tipo de labranza que se realice, principalmente respecto a las propiedades físicas del suelo, ya que permite una mayor o menor entrada de oxígeno. A su vez, la concentración de oxígeno existente favorecerá la abundancia de determinadas especies involucradas o no en la degradación de materia orgánica o el ciclaje de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo.

Con el propósito de profundizar en la caracterización de las especies de microorganismos presentes asociados a cada uno de los sistemas estudiados y su funcionalidad, podrían realizarse estudios de metagenómica y metatranscriptómica (Bissett et al., 2013; Xue et al., 2013). La identificación de prácticas de manejo que favorezcan la abundancia de especies de microorganismos con capacidad de fosfatosolubilización o fijación de nitrógeno puede promover el desarrollo de una ganadería más sostenible ambientalmente. Identificar especies vegetales o prácticas agronómicas que promuevan el crecimiento de este tipo de microorganismos permitiría un mayor aprovechamiento de los fertilizantes químicos aplicados para el mantenimiento de las pasturas y un menor gasto en fertilizantes, con efectos directos sobre la productividad y la economía de los sistemas productivos.

Flujo de gases de efecto invernadero y almacenamiento de carbono en suelos de sistemas ganaderos

Se determinaron los flujos netos de los gases de efecto invernadero (GEI) (metano [CH_4], óxido nitroso [N_2O] y dióxido de carbono [CO_2]) mediante la técnica de la cámara cerrada (closed chamber technique [CCT]) (Rondón, 2000; Montenegro & Abarca, 2002) (figura 47a). Se instalaron 3 cámaras cerradas en cada tratamiento. La base de las cámaras permaneció en las parcelas durante todo el estudio (figura 47b) y la tapa fue colocada sobre el anillo al momento del muestreo. Los muestreos se realizaron cada mes, a la misma hora para cada sistema, a partir de julio del 2013 y se extendieron hasta diciembre del 2014. De cada cámara se tomaron 20 ml de muestra a los 0, 20 y 40 minutos a partir de la instalación de la cámara, y se descartaron 5 ml para transferir 15 ml a un vial con vacío (figura 47c). Las muestras fueron conservadas y analizadas en el Laboratorio de Gases de Efecto Invernadero del CIAT.



Figura 47. Técnica de la cámara cerrada: a. Instalación de la base de la cámara cerrada en los sistemas evaluados; b. Cámara cerrada al momento de la toma de muestras de gases; c. Viales al vacío

Fuente: Pérez et al. (2017).

Las concentraciones de CO_2 , N_2O y CH_4 en ppm fueron determinadas con un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-2014 con detectores FID para CO_2 y CH_4 y ECD para N_2O . El cromatógrafo de gases fue adecuado para analizar simultáneamente los tres gases. Los flujos se calcularon siguiendo la metodología GRACEnet (Parkin & Venterea, 2010). La concentración en ppm (v) fue convertida a unidades de masa con base en la ley de gases ideales:

$$PV = nRT$$

Donde P = presión (atm) en el sitio de muestreo, V = volumen (l) de la cámara, n = número de moles de gas, R = constante de la ley de gases (0.08206 l atm mol⁻¹ °K⁻¹) y T = temperatura (°K) dentro de la cámara.

Para el análisis de gases de efecto invernadero, una vez calculada la masa se estimó el flujo usando la función HMR (Pedersen, 2015) de R 3.2.1 (R Core Team, 2015). Si la relación concentraciones vs. tiempo generó una tendencia no lineal se usó la ecuación de Hutchinson y Mosier (1981) modificada por Pedersen, Petersen y Schelde (2010), y cuando la tendencia fue lineal se usó la ecuación de regresión lineal. Para el caso de tres concentraciones colectadas por la cámara se usó la ecuación de regresión lineal. Los flujos fuera del rango reportado en la literatura fueron descartados del análisis. Se interpoló el área

bajo la curva de las emisiones para estimar la emisión acumulada por periodo. Las emisiones acumuladas se convirtieron a valores de CO₂ equivalente (t/ha/periodo).

El carbono orgánico total en el suelo (COT) fue también determinado en las diferentes parcelas. El contenido de carbono (%) y la densidad aparente se cuantificó una vez al año, entre los meses de agosto de 2013 y septiembre de 2014, a dos profundidades, de 0-10 y de 10-20 cm, según la ecuación:

$$\text{COT (kg m}^{-2}\text{)} = \rho \cdot \text{fC} \cdot \text{Pm}$$

Donde ρ = densidad aparente del suelo (kg m⁻³); fC = fracción de carbono (kg C Kg de suelo⁻¹) y Pm = profundidad de muestreo (m).

Para el análisis multivariado de las variables físicas, químicas y biológicas se tuvieron en cuenta los sistemas clasificados por uso del suelo (tabla 2). Para las variables de regulación climática (GEI y almacenamiento de carbono) se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar, donde los factores fijos fueron *sistema* y *año*, las réplicas se consideraron aleatorias.

Indicadores de ecoeficiencia en sistemas ganaderos

Para la construcción de los indicadores asociados a las diferentes variables estudiadas se utilizó un análisis de componentes principales (ACP), que busca resumir el conjunto de variables mediante combinaciones lineales que explican la mayor parte de la variabilidad del conjunto de datos originales de variables químicas, físicas o biológicas; finalmente se calcula el indicador que fluctúa entre 0,1 y 1 (Velásquez, Lavelle & Andrade, 2007). Se utilizó la librería ADE4 1.4.5. (análisis de datos ecológicos y ambientales) del programa R y la prueba Montecarlo para comparar los sistemas de producción. Los indicadores calculados, asociados a los servicios ecosistémicos mediante ACP, fueron: fertilidad de suelos, funciones hídricas y biodiversidad (macrofauna de suelo). Para el indicador de *regulación climática*, en los componentes de almacenamiento de carbono y flujos de GEI (Rodríguez et al., 2013) (figura 48)

se estandarizaron los valores entre 0,1-1 mediante transformación homotética con el fin de comparar los demás indicadores usando la siguiente ecuación:

$$IND = 0.1 + \frac{Var - \min(Var)}{\max(Var) - \min(Var)} * 0.9,$$

Donde IND representa el valor del indicador (0,1-1) y Var representa el CO₂ equivalente en t ha⁻¹ año⁻¹ o almacenamiento de carbono de 0-20 cm en t ha⁻¹.

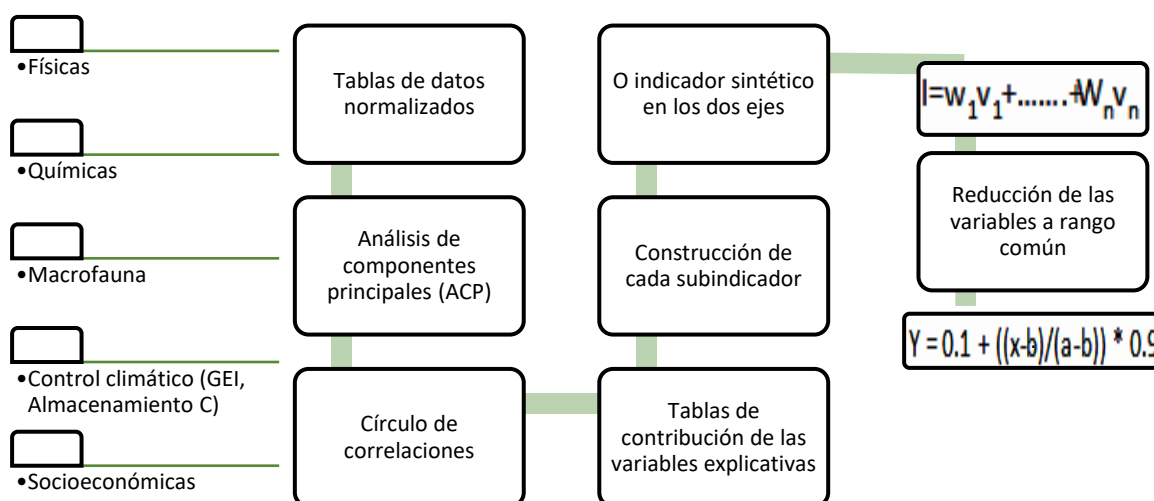


Figura 48. Flujograma para estimación del indicador (IND)

Fuente: Pérez et al. (2017)

Indicador de fertilidad del suelo

Los resultados de las componentes principales para las propiedades químicas del suelo evaluadas en los años 2012-2014 se observan en la figura 49. El comportamiento de las propiedades químicas del suelo es explicado por un total (componente 1 y 2) de 56,2, 50,4 y 46 % para los años de 2012, 2013 y 2014 respectivamente (figura 49a).

En los años evaluados, en general, se observa una tendencia en la separación del pH y el aluminio y una relación positiva de algunos elementos como fósforo, calcio y magnesio en los sistemas con adición de fertilizantes químicos en las dos

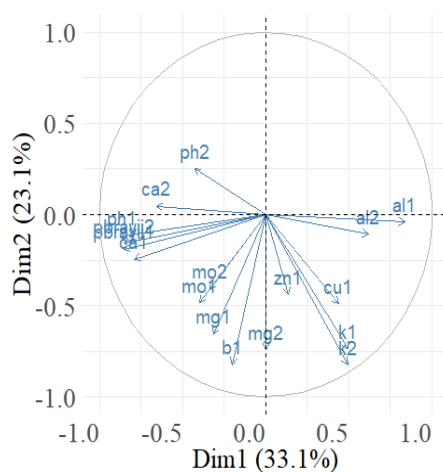
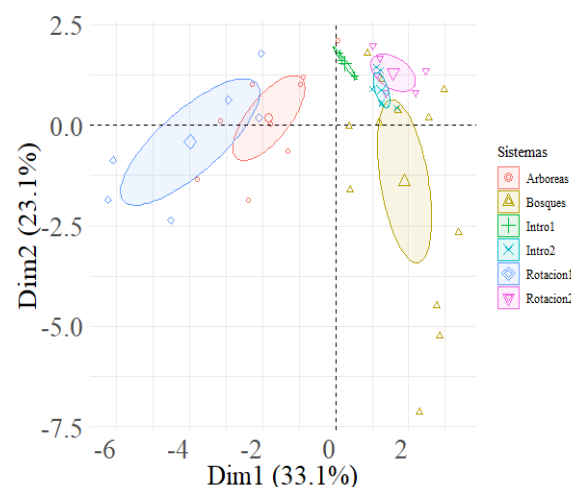
profundidades evaluadas. En el año 2014, los valores de pH se acercan al centro de la circunferencia, lo que indica una pérdida de los valores de dicha variable con respecto a los años anteriores; igual comportamiento presenta el calcio.

Al comparar los distintos sistemas (figura 49b), para el año 2012 se puede observar una clara separación del pH y el Al en las dos profundidades evaluadas y una relación positiva entre cultivos-pastos 2 (soya-pastos) y arbóreas (acacia, yopo y cañofistol) establecidos en el 2011 y los contenidos de fósforo y calcio, principalmente en la primera profundidad (0-10 cm) evaluada, y los valores de pH en ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm). Estas relaciones positivas de pH y calcio están asociadas con la aplicación e incorporación de la mezcla de cal dolomítica, abono Paz del Río, roca fosfórica y yeso agrícola y la correlación positiva del fósforo por la aplicación de superfosfato triple (200 kg/ha) y DAP (50 kg/ha). Según Amézquita, Thomas, Rao, Molina y Hoyos (2004), la principal limitación del suelo para la producción de cultivos en la altillanura plana es la alta acidez y la baja disponibilidad de nutrientes, por consiguiente, es fundamental el mejoramiento de sus condiciones químicas para hacerlos productivos. El sistema *parche de árboles espontáneos* se separa significativamente, probablemente debido a la mínima intervención al que ha sido sometido, lo que se traduce en altos contenidos de aluminio en las dos profundidades evaluadas. El mismo comportamiento se presenta en los sistemas introducida 1 e introducida 2, correspondientes a pasturas manejadas con rastra y cincel, pero con dosis moderadas de fertilizantes.

En el año 2013 se observó una correlación entre la materia orgánica y el aluminio. El sistema *parche de árboles espontáneos* (figura 49b) presenta una separación significativa con respecto a los demás, lo cual puede deberse a la pérdida de materia orgánica del suelo bajo una labranza convencional en los sistemas mejorados (Lal & Kimble, 1997). A pesar de que los usos de suelo *pasturas introducidas*, *agropastoril* y *franja de árboles* han tenido labranza en algún momento, no hacen parte de una práctica realizada a menos de un año del momento del muestreo, lo que sí sucede en el cultivo (práctica realizada a menos de seis meses del momento del muestreo) y sugiere que puede ser la razón de la disminución en el contenido de materia orgánica para estos usos. Esto concuerda con Valboa et al. (2015), que en su estudio de las variaciones

de materia orgánica en el tiempo, bajo diferentes tipos de labranza, observaron que los suelos que tenían prácticas de conservación en labranza y mayor tiempo de manejo con esta en cultivos transitorios mostraban mayor contenido de materia orgánica total, en comparación con los suelos con labranzas recientes y más convencionales.

La proyección de puntos correspondientes a las variables químicas en las parcelas evaluadas para el año 2014 muestra una clara separación del sistema cultivo-pastos 1 establecido con sistemas de cultivos transitorios de sorgo y soya, los cuales tuvieron intervención tanto de labranza como de aplicación de enmiendas y fertilizantes a razón de dos pases de rastra y un pase de pulidor, cal dolomítica (1.500 kg/ha), abono Paz del Río (500 kg/ha), roca fosfórica (500 kg/ha) y yeso agrícola (300 kg/ha). La fertilización consistió en sulcamag 150 kg/ha, superfosfato triple 200 kg/ha, KCL 100 kg/ha, kieserita 100 kg/ha, borozinc 20 kg/ha, DAP 50 kg/ha; a los 15 días después de la siembra (dds) se aplicó urea 100 kg/ha y KCL 50 kg/ha, y a los 30 dds se aplicó urea 50 kg/ha.

2012 (A)

2012 (B)

2013 (A)
2013 (B)

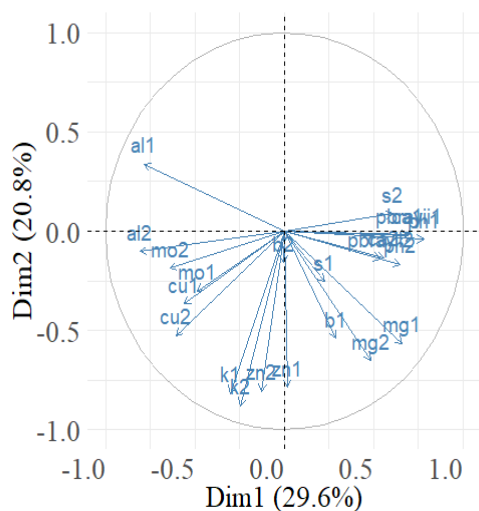
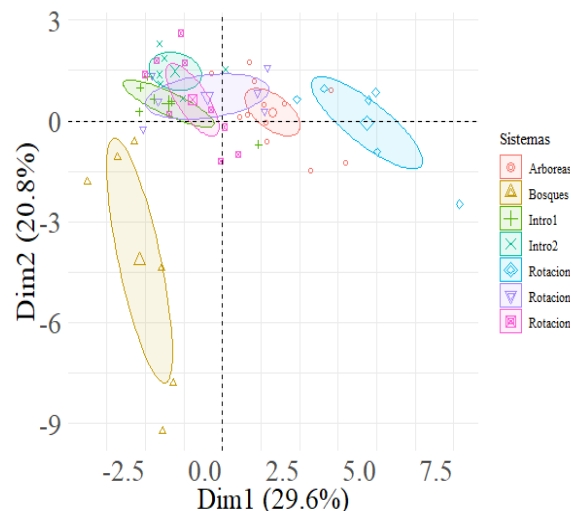
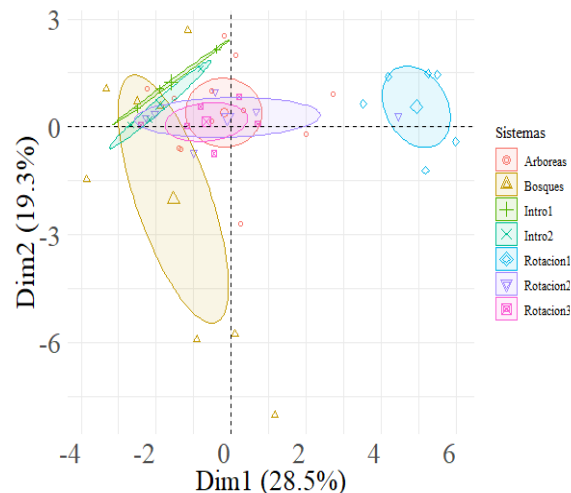
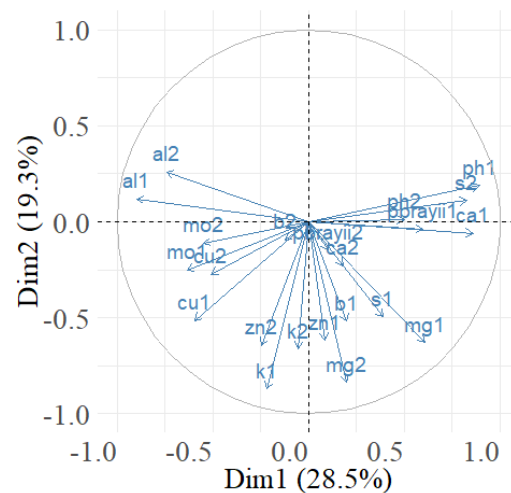

2014 (A)

2014 (B)


Figura 49. Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables químicas evaluadas en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 %

Fuente: Pérez et al. (2017).

Según los indicadores de fertilidad (figura 50), se observó que en el año 2012 las parcelas con adiciones de fertilizantes e incorporación de correctivos (cultivos-pastos 2 y arbóreas) presentaron los valores más altos del indicador con respecto a las demás. Con respecto al indicador de fertilidad para el año 2013, los valores más altos fueron los de las parcelas establecidas en el sistema cultivos-pastos 1 (maíz y soya, pastos) debido a las aplicaciones de enmiendas y fertilización correspondiente a cal dolomítica (1.500 kg/ha), abono Paz del Río (500 kg/ha), roca fosfórica (500 kg/ha) y yeso agrícola (300 kg/ha), DAP, borozinc, sulcamag y KCl. Las áreas con los valores más bajos para este año correspondieron a las parcelas que no tuvieron adición de fertilizante (introducidas 1 y 2), aún por debajo del sistema *árboles* debido, principalmente, a la acción de la hojarasca foliar, la cual es la principal fuente de nutrientes del suelo forestal (Vitousek & Sanford, 1986; Landsberg & Gower, 1997) y representa ~80 % del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos del árbol (Santa Regina & Tarazona, 2001). La cantidad y la naturaleza de la hojarasca tienen una importante relación con la formación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad (Rai & Proctor, 1986). En el año 2014 el valor del indicador para todos los sistemas estuvo alrededor de 0,25 a excepción de la rotación 1, sistema en el que se incorporaron correctivos y fertilizantes.

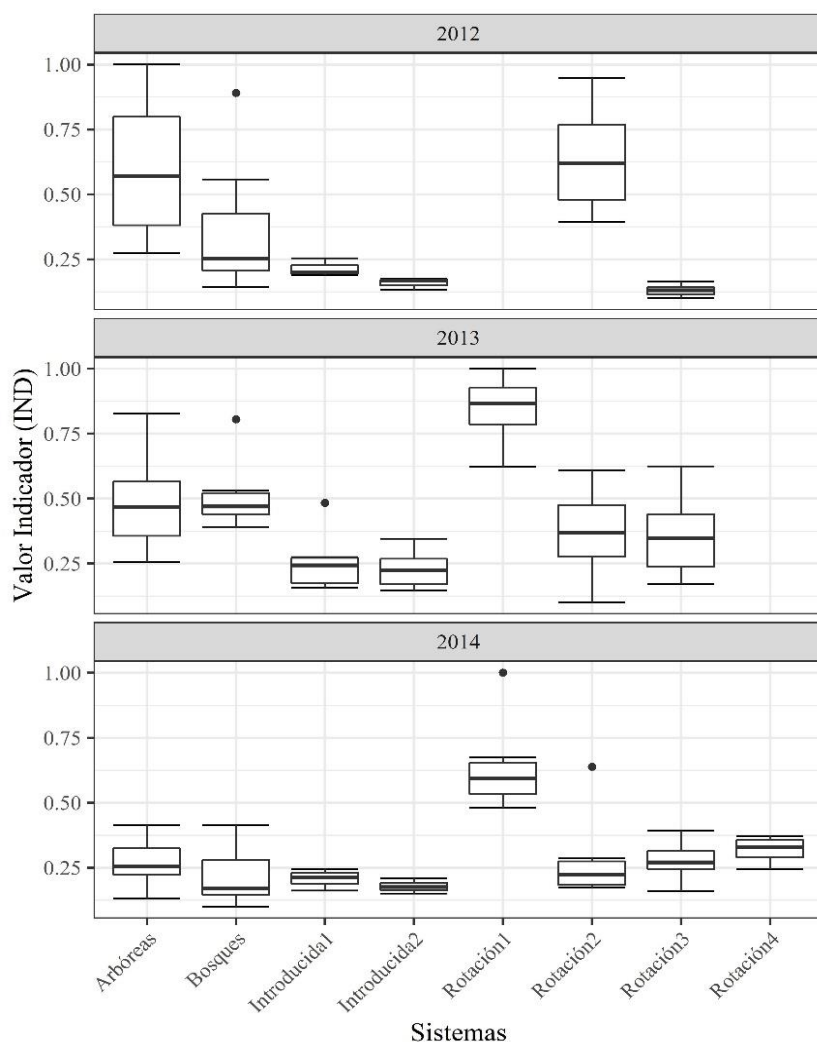
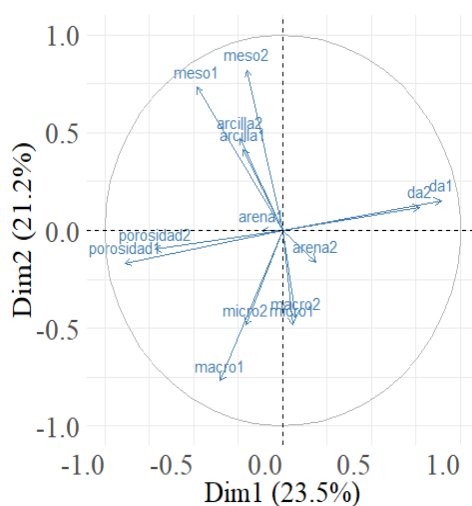
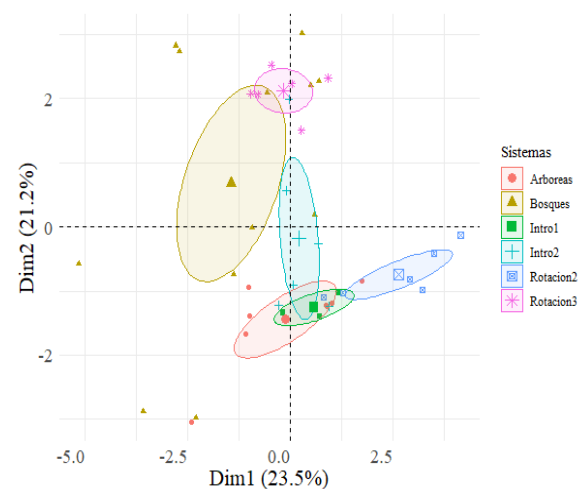


Figura 50. Indicador de fertilidad en un Oxisol bajo diferentes estrategias de manejo en un sistema de ganadería de cría en la altillanura
Fuente: Pérez et al. (2017).

Indicador de funciones hídricas

No se observa una clara separación de los sistemas con respecto a las variables relacionadas con las funciones hídricas (figura 51). Es probable que la separación del sistema cultivos-pastos 1 observada en el año 2014 se deba al efecto de la labranza, donde la porosidad total está correlacionada con la mesoporosidad e

inversamente relacionada con la microporosidad. Si bien la textura se relaciona con la porosidad, el aporte a los componentes principales es mínimo. En general, los indicadores de funciones hídricas más altos se presentaron en los sistemas de rotaciones, que tienden a separarse de los demás, al igual el bosque, que también presentó valores por encima de 0,5 para los años 2012 y 2014. En el año 2013 se presentaron los valores más bajos del indicador en todos los sistemas (figura 52).

2012 (A)

2013 (A)
2012 (B)

2013 (B)

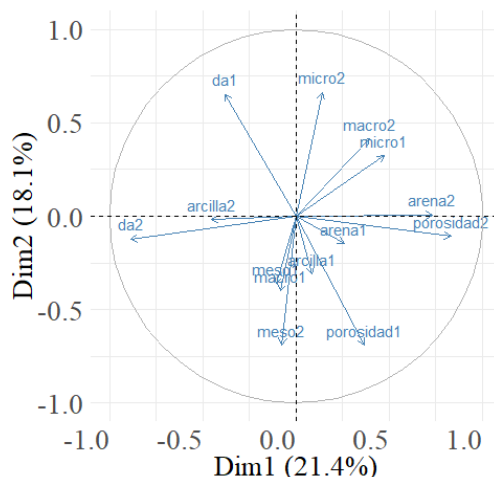
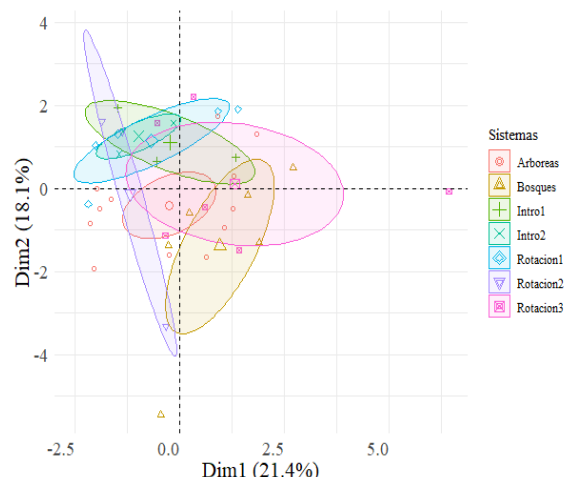
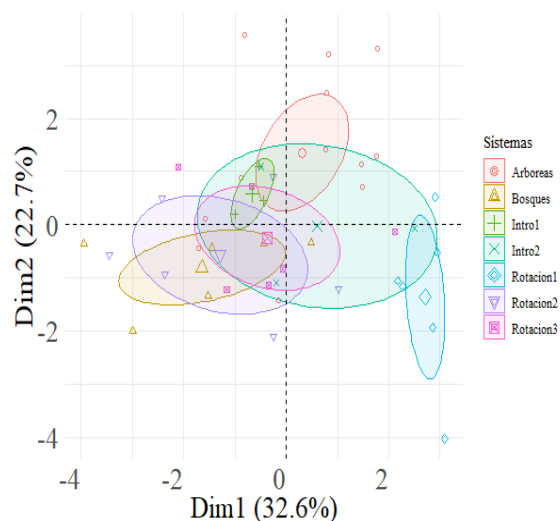
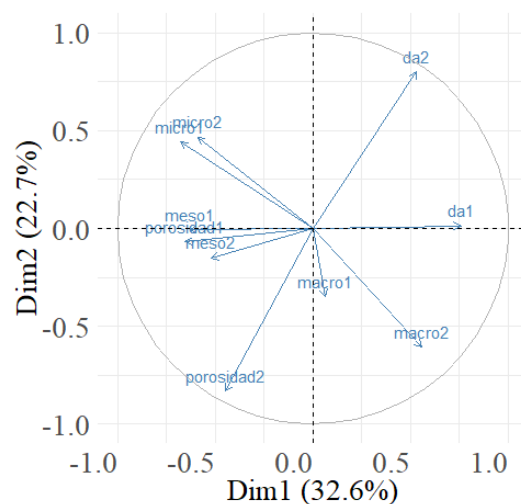

2014 (A)

2014 (B)


Figura 51. Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables físicas en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 %

Fuente: Pérez et al. (2017).

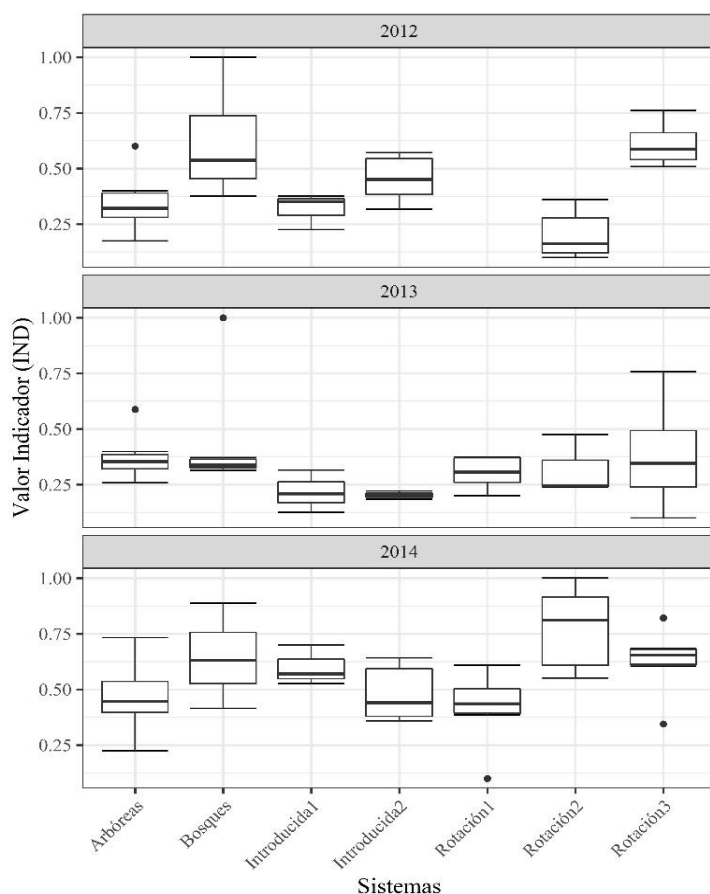


Figura 52. Indicador (IND) de función hídrica en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura

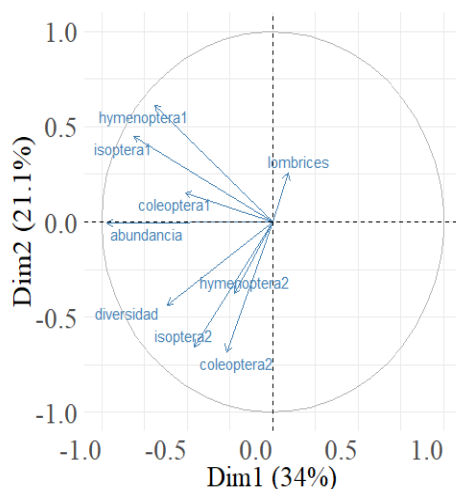
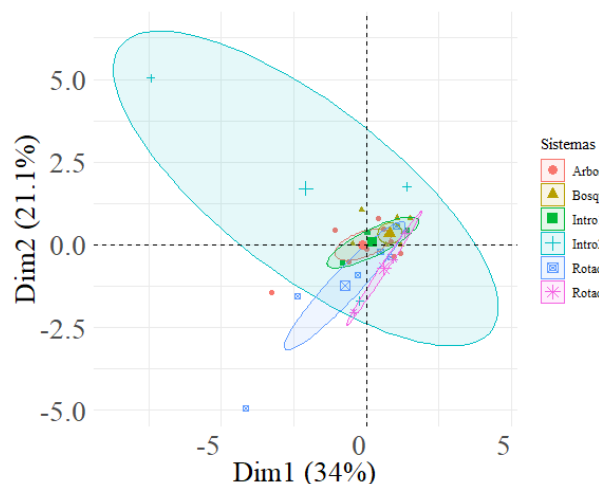
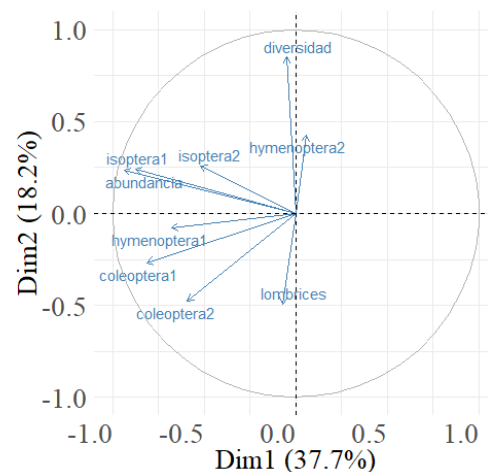
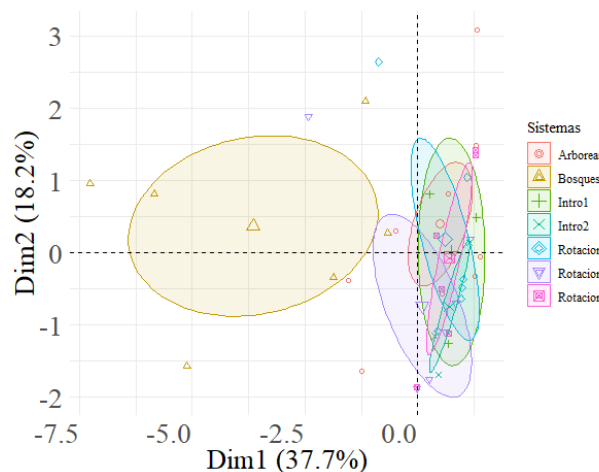
Fuente: Pérez et al. (2017).

Indicador de biodiversidad (macrofauna del suelo)

En el suelo existe una diversidad de organismos, con tamaños y estrategias adaptativas diferentes, agrupados en comunidades que colectivamente contribuyen a servicios esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas. Al intervenir el suelo con prácticas agrícolas los principales cambios se ven reflejados en la biota asociada, en términos de abundancia y diversidad. La dinámica de la macrofauna puede utilizarse como un indicador biológico sensible a los impactos en el uso, el manejo del suelo y en la calidad edáfica (Rousseau, Fonte, Téllez, Hock & Lavelle, 2013). Es así como la evolución de los sistemas de manejo se evidenció a través del

tiempo, donde existe una dinámica asociada al impacto generado por las prácticas implementadas dentro del manejo del sistema de ganadería de cría sobre la macrofauna edáfica en suelos de la altillanura.

De acuerdo con el ACP, los dos primeros componentes del análisis multivariado de las variables de macrofauna del suelo explican el 55,1, 56 y 54,6 % de la variabilidad para los años 2012, 2013 y 2014 respectivamente (figura 53a).

2012(A)

2012(B)

2013(A)

2013(B)

2014(A)

2014(B)

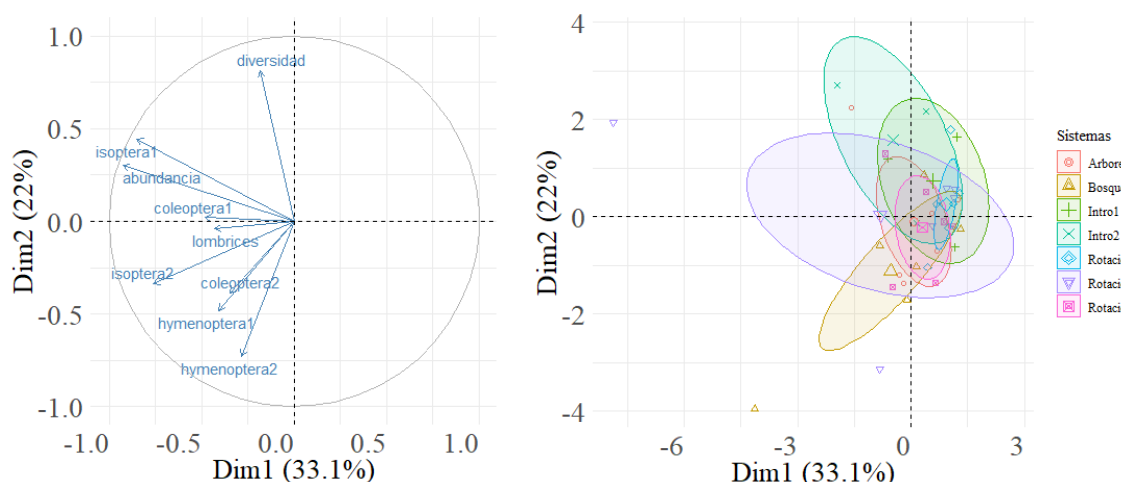



Figura 53. Análisis de componentes principales: a. Proyección de las variables de macrofauna del suelo en el círculo de correlación bajo dos profundidades (1: 0-10 cm; 2: 10-20 cm); b. Proyección de los puntos de muestreo de acuerdo con los sistemas evaluados en los dos componentes principales, Dim1 y Dim2; cada elipse representa el intervalo de confianza del 95 %

Fuente: Pérez et al. (2017).

Al evaluar el indicador de biodiversidad para el 2012, año tomado como línea de base del proyecto, se observó como el sistema de pastura introducida 2 (*B. dictyoneura*) tiende a separarse de los demás sistemas de uso (figuras 53b y 54).

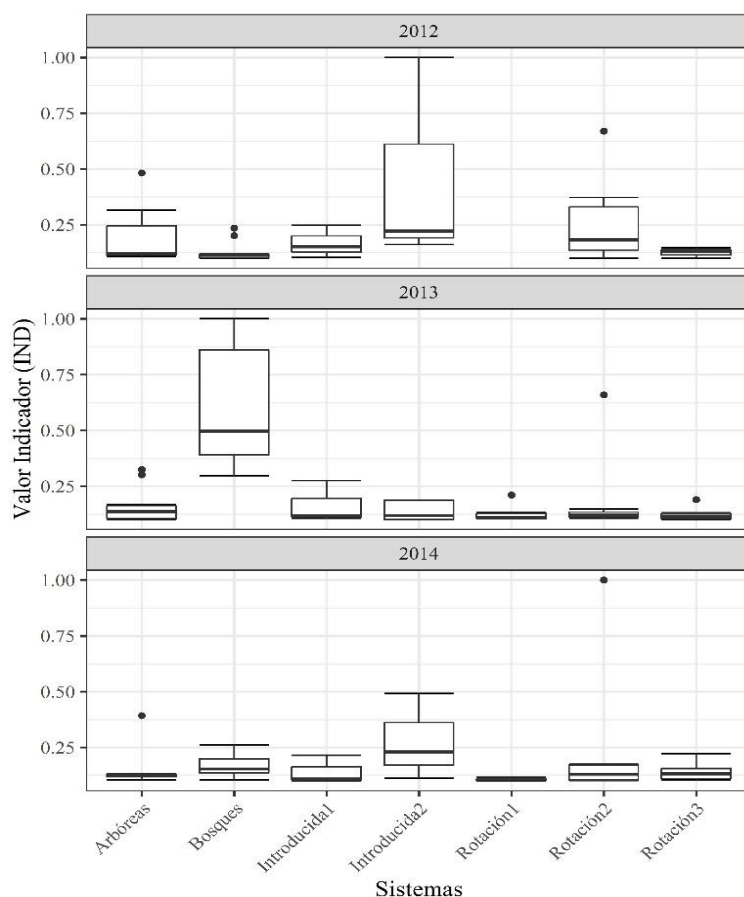


Figura 54. Indicador (IND) de biodiversidad (macrofauna del suelo) en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura
Fuente: Pérez et al. (2017).

Los valores más altos del indicador de biodiversidad están asociados principalmente a la abundancia, donde se presentó correlación positiva con las termitas (Isoptera) (figura 55a). Las termitas fueron los organismos que presentaron un mayor número de individuos, seguidos por las lombrices. Las termitas son insectos sociales que cumplen un papel funcional en la dinámica de los ecosistemas tropicales: intervienen en la descomposición de la materia orgánica y construyen túneles y nidos en forma de montículos, elaborados con material vegetal, suelo, excreciones y saliva, por donde transportan grandes cantidades de material orgánico que contribuye a mantener o modificar las características físicas y químicas del suelo (figura 56). Por otra parte, las lombrices generalmente se encontraron en los

primeros centímetros del suelo, lo cual se evidencia por su relación con la abundancia en los años evaluados (figura 55a). Si bien el análisis de componentes principales no evidencia una separación clara de sistemas, es posible que los lugares donde se observó mayor biomasa, estructuras biogénicas (donde habitaban otros macroinvertebrados) e incluso gran cantidad de raicillas tengan una mayor relación con la presencia de lombrices y otros macroinvertebrados (figura 55).

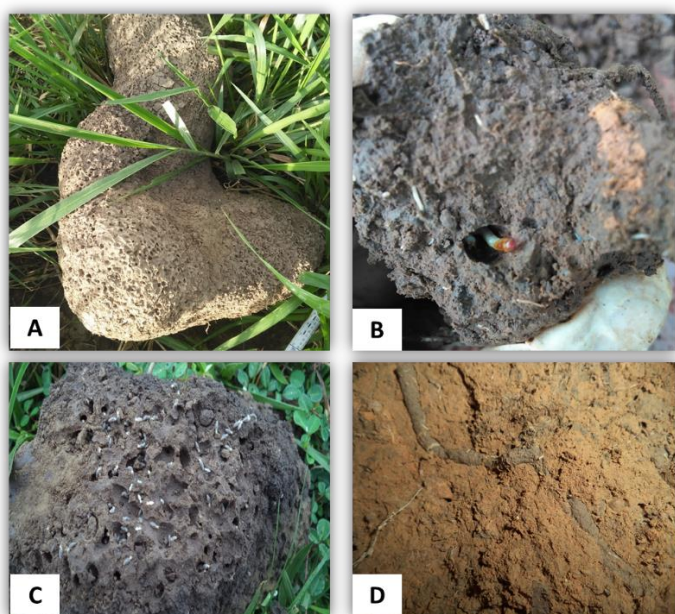


Figura 55. Nidos formados por termitas en el sistema de pastura de B. dictyoneura en el CI Carimagua: a. Termitero; b. Galerías formadas por las termitas que sirven como reservorios para otros organismos; c. Termitas en montículos; d. Galerías o túneles encontrados en el interior de los montículos
Fuente: Pérez et al. (2017).

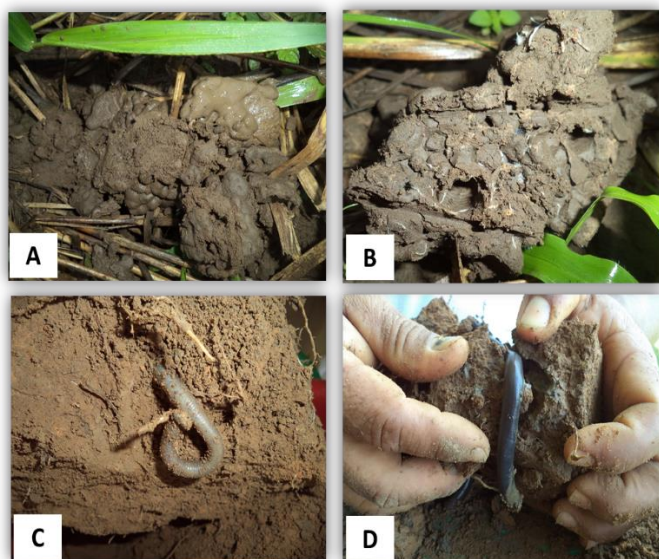


Figura 56. Turrículos formados por lombrices de tierra en el sistema de pastura de *B. dictyoneura* en el CI Carimagua: a. Estructuras biogénicas o turrículos; b. Túneles formados por las lombrices y desarrollo de raicillas; c y d. Lombrices encontradas en el interior del turrículo

Fuente: Pérez et al. (2017).

En el año 2013 se observó una alta correlación entre termitas y abundancia debido a que Isoptera continuó siendo el orden con mayor cantidad de individuos (17.984 ind.m²), que representan un 72 % de la abundancia total encontrada en los sistemas evaluados. Estos organismos, junto con las lombrices, son dominantes en la macrofauna edáfica de las sabanas tropicales como el Cerrado brasileño y los Llanos Orientales de Colombia, en donde tienen influencia sobre las características físicas y la actividad química de los suelos (Galvis, 1978, citado por Pinzón, Hernández & Malagón, 2012; Jiménez, Decaens & Lavelle, 2006). El sistema *parche de árboles espontáneos* se separa significativamente, debido principalmente a que fue donde se evidenció el valor más alto para el indicador de biodiversidad (figura 55b). El sistema *bosque o parche de árboles espontáneos*, para este estudio, fue considerado como un sistema de conservación donde no hubo ningún tipo de perturbación con prácticas agrícolas asociadas al sistema de producción de ganadería de cría que puedan alterar la edafofauna del suelo; sin embargo, es importante anotar que en comparación

con el primer año de evaluación (2012) se observó un cambio drástico (figura 55b), dado que se evidenció un aumento en el número de organismos presentes asociados al orden Isoptera en este ecosistema y una disminución de estos mismos organismos en la pastura de *B. dictyoneura* + cincel (introducida 2). En este último caso, la disminución en el número de individuos pudo estar relacionada con labores de mantenimiento de la pastura donde se incluyó la fertilización y la mecanización del suelo.

Para el 2014, se observó que nuevamente el sistema de pastura introducida 2 (*B. dictyoneura*) fue el que presentó el valor más alto para el indicador de biodiversidad, donde el orden Isoptera fue la unidad taxonómica de mayor correlación con la abundancia (figura 55a), que se mantuvo en 9.139 individuos que representan el 69 % de la población evaluada. El parche de árboles espontáneos, para el año 2013, presentó una abundancia representativa de termitas, pero al año siguiente disminuyó considerablemente y se encontraron tan solo 320 individuos pertenecientes a este orden. No se observó una separación significativa de los sistemas (figura 55b).

En general, se observó que la mayor variabilidad explicada por los componentes principales se debe a la macrofauna edáfica en la profundidad 1 (0-10 cm) y esto puede darse por la cobertura vegetal existente en los sistemas evaluados, que no solo contribuye al aporte de biomasa para que los organismos puedan utilizarla como fuente de alimentación, sino que también disminuye la intensidad lumínica y regula la temperatura del suelo. Según Masters (2004), los cambios en las condiciones de temperatura y humedad en el suelo como consecuencia de una menor cantidad de residuos afecta algunas unidades taxonómicas, donde se pueden mencionar los Oligochaeta o lombriz de tierra, que normalmente requieren de una humedad permanente para la supervivencia.

Al determinar el índice de diversidad de Simpson (índice de dominancia) en los sistemas evaluados, se pudo observar que hay una mayor diversidad en el sistema conformado por la pastura de *B. dictyoneura* con rotación de cultivos transitorios maíz-soya (cultivos-pastos 2), con un $H = 0,23$, seguido por el parche de árboles espontáneos, con un $H = 0,28$ para el año 2014. Este resultado indica que aun cuando se haya evidenciado una mayor abundancia de

organismos en algunos sistemas, la diversidad es baja y el orden Isoptera domina bajo las condiciones de la evaluación (figura 55a).

Indicador de regulación climática

El concepto de *indicador de regulación climática* se basa en el trabajo de Rodríguez et al. (2013) sobre construcción de indicadores de ecoeficiencia para la altillanura plana, en donde se definió que todas aquellas variables involucradas en la modificación del clima vía cambio climático, como los GEI, se agruparían con el título de “indicador de regulación climática”. En relación con el trabajo desarrollado en el CI Carimagua, los flujos acumulados durante el segundo semestre del 2013 y el 2014 se analizaron para conocer los balances netos de los gases de CH₄, CO₂ y N₂O en cada uno de los tratamientos. Los flujos acumulados netos fueron calculados a partir de los flujos GEI expresados en toneladas de CO₂ equivalentes ha⁻¹ año⁻¹ (figura 57).

Para convertir N₂O-N y CH₄ en términos de CO₂ equivalente se consideró la siguiente fórmula, que tiene en cuenta el potencial de calentamiento global en un término de 100 años, generada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Forster et al., 2007):

$$\frac{gN_2O - N}{ha} * \frac{44gN_2O}{28 gN} * \frac{298g CO_2 - eq}{1g N_2O} = \frac{g CO_2 - eq}{ha}$$

$$\frac{gCH_4 - N}{ha} * \frac{16gCH_4}{12 gC} * \frac{25g CO_2 - eq}{1g CH_4} = \frac{g CO_2 - eq}{ha}$$

Flujos de metano (CH₄): para Bouwman (1990), los flujos de metano (CH₄) en el suelo están asociados al balance entre los procesos de emisión y consumo, que pueden ocurrir a diferentes profundidades del suelo, son de origen microbiológico y dependen de la condición de oxidación del ambiente edáfico. En este sentido, la acumulación de metano mostró que el tratamiento de *arbóreas* y *rotación 1*, con valores de 0,022-0,039 t CO₂ equivalentes ha⁻¹periodo⁻¹, son los sistemas que presentaron mayores emisiones. En el segundo periodo del 2014 las mayores contribuciones fueron para *bosques* e *introducida 2*, con valores de 0,039 y 0,035 t CO₂ equivalentes ha⁻¹año⁻¹. Las bajas emisiones de

CH₄ pueden estar asociadas a la baja tasa de oxidación del metano, que favorece la presencia de microorganismos metanógenos y la baja difusión de este gas en el suelo (Crill, Matikainen, Nykänen & Silvola, 1994). Sin embargo, ciertos episodios de emisión se pueden asociar al efecto de la ganadería por la descomposición del estiércol, debido a que en la mayoría de los muestreos se evidenció presencia de ganado. La descomposición del estiércol, que depende de la dieta de los animales, también afecta la cantidad de metano producido: cuanto mayor es el contenido energético y la digestibilidad del alimento, mayor es el potencial de emisión de metano.

Flujos de dióxido de carbono: los tratamientos que presentaron el valor más alto de emisión de dióxido de carbono fueron *cultivos-pastos 3* y *arbóreas* para el segundo periodo del 2013 y 2014, con valores promedio de 17,3 y 10,6 t CO₂eq ha⁻¹ periodo⁻¹ (figura 57). Se observó que el rango de emisiones se relaciona con la dinámica de los tratamientos respecto al manejo y las condiciones climáticas intrínsecas de cada periodo evaluado. Este fue el gas con mayores contribuciones respecto a los GEI evaluados debido a las condiciones climáticas de la zona y la metodología de cuantificación empleada (cámara cerrada), que probablemente sobreestima los valores de emisión reales.

Flujos de óxido nitroso: para Duxbury, Harper y Mosier (1993), el óxido nitroso (N₂O) se produce en forma natural en los suelos a través de la nitrificación y la desnitrificación. Aunque el conocimiento sobre las emisiones de N₂O desde el suelo es todavía incompleto, el manejo intensivo de los suelos, la aplicación de correctivos, la adición de fertilizantes nitrogenados y la descomposición de heces de la ganadería, entre otros, son causantes del actual aumento del nivel de N₂O en la atmósfera (Brumme & Beese, 1992; Sitaula, Beakken & Abrahamsen, 1995; Flessa & Beesse, 1995). De acuerdo con los resultados obtenidos existen diferencias entre sistemas, donde *cultivos-pastos 1* en el segundo periodo de 2013 y el parche de árboles espontáneos para el segundo periodo de 2014 son los que emiten los niveles más altos de óxido nitroso proveniente del suelo a la atmosfera. Para el caso del sistema *parche de árboles espontáneos* esto puede estar asociado al proceso de transformación de la hojarasca de acuerdo con las condiciones de humedad de la franja, por ser de especies arbustivas, y para el caso del sistema *cultivos-pastos 1* puede estar asociado a prácticas

agronómicas, como el uso de fertilizaciones y labranza. El mismo comportamiento presentado en las emisiones de GEI (figura 57) se observó en el indicador de GEI (figura 58), donde el 2013 presenta mayores variaciones en el indicador que el periodo 2014.

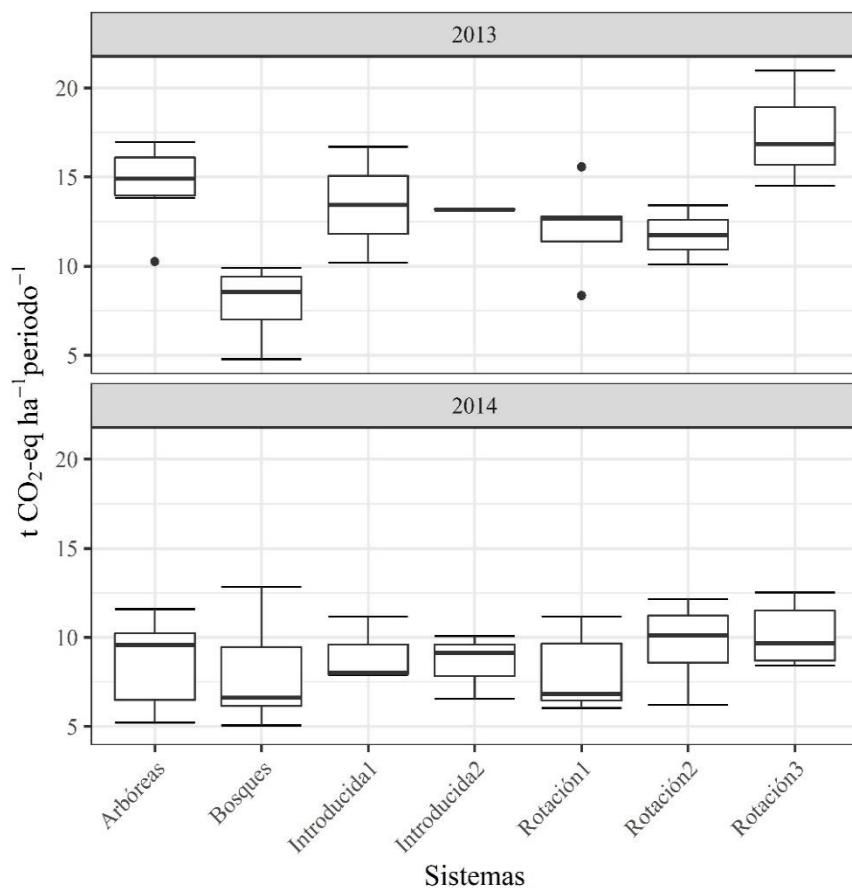


Figura 57. Emisiones de GEI ($\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ periodo}^{-1}$) cuantificadas en los sistemas evaluados en el segundo periodo de los años 2013 y 2014

Fuente: Pérez et al. (2017).

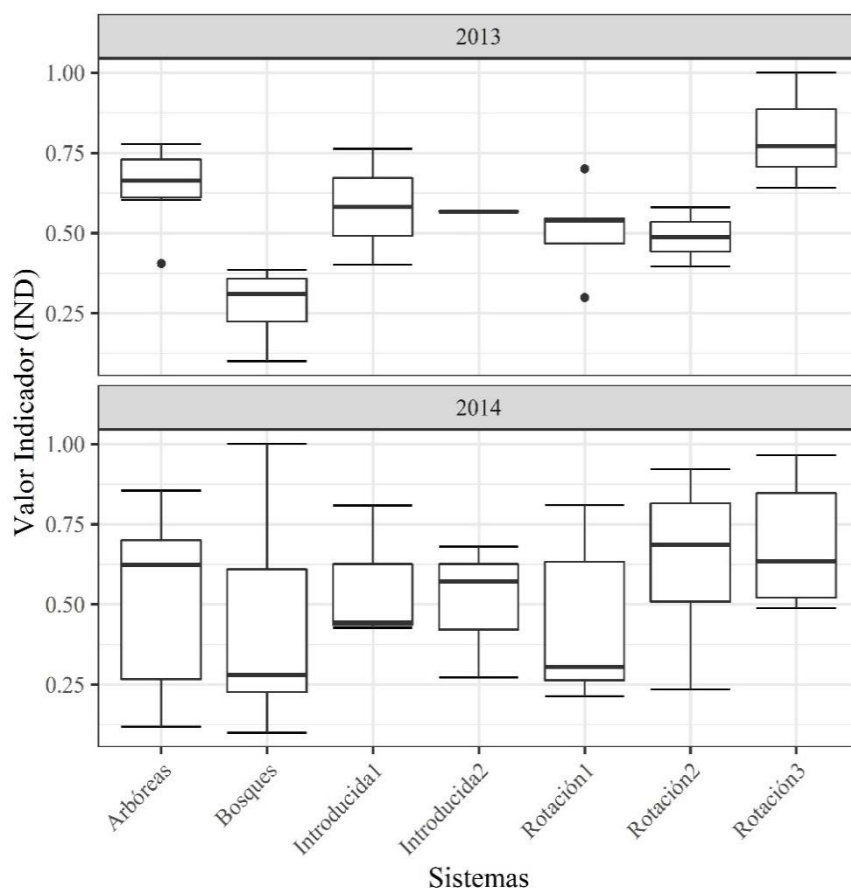


Figura 58. Indicador (IND) de regulación climática (GEI) en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura plana
Fuente: Pérez et al. (2017).

En la figura 58 se observa el indicador de GEI para los diferentes tratamientos evaluados en el segundo periodo del 2013 y 2014. Esta división de periodos se realizó para una mejor comprensión de los resultados. Para este indicador el rango es de 0,1 a 1, donde el valor cercano a 1 indica que aquel es el sistema que contribuye a las mayores emisiones de GEI. De acuerdo con los resultados, se encontró que los tratamientos *cultivos-pastos 3* (rotación 3) y *arbóreas* son los sistemas con mayor valor del indicador, contrario al sistema de bosque o parche de árboles espontáneos, el cual presentó el menor valor para ambos periodos (figura 58).

En este estudio (figura 59) se identificó el indicador de carbono en el suelo para un perfil de 0-20 cm en relación con la densidad aparente y los contenidos de carbono total en el suelo, donde se presentaron diferencias entre algunos sistemas para el periodo de muestreo de 2013 y 2014. De acuerdo con Post y Kwon (2000), existen factores que influyen en el almacenamiento de carbono en el suelo, como el historial de usos de la tierra, las entradas y salidas de materia orgánica del sistema y el manejo de estos usos. Las características físicas y biológicas del suelo y la historia de las entradas de material orgánico a los suelos pueden determinar las tasas de cambio de carbono orgánico bajo el suelo cuando la vegetación y las prácticas de manejo han cambiado. Como ejemplos de esta condición está la tala de bosques para establecer pasturas o cultivos, las prácticas de labranza, uso de correctivos y fertilizantes, la rotación de cultivos o la forma e intensidad de pastoreo por bovinos. Esto se evidenció en los resultados del trabajo, ya que los tratamientos con mayor valor del indicador fueron los sistemas *cultivos-pastos 3* en 2012, y *cultivos-pastos 2* y *parche de árboles espontáneos (bosques)* para el 2013 y 2014. Los menores valores del indicador se identificaron en el sistema *cultivos-pastos 1* para ambos periodos de evaluación. Cuando se presenta una situación como la anterior, se puede ganar o perder carbono del suelo dependiendo de las circunstancias específicas (Post & Kwon, 2000, citado por Ibrahim et al., 2007).

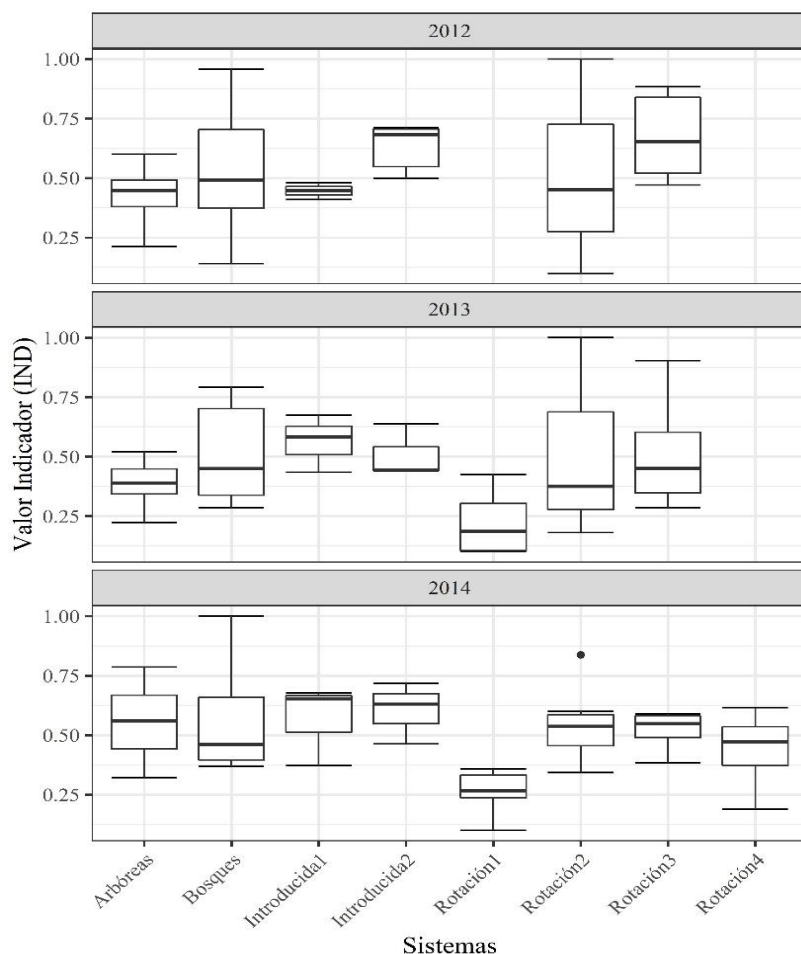


Figura 59. Indicador asociado al almacenamiento de carbono en un suelo bajo un sistema de ganadería de cría en la altillanura plana colombiana
Fuente: Pérez et al. (2017).

Análisis integral de indicadores de ecoeficiencia en sistemas ganaderos

Finalmente, observando los diferentes años y la evolución de resultados mediante el uso de indicadores, se encontró que la macrofauna es altamente susceptible a los cambios en su entorno, con posibilidades de cambios totales en el complejo biológico en relación con la condición previa a la intervención (figuras 60, 61 y 62). Además, las intervenciones agrícolas están entre los principales factores que inciden en las dinámicas de la macrofauna, ya que causan aumentos

o descensos abruptos en su abundancia y riqueza (Decaens, Lavelle, Jiménez, Escobar & Rippstein, 1994). Sin embargo, a medida que se estabiliza el sistema, la macrofauna se recupera. Teniendo en cuenta que un sistema productivo siempre requerirá de intervenciones para su manejo, y que estas perturban la actividad de la macrofauna, es importante considerar y establecer los usos de suelo de conservación por sus diferentes aportes a la calidad ambiental del sistema y los múltiples servicios ecosistémicos que puedan aportar, principalmente para la macrofauna, la biodiversidad y la conservación biológica (Marichal et al., 2014). Se hace evidente que tanto los parches de árboles espontáneos (bosques) como las franjas de árboles obtuvieron a través de los años mayor dinámica en la macrofauna con respecto a los otros usos de suelo, pero que también los usos de suelo agropastoriles o con cultivos-pastos pueden aumentar esta dinámica. La composición de los usos de suelo en un sistema ganadero es propicia para la conservación y el mantenimiento de un sistema productivo agrícola.

El estudio mostró que el sistema bajo un esquema agroforestal, que para este caso se traduce en sistema de pasturas, cultivos, rotaciones agropastoriles, franjas de árboles y parches de árboles espontáneos (bosques), puede aumentar la calidad ambiental por el incremento de los efectos en los servicios ecosistémicos que ofrece el sistema, como el de regulación ambiental.

Con respecto a las emisiones de GEI, no se presentó una tendencia en los tratamientos evaluados, independiente del manejo agronómico, ya que estas dependen de las prácticas, las condiciones climáticas y el impacto del manejo del sistema de pasturas; por ello la variabilidad entre los periodos de evaluación (figuras 60, 61 y 62). El sistema de parche de árboles espontáneos presentó las menores emisiones de GEI, independientemente del impacto del pastoreo en el momento de la toma de muestras durante los periodos de evaluación. Las funciones hídricas presentaron una dinámica temporal acorde a las intervenciones de labranza o el efecto de la carga animal. El indicador de funciones hídricas aumenta en aquellos sistemas con cultivos y pastos y tiende a mantenerse en el sistema *bosques* (figuras 60, 61 y 62). El impacto en la acumulación de carbono de los sistemas que incluyen cultivos transitorios es negativo, si se tiene en cuenta la reducción del indicador AC a través del tiempo

en *cultivos-pastos 2*. En los demás sistemas evaluados el indicador AC permanece estable (figuras 60, 61 y 62). La similitud del carbono orgánico entre los tratamientos evaluados se puede deber a la edad de establecimiento de los tratamientos. La dinámica del indicador de fertilidad es evidente debido al efecto de la aplicación de fertilizantes. Aquellos sistemas intervenidos con fertilización y labranza incrementan el valor del indicador en el tiempo, como es el caso de *cultivos-pastos 2* (figuras 60, 61 y 62). En general, la intervención de cada sistema, sumada a la variabilidad intrínseca de las propiedades *suelo* y *clima*, hacen que los valores del indicador estimados fluctúen en el tiempo.

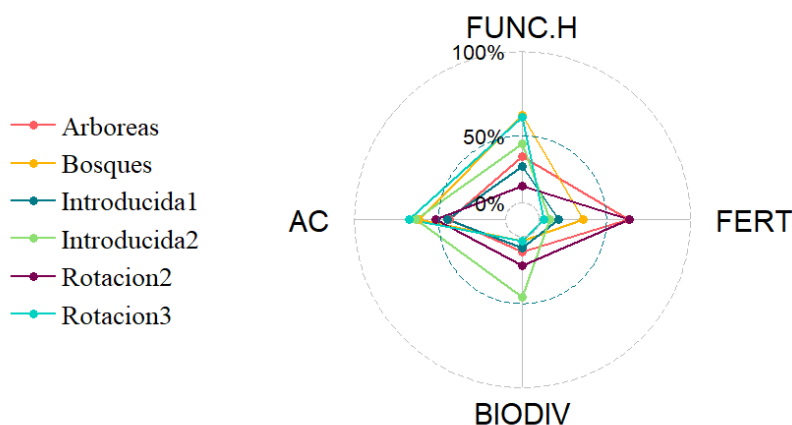


Figura 60. Indicadores del año 2012: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); AC (acumulación de carbono)
Fuente: Pérez et al. (2017).

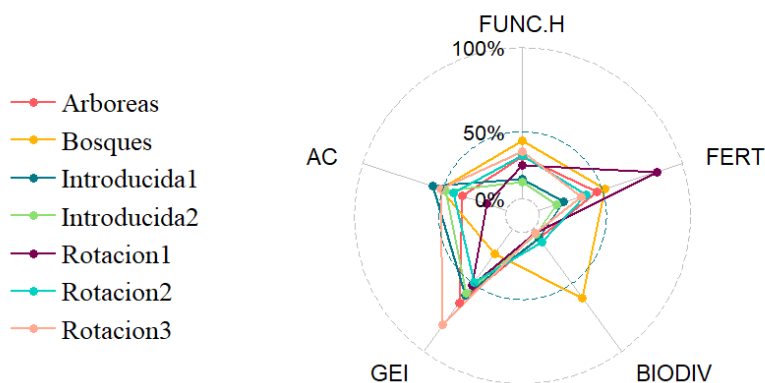


Figura 61. Indicadores del año 2013: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); GEI (gases de efecto invernadero); AC (acumulación de carbono)

Fuente: Pérez et al. (2017).

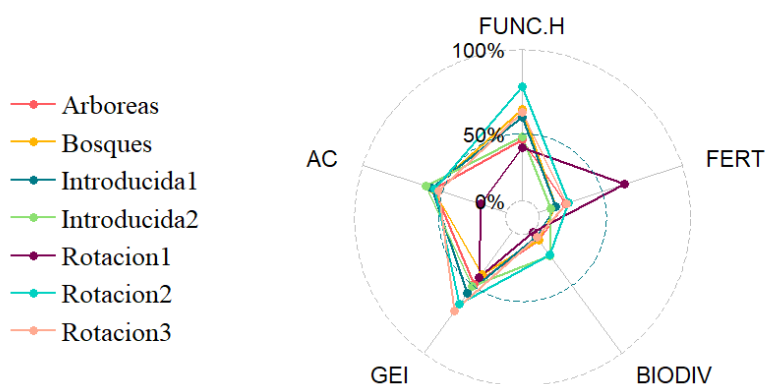


Figura 62. Indicadores del año 2014: FUNC.H (función hídrica); FERT (fertilidad); BIODIV (biodiversidad); GEI (gases de efecto invernadero); AC (acumulación de carbono)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Los resultados de este trabajo permiten inferir que las prácticas de manejo implementadas en los paisajes de sabanas tropicales generan cambios de diversa magnitud en los componentes físicos, químicos, biológicos y ambientales

del suelo. Mientras el uso de cultivos transitorios como maíz, sorgo y soya para la renovación o el establecimiento de pasturas mejoran el componente nutricional de los suelos, se evidencia una reducción en los indicadores de biodiversidad, acumulación de carbono y funciones hídricas; en contraste, estos indicadores se ven favorecidos con el establecimiento o la recuperación de pasturas introducidas, arreglos silvopastoriles o áreas boscosas. Este efecto, aparentemente antagónico, es el principio por el cual se debe promover el uso de sistemas integrados (agro-silvo-pastoriles) en las sabanas tropicales, donde la implementación de cultivos transitorios y sus prácticas de manejo mejoran las condiciones de fertilidad, el posterior uso de pasturas y la incorporación de arreglos con especies forestales nativas e introducidas, que pueden promover un equilibrio en términos de biodiversidad, funciones hídricas y acumulación de carbono, entre otras, generando así sistemas ganaderos con mayor sostenibilidad productiva y ambiental en una región como la altillanura, considerada como la frontera agrícola del país.

Evaluación financiera en sistemas de ganadería de cría en condiciones del CI Carimagua

La evaluación financiera del sistema de producción de ganadería de cría se realizó a partir del mes de mayo de 2011 (año 1: mayo de 2011 a abril de 2012) con dos tecnologías diferentes: el testigo (T1), con pastoreo en *B. dictyoneura*, y (T2), con pastoreo en *B. dictyoneura* + suplementación. Ambos sistemas se desarrollaron en el CI Carimagua (altillanura), en el departamento de Meta, y cada uno ocupó un área de 35 hectáreas; la diferencia entre ambos radicó en la suplementación estratégica que se suministró a los bovinos del T2 durante los tres meses de mayor sequía (diciembre, enero y febrero) que se presenta en la región, mientras que los bovinos del testigo se manejaron exclusivamente bajo pastoreo. La evaluación se realizó hasta el año 6 (mayo del 2016 a abril del 2017) con datos reales, y entre el año 7 al 10 con datos proyectados con base en la información generada durante los seis años previos. Para realizar la evaluación financiera se adaptó la estructura propuesta por varios autores para proyectos de inversión: Álvarez y Sánchez (2014), Miranda (2012) e Infante (1995).

Inversiones

De acuerdo con Miranda (2012), se consideran como inversión todos aquellos egresos destinados a adquirir bienes o servicios que no son objeto de ser intercambiados durante el proceso productivo, pero que son indispensables para que el sistema de producción comience a marchar. Las inversiones, a diferencia de los costos, tienen una vida útil equivalente a más de un ciclo productivo y pueden ser clasificadas en tres tipos:

Activos fijos: bienes duraderos que generalmente no son transformados en el proceso productivo. En este caso, se consideran dentro de esta categoría las vacas de cría, el toro reproductor, las praderas, el corral, la maquinaria, el terreno, etc.

Activos intangibles: hacen referencia a los bienes y servicios no tangibles que la empresa requiere para entrar en funcionamiento, pero que no inciden directamente en el proceso productivo, por ejemplo, estudio de suelos, estudios de mercado, etc.

Capital de trabajo: recursos monetarios con los que debe contar el productor para cubrir los costos en que incurre (ensilaje, medicamentos y vacunas, mano de obra, servicios públicos, etc.); estos deben estar disponibles antes de iniciar un periodo productivo.

Para el estudio de caso en Carimagua, se cuenta con los terrenos, que necesitan adecuaciones para disponer de praderas productivas, divisiones de potreros, semovientes, corral de manejo, análisis de suelo y capital de trabajo. De acuerdo con lo anterior, para poner a producir el sistema de ganadería de cría se requiere una serie de inversiones que permitan poner en funcionamiento el manejo integral del sistema, asegurando una mejor capacidad productiva en el mediano y largo plazo. En la tabla 30 se relacionan los activos fijos e intangibles (en cantidades) hasta el año 10, y en la tabla 31 el valor monetario de estas inversiones y del capital de trabajo para los tratamientos T1 y T2.

Tabla 30. Inversiones anuales durante 10 años en sistemas ganaderos de cría (T1 y T2) en condiciones del CI Carimagua

Concepto	Año 0		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Año 6		Año 7		Año 8		Año 9		Año 10	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Saladeros	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bebederos	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vacas	33	34	-	-	-	-	15	8	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Novilla vientre	-	-	-	-	-	-	-	-	11	14	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Toro reproductor	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerca perimetral (km)	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerca eléctrica (km)	-	-	3	3	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación praderas (ha)			14	14	10	10	-	-	-	-	5,2	5,2	4	4	10	10	10	10	10	10	10	10
Molino de viento	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plantación forestal (ha)	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corral con brete	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. Guadaña	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Análisis de suelo	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T1: pastoreo; T2: pastoreo + suplemento.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Tabla 31. Valor unitario y total de inversiones según sistema de manejo integral de bovinos cría en condiciones del CI Carimagua (000 COP)

CONCEPTO	Vr.	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total	Vr. total
	Unitario	Inicio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
1. Saladeros	250	750	-	-	-	-	750	-	-	-	-	-
2. Bebederos	500	1.500	-	-	-	-	1.500	-	-	-	-	-
3: Vacas	750	24.750 ^{T1}	-	-	16.380 ^{T1}	9.720 ^{T1}	-	-	-	-	-	-
		25.500 ^{T2}	-	-	9.600 ^{T2}	9.720 ^{T2}	-	-	-	-	-	-
4. Novillas vientre	-	-	-	-	-	11.761 ^{T1}	4.260 ^{T1}	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	14.968 ^{T2}	7.100 ^{T2}	-	-	-	-	-
5. Toros reproductores	2.800	2.800	-	-	-	3.960	-	-	-	-	-	-
6.Cerca perimetral (km)	5.367	9.661	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.Cerca eléctrica (km)	2.483 (A1)	-	7.202	-	6.773	-	-	-	-	-	-	-
	2.821 (A2)											
8 Recuperación de praderas	243	-	7.015	5.204	-	-	3.007	2.358	3.270	3.392	3.518	3.651
9. Molino viento	7.000	3.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Plantaciones forestales (ha)	1.373	-	1.420	-	-	-	368	-	-	-	-	-

Continuación de la tabla

11. Corral con brete	10.000	5.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. Guadaña	1.260	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. Estudio de suelo	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14. Capital trabajo	-	21.834 ^{T1}	735.8 ^{T1}	18.941 ^{T1}	11.876 ^{T1}	12.043 ^{T1}	23.431 ^{T1}	24.086 ^{T1}	24.435 ^{T1}	6.332 ^{T1}	-	-
		23.061 ^{T2}	777.1 ^{T2}	20.149 ^{T2}	21.984 ^{T2}	24.167 ^{T2}	25.249 ^{T2}	26.281 ^{T2}	27.049 ^{T2}	17.628 ^{T2}	-	-
15. Otros	300	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		70.795 ^{T1}	16.373 ^{T1}	24.145 ^{T1}	35.029 ^{T1}	37.484 ^{T1}	33.315 ^{T1}	26.444 ^{T1}	27.705 ^{T1}	9.724 ^{T1}	3.518 ^{T1}	3.651 ^{T1}
		72.773 ^{T2}	16.414 ^{T2}	25.353 ^{T2}	38.357 ^{T2}	52.815 ^{T2}	37.973 ^{T2}	28.639 ^{T2}	30.319 ^{T2}	21.020 ^{T2}	3.518 ^{T2}	3.651 ^{T2}

T1: pastoreo; T2: pastoreo + suplemento.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Costos

Los costos son todos los egresos del sistema de producción durante cada periodo. Los bienes o servicios que implican un costo son consumidos o transformados, generalmente durante un ciclo productivo, por ejemplo, insumos, servicios públicos, mano de obra, mantenimientos, etc. En este caso, los costos fueron clasificados en *fijos* y *variables*. Como costos fijos se consideran aquellos gastos que no dependen del tamaño de la producción, mientras que los variables se refieren a aquellos rubros que están ligados al tamaño o la magnitud de la producción.

Para ambos sistemas de manejo, en la categoría de fijos se consideró la mano de obra (empleados de planta) como proporcional según el tiempo de dedicación, y el salario del encargado equivale al 25 % del salario mínimo mensual legal vigente (smmlv). Para el costo de asistencia técnica, se hicieron cuatro visitas al año. El pago de servicios públicos no se consideró, ya que no se cuenta con estos en el predio. Se paga el impuesto predial porque se cuenta con la tierra, que al final se valoriza con todas las mejoras en las praderas e instalaciones.

Dentro de los costos variables, en ambos sistemas se consideraron los suplementos (sales, azufre, ensilaje), los vermífugos, las vacunas, los medicamentos, la mano de obra ocasional para apoyar las labores de vaquería, el mantenimiento de la plantación forestal los primeros tres años después de establecida, la fertilización de las praderas cada año por las prácticas de renovación y mantenimiento de estas durante diez años, el mantenimiento de las cercas y del molino de viento. En el caso del T2, se adicionó el rubro de ensilaje (0,45 t/UGG/año o 5 kg/animal/día) y suplemento balanceado (500 g/animal) suministrados durante 90 días en la época seca. Sin embargo, el ensilaje se costea para las dos tecnologías, ya que una de las estrategias utilizadas para la mejora de las praderas fue la renovación con el sistema de cultivos-pastos. Para el caso del T1, la producción de ensilaje se vendió en su totalidad. En la tabla 32 se presentan los costos totales para año 1, por categoría, según tecnología.

Tabla 32. Costos de producción (000 COP) por sistema de producción para el año 1

Concepto	T1 (pastoreo)	T2 (pastoreo + suplemento)
----------	---------------	----------------------------

	Cantidad	Vr. total (\$)	Cantidad	Vr. total (\$)
(1) Costos fijos	-	2.581,7	-	2.581,7
Encargado	12 (25 % SMMLV)	1.462,3	12 (25 % SMMLV)	1.462,3
Asistencia técnica	4	1.000	4	1.000
Impuesto predial (ha)	35	119	35	119
(2) Costos variables	-	19.252,0	-	20.479,4
Ensilaje (kg)*	86**	11.991,8	86,0	11.991,8
Sales (29,2 kg/animal)	46,0	1.477,5	49,0	1.573,8
Azufre (0,6 kg/animal)	46,0	24,1	49,0	25,7
Suplemento (0,5 kg/día/90 días)	NA	NA	35	1.103
Sanidad animal (vacunas y medicamentos) (dosis)	46,0	915,2	49,0	941,6
Mano de obra adicional (jornales)	12,0	420,0	12,0	420,0
Mantenimiento forestales (ha)	1,5	427,2	1,5	427,2
Fertilización praderas (ha)	14,3	3.469,0	14,3	3.469,8
Mantenimiento cerca (km)	13,0	527,0	13,0	527,0
TOTAL	21.834		23.061	

* La combinación de ensilaje para ese año fue de maíz (69 %) y soya (31 %).

** Toda la producción de ensilaje para la venta.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Ingresos operacionales

Los ingresos operacionales son generados por la venta anual de ganado (precios de referencia de la Subasta de Puerto López), que depende del grupo etario y de los indicadores de productividad del sistema. Las condiciones ambientales inciden directamente sobre el peso del animal, la natalidad y la extracción de animales.

A partir del año 6, se obtienen terneras y novillas con mayor mérito genético por el cambio en la vacada que se realizó desde el cuarto año. Esto permite producir animales con características superiores, que se valoran a un mayor precio y generan mayores ingresos en los tratamientos.

En ambos tratamientos se asume una tasa de extracción del 100 % para los terneros. En la tabla 33 se presenta la relación de precios de venta, la cantidad y el peso (kg) promedio de cabezas vendidas cada año según grupo etario y por tratamiento o sistema de manejo.

Tabla 33. Valor de ventas (000 COP), peso promedio (kg) y número de bovinos vendidos según grupo etario y tratamiento

Año	Grupo etario	T1 (pastoreo)			T2 (pastoreo +		
		Nº	Peso promedio (kg)	Valor venta (\$)	Nº	Peso promedio (kg)	Valor venta (\$)
1	Ternero	11	162	5.610	10	184	5.796
	Ternera	5	245	3.368	5	264	3.630
	Total	16	-	8.982	15	-	9.426
2	Ternero	7	176	3.880	10	197	6.205
	Ternera	11	264	7.986	10	264	7.260
	Vaca	5	393	4.323	4	393	3.458
	Total	23	-	16.189	24	-	16.923
3	Ternero	5	156	2.730	7	180	4.410
	Ternera	9	241	6.290	10	274	7.946
	Vaca	11	356	10.573	8	356	7.689
	Total	25	-	19.593	25	-	20.045
4	Ternero	9	174	5.950	10	199	7.562
	Ternera	8	241	6.111	7	274	6.080
	Novilla Vientre	12	347	13.616	14	368	16.847
	Vaca	-	-	-	1	380	1.037
	Toro	1	528	1.673	1	540	1.711
	Total	31	-	27.352	37	-	36.698
5	Ternero	17	205	16.031	14	225	14.490
	Ternera	5	259	4.921	3	265	3.021
	Novilla vientre	2	324	2.592	2	310	2.480
	Vaca	1	400	1.360	2	400	2.720
	Total	25	-	24.904	21	-	22.711
6	Ternero	13	202	12.867	7	215	7.374
	Ternera	10	272	10.880	18	265	19.080
	Vaca	-	-	-	1	400	14.000
	Total	23	-	23.747	26	-	27.854
7	Ternero	18	202	18.180	19	215	20.425
	Ternera	3	272	3.264	4	265	4.240
	Ternera MG*	3	272	4.080	3	265	3.975
	Novilla vientre	3	331	4.071	3	352	4.329
	Novilla vientre	2	331	3.310	3	352	5.280

	Vaca	1	444	1.554	-	-	-
	Total	30	-	34.459	32	-	38.249
8	Ternero	19	202	19.190	21	215	22.575
	Ternera	5	272	5.440	5	265	5.300
	Ternera MG	4	272	5.440	5	265	6.625
	Novilla vientre	3	331	4.071	5	352	7.216
	Novilla vientre	2	331	3.310	4	352	7.040
	Vaca	3	444	4.662	1	400	1.400
	Total	36	-	42.113	41	-	50.156
9	Ternero	18	202	18.180	21	215	22.575
	Ternera	4	272	4.352	5	265	5.300
	Ternera MG	3	272	4.080	5	265	6.625
	Novilla 1 a 2	2	272	2.176		-	-
	Novilla vientre	5	331	6.785	5	352	7.216
	Novilla vientre	4	331	6.620	4	352	7.040
	Vaca	2	444	3.108	1	400	1.400
	Total	38	-	45.301	41	-	50.156
10	Ternero	17	202	17.170	20	215	21.500
	Ternera	5	272	5.440	4	265	4.240
	Ternera MG	4	272	5.440	4	265	5.300
	Novilla vientre	3	331	4.071	5	352	7.216
	Novilla vientre	3	331	4.965	4	352	7.040
	Vaca	3	444	4.662	1	400	1.400
	Total	35	-	41.748	38	-	46.696

Fuente: Pérez et al. (2017).

El ensilaje suministrado correspondió a la mezcla de una gramínea (maíz o sorgo) y una leguminosa (soya). Para los años 1 y 2 el nivel de inclusión fue del 69 % de maíz y el 31 % de soya, del tercer año en adelante fue del 22 % de soya y el 78 % de sorgo, por lo cual sus rendimientos son diferentes, así como sus costos.

En el caso del T1 toda la producción de ensilaje se destinó para la venta, y en el T2 se destinó una parte para consumo de los bovinos experimentales y otra para la venta. En la tabla 34, se aprecian las cantidades vendidas con su precio base de venta.

Tabla 34. Valor de excedentes de ensilaje (000 COP) y cantidades (t) vendidas por año y por tratamiento

Año	Combinación	T1 (pastoreo)			T2 (pastoreo + suplemento)		
		Mezcla	Precio	Valor	Mezcla	Precio	Valor

		(t)	(\$/t)	venta (\$)	(t)	(\$/t)	venta (\$)
1	Maíz	60	250.000	15.000	49,1	250.000	12.283
	Soya	25,5		6.375	20,6		5.154
2	Maíz	45		11.250	35,4		8.843
	Soya	18,7		4.675	14,4		3.593
3	Soya	0		0	14		3.507
	Sorgo	0		0	53,5		13.367
4	Soya	0		0	12,1		3.037
	Sorgo	0		0	53,5		13.367
5	Soya	17		4.250	12,1		3.037
	Sorgo	64		16.000	46,8		11.700
6	Soya	18,7		4.675	13,9		3.487
	Sorgo	60		15.000	43,2		10.788
7	Soya	17		4.250	11,5		2.864
	Sorgo	60		15.000	40,3		10.086
8	Soya	17		4.250	11,3		2.814
	Sorgo	60		15.000	39,6		9.910
9	Soya	17		4.250	11,3		2.814
	Sorgo	60		15.000	39,6		9.910
10	Soya	17		4.250	11,4		2.839
	Sorgo	60		15.000	40		9.998
Total				154.225			143.404

*Precio por tonelada y valor de la venta en pesos constantes que fueron actualizados año a año según el IPC estimado para los años 7 al 10.

Fuente: Pérez et al. (2017).

En resumen, los ingresos recibidos para cada uno de los tratamientos están conformados por: a) la venta de bovinos, que representó el 76 % para el T1 y el 78 % para T2, y b) los excedentes del ensilaje, con el 32 y el 22 % para T1 y T2 respectivamente. Los cálculos correspondientes al año 10 se aprecian en la tabla 35. A su vez, los ingresos en el periodo 1 se triplican en el periodo 10 y tratan de estabilizarse a partir del periodo 8.

Tabla 35. Total de ingresos (000 COP) generados en sistemas de bovinos cría manejados bajo pastoreo (T1) y pastoreo + suplementación estratégica (T2)

Ingresos	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Año 6		Año 7		Año 8		Año 9		Año 10	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Inventarios	8.982	9.426	16.189	16.923	19.593	20.045	27.352	33.238	24.904	22.711	23.747	27.854	45.662	50.685	57.898	68.955	64.585	71.506	61.769	69.090
Excedentes ensilaje	22.095	18.025	16.790	13.113	0	18.267	0	18.564	24.671	17.955	25.069	18.188	25.508	17.160	26.465	17.494	27.444	18.141	28.481	18.994
TOTAL	31.077	27.451	32.980	30.037	19.593	38.313	27.375	51.803	49.575	40.666	48.816	46.043	71.171	67.845	84.363	86.449	92.030	89.648	90.251	88.084

Fuente: Pérez et al. (2017)

En la figura 63 se observa el comportamiento de los ingresos en el T1, en donde se refleja la tendencia de los ingresos, la línea de regresión y el coeficiente de determinación. El crecimiento de los ingresos en el horizonte de los 10 años es del 11,3 %.

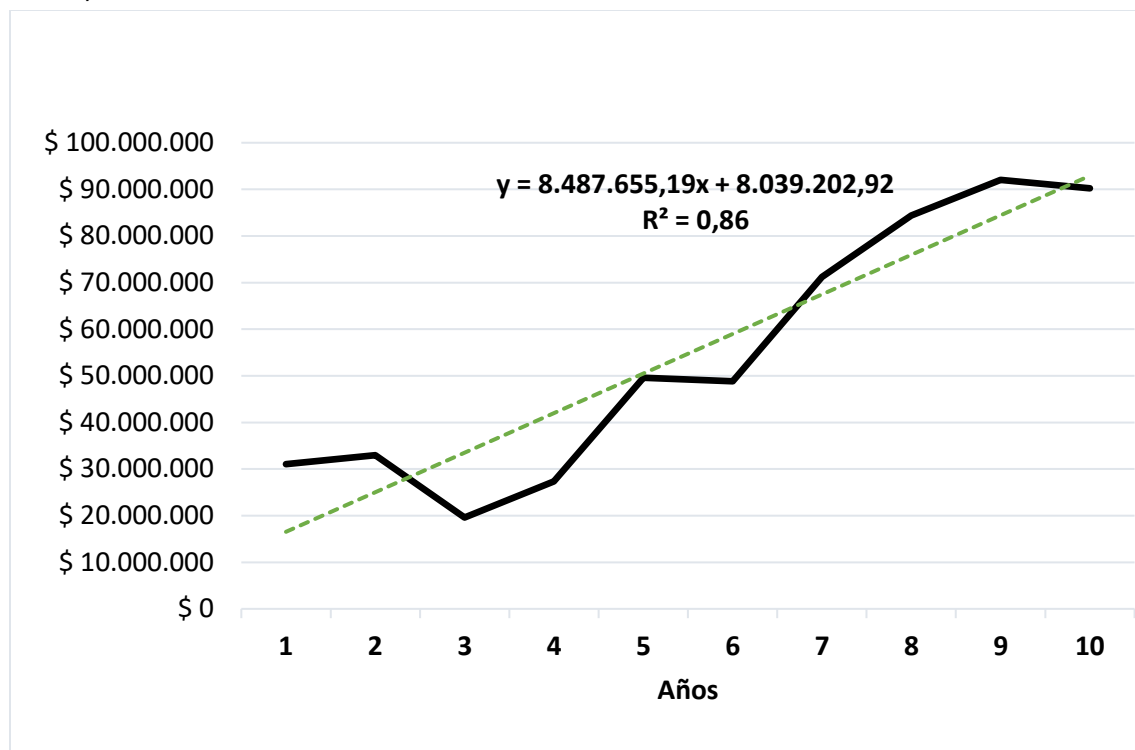


Figura 63. Regresión lineal asociada al comportamiento de los ingresos generados en un periodo de 10 años en un sistema de bovinos de cría manejados bajo pastoreo (T1)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Así mismo, la figura 64 muestra el comportamiento de los ingresos en el T2, su línea de regresión y el coeficiente de determinación, con un crecimiento del 12,4 % en los ingresos durante los 10 años.

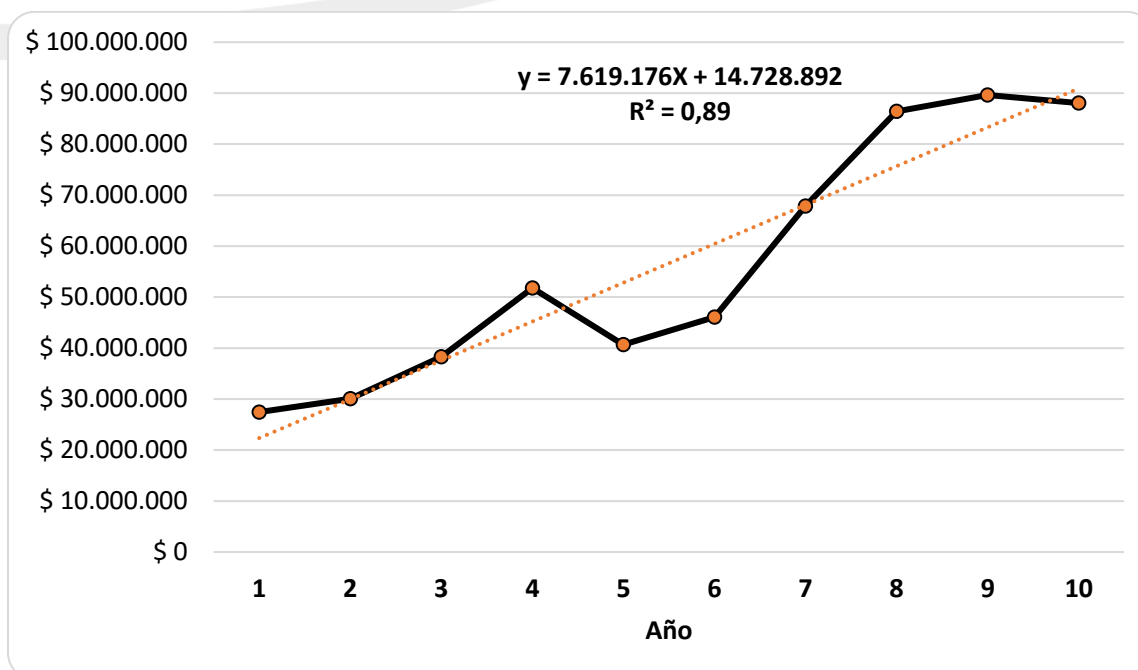


Figura 64. Regresión lineal asociada al comportamiento de los ingresos generados en un periodo de 10 años en un sistema de bovinos de cría manejados bajo pastoreo + suplementación en época seca (T2)

Fuente: Pérez et al. (2017).

Evaluación financiera

Teniendo en cuenta que la actividad de ganadería de cría inicialmente produce ingresos que no amortiguan los costos de producción, y que su objetivo principal en los primeros años es el crecimiento del hato ganadero, específicamente la multiplicación de las vacas de cría, los resultados de viabilidad financiera deben ser evaluados a largo plazo. Esto se debe a que en los dos o tres o primeros años solamente se venden los destetos machos y se deben asumir los costos de producción que durante esta fase son mayores a los ingresos. Las ganancias se reflejan cuando las vacas empiezan a producir un mayor número de terneros para la venta y cuando se puede renovar el hato (reemplazar las vacas de vientre adquiridas en el momento de inicio y que deben ser descartadas una vez cumplida su vida útil como reproductoras).

Así, los ingresos del estudio de caso provienen, por un lado, de la venta de los excedentes del ensilaje producido (maíz-soya y soya-sorgo), y, por otro, de la venta de todos los terneros nacidos y algunas terneras, novillas, vacas y toros de descarte.

Por otro lado, es necesario contemplar que cuando se cumple el objetivo de multiplicación del hato para cría, en el corto plazo no representa un ingreso monetario tangible para el productor, pero sí un gasto permanente, pues el hato debe mantenerse. Por ello, es necesario llevar la valorización comercial de ese inventario al final del flujo de caja, haciendo una analogía con el valor de desecho de activos fijos que se obtiene al final del ejercicio. Algo similar sucede con la valorización de los terrenos, ya que con el paso de los años las hectáreas mejoradas sufren un proceso de valorización que debe ser considerado en el análisis.

Toda la información tomada para cada tratamiento fue empleada para realizar el flujo de caja desde el momento 0 hasta el año 10 (tablas 36 y 37). Posteriormente, se realizó la evaluación financiera del sistema de ganadería de cría en Carimagua para los dos tratamientos evaluados considerando una tasa de descuento del 12 % (comúnmente aceptada por los inversionistas y el Estado en Colombia).

Tabla 36. Flujo de caja (000 COP) de un sistema de bovinos cría manejado bajo pastoreo (T1) en condiciones del CI Carimagua

Año de operación	Ingresos totales (\$)	Inversiones para el proyecto (\$)				Valor de rescate (\$)		Flujo neto de efectivo (\$)
		Egresos totales	Activos fijos	Activos intangibles	Capital de trabajo	Vr. de desecho + inventario ganadero	Recuperación de capital de trabajo	
0	0	0	51.111	100*	21.834	0		-73.046
1	31.077	22.570	16.373	0	0	0		-7.866
2	32.980	18.941	24.145	0	0	0		-10.106
3	19.593	11.876	35.028	0	0	0		-27.312
4	27.352	12.043	37.484	0	0	0		-22.174
5	49.575	23.431	31.066	0	0	0		-4.922
6	48.816	24.086	26.444	0	0	0		-1.714
7	71.171	24.435	27.706	0	0	0		19.029
8	84.363	25.361	9.725	0	0	0		49.276
9	92.030	26.008	3.518	0	0	0		62.503
10	90.251	26.999	3.651	0	0	339.929		399.530

*Valor en miles de pesos.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Tabla 37. Flujo de caja (000 COP) de un sistema de bovinos cría manejados bajo pastoreo + suplementación en época seca en condiciones del CI Carimagua

Año de operación	Ingresos totales (\$)	Inversiones para el proyecto (\$)				Valor de rescate (\$)		Flujo neto de efectivo (\$)
		Egresos totales	Activos fijos	Activos intangibles	Capital de trabajo	Vr. de desecho + inventario ganadero	Recuperación de capital de trabajo	
0	0	0	51.861	100*	23.061	0		-75.023
1	27.451	23.838	16.414	0	0	0		-12.802
2	30.037	20.149	25.353	0	0	0		-15.464
3	38.313	21.984	38.356	0	0	0		-22.028
4	51.803	24.167	52.816	0	0	0		-25.180
5	40.666	25.249	35.723	0	0	0		-20.306
6	46.043	26.281	28.640	0	0	0		-8.878
7	67.845	27.049	30.320	0	0	0		10.476
8	86.449	28.104	21.021	0	0	0		37.323
9	89.648	28.836	3.518	0	0	0		57.293
10	88.084	29.786	3.651	0	0	337.571		392.218

*Valor en miles de pesos.

Fuente: Pérez et al. (2017).

Es importante anotar que los indicadores de productividad, costos, inversiones e ingresos hasta el año 6 corresponden a valores reales arrojados por la investigación que se desarrolló en el CI Carimagua. Los datos presentados en los años 7 al 10 corresponden a proyecciones basadas en la información previa generada, y en que constantemente se realizan inversiones que no tienen retornos financieros en el corto plazo. Al analizar los indicadores financieros reales (año 6) y proyectados (año 10) resultantes de la investigación, se encontró lo siguiente.

El valor presente neto (VPN) representa el excedente monetario generado, la recuperación de la inversión y la utilidad de la tasa de descuento escogida. Para el proyecto, en los 6 periodos analizados, se observa que el tratamiento 1 (pastoreo) presenta una ganancia de \$28.456.711, mientras que en el tratamiento 2 (pastoreo + suplemento) alcanza los \$10.761.910; para el año 10, el VPN para el T1 es de \$54.365.202 y para el T2 de \$20.272.408 (tabla 38). Esta situación se debe principalmente al incremento en los costos de suplementar al ganado en los tres meses de sequía y la diferencia de inventarios, que influye en el consumo de insumos sanitarios (vacunas, medicamentos) y nutricionales (sal, azufre) entre tratamientos. Con el paso del tiempo (largo plazo) se espera que las diferencias entre los tratamientos sean cada vez menores, ya que con el T2 hay una mejora sustancial en los indicadores zootécnicos, que permite una mayor producción de terneros y venta de animales.

La tasa interna de retorno (TIR) indica el promedio geométrico de los rendimientos esperados de las inversiones realizadas; dicha tasa se contrasta con el costo de oportunidad del capital social en Colombia, que es del 12 %. En el escenario de los primeros 6 años de trabajo, para el tratamiento 1 la TIR fue del 16 % y del 13 % para el T2, mientras que en el escenario proyectado a 10 años la TIR para el T1 fue del 17 % y para el T2 del 14 % (tabla 38). Una condición que permitió superar la meta del 12 %, lo cual significa que los rendimientos de ambos sistemas de producción animal son rentables y mayores a los que se puede obtener en otra inversión o actividad (costo de oportunidad).

Tabla 38. Indicadores financieros por sistema de producción de bovinos de cría cuantificados a 6 y 10 años en condiciones del CI Carimagua

Indicador	Año 6		Año 10	
	T1 (pastoreo)	T2 (pastoreo + suplemento)	T1 (pastoreo)	T2 (pastoreo + suplemento)
Valor presente neto (VPN)	\$28.456.711	\$10.761.910	\$54.365.202	\$20.272.408
Tasa interna de retorno (TIR)	16 %	13 %	17 %	14 %
Relación beneficio-costo (RB/C)	1,11	1,04	1,17	1,05

Fuente: Pérez et al. (2017).

La relación beneficio-costo (RB/C) representa el excedente monetario que genera el proyecto por cada peso invertido después de recuperar la inversión y cubrir la tasa de descuento del 12 %. Para el periodo de 6 años, en el caso del T1 por cada \$1 invertido se generó \$0,11 de ganancia, mientras que para el T2 se generaron \$0,04. A los 10 años, con el T1 por cada \$1 invertido se generó \$0,17 de ganancia, y con el T2 se generaron \$0,05 (tabla 38). Hay que destacar que la evaluación financiera de un estudio ejecutado (ex post) no es igual a la evaluación de un proyecto por iniciar (ex ante). El primer caso se hace sobre realidades financieras y en el segundo sobre bases y supuestos que ocurrirán.

Los tres indicadores están afectados por causas financieras en común:

- Menores costos en el T1 que en el T2.
- Costos crecientes en el T2 y costos sin mucha variación en el T1.
- Si bien es cierto que los tres o cuatro primeros años son de inversión y pocos ingresos, en los años 5 y 6 deberían aumentar los ingresos por la venta de terneros y otros grupos etarios, situación que no es tan marcada.
- Las reinversiones por la compra de semovientes antes de lo esperado (vacas y toros a los cinco o seis años) se convierten en una alta carga financiera para los sistemas evaluados.
- No existe un crecimiento consistente en las ventas de terneros.
- Solamente en los dos últimos periodos se obtienen utilidades para financiar los gastos del periodo siguiente (capital de trabajo), razón por la cual este concepto se vuelve un costo variable adicional.

Conclusiones

- Los resultados generados en este estudio contribuyen al propósito de reconvertir los sistemas tradicionales de producción ganadera en sistemas de producción sostenibles y productivos que contribuyan a la adaptación y la mitigación del cambio climático.
- Se evidenció un incremento en los índices reproductivos de las vacas, con aumentos sustanciales en la productividad del hato cuando se mejoraron de manera integral las condiciones de manejo de los bovinos, especialmente cuando se enfatizó en el perfil nutricional y el bienestar animal.
- Con el uso de cultivos forrajeros se demuestran, una vez más, las ventajas técnicas y económicas, en cantidad y calidad, de la estrategia para la producción de forraje y su conservación como ensilaje, que apalanca la renovación o el establecimiento de praderas más productivas y de mejor calidad nutricional, lo cual permite intensificar los sistemas de producción animal de la altillanura a menores costos.
- Las metodologías sustentables implementadas para el manejo integrado de garrapatas y moscas en los bovinos fueron eficaces y generaron una caída sustancial y rápida en las cargas parasitarias de los animales experimentales, debido a que fueron complementarias y potencializaron sus efectos.
- Las variables de edad (mayores de 24 meses) y sexo juegan un papel importante en la presencia de algunas enfermedades y se consideran como altamente significativas y factores de riesgo (RP), lo cual permite reafirmar que los animales que entran al proceso de monta y actividad reproductiva deben recibir seguimiento y se debe verificar el estatus sanitario, ya sea del animal o del material genético que se va a utilizar para los procesos reproductivos.
- Para el año 2011, la aplicación de la herramienta de selección (genética molecular) permitió determinar la heterocigosis del hato inicial en 0,73, considerada alta y con bajos procesos de selección, herramienta que permitió orientar un programa de mejora animal y logró llevar la vacada a una estructura poblacional tipo cebú apta para la producción de progenies con toros puros cebuinos o la producción de F1 mediante cruzamiento con razas de interés. Para el año 2015, se identificó que el 67 % de los animales

presentaban un perfil genético que permitía catalogarlos como población cebú brahman pura, dada la similaridad genética con una población evaluada de esta raza. Un 15 % de la población se catalogó como *animales con alto grado de cruzamiento* y un 17 % de los animales que se consideraban como madres para generar descendencia pura. A partir de este trabajo se puede reorganizar la población a fin de direccionar su selección hacia un grupo genético puro sin registro.

- El efecto de la labranza y la aplicación de nutrientes (correctivos y fertilizantes) sobre la características físicas y químicas del suelo tiende a reducirse drásticamente después del tercer año de intervención, lo que indica la necesidad de ajustar el manejo de suelos mediante la fertilización de mantenimiento, el monitoreo de la producción y la calidad del forraje en condiciones de la altillanura.
- Las prácticas de manejo ejercen importantes efectos sobre la biota y llegan a afectar o favorecer la abundancia y la diversidad de los diferentes órdenes asociados a las funcionalidades del ecosistema. Esto depende del tipo de manejo dado al suelo, ya que la magnitud del impacto y la capacidad de los organismos para recuperarse y estabilizarse estará dada por las condiciones bióticas y abióticas del entorno.
- El análisis preliminar realizado de la ecología microbiana permitió observar que las prácticas de manejo empleadas impiden la degradación de las praderas desde el punto de vista microbiológico.
- A partir de los indicadores financieros tradicionales resultantes de evaluar la viabilidad de las dos tecnologías analizadas, se observa que ambos tratamientos obtienen indicadores aceptables. Sin embargo, es evidente que el tratamiento de pastoreo (T1) supera a la tecnología de pastoreo + suplemento (T2). Una vez se establezca el tratamiento 2 y se reconsideren aspectos relacionados con un plan preconcebido de manejo de inventarios, costos e ingresos, con un horizonte de análisis mayor (en años), se espera que los indicadores evidencien los beneficios de la tecnología.
- Teniendo en cuenta que los dos tratamientos evaluados incorporan la venta del ensilaje, que en ocasiones representa hasta el 50 % de los ingresos (especialmente en el T1), y si además hay demanda en el área de influencia, se podría considerar una ampliación de las áreas de cultivos de forrajes para aumentar aún más los ingresos.

- Los sistemas de explotación ganadera pueden ser competitivos y sostenibles con la aplicación de las tecnologías validadas y ajustadas para la región, relacionadas con el uso y el manejo de los recursos forrajeros y arbóreos adaptados, los sistemas integrados agrícola-pecuarios y silvopastoriles, el manejo del hato, la sanidad animal, el mejoramiento genético animal y la gestión empresarial.

Recomendaciones

- El manejo del sistema, que integra los aspectos agronómicos, zootécnicos (la nutrición, la genética, la salud y el manejo reproductivo) y la gestión administrativa de los diferentes componentes, muestra alternativas individuales para mejorar los indicadores productivos y ambientales de manera sostenible; sin embargo, estas alternativas requieren seguimiento durante periodos largos para poder determinar su potencial en condiciones definidas.
- Es importante fortalecer el registro y la toma de información básica en las empresas ganaderas y registrarla en libros de campo para su posterior sistematización en un software de manejo bovino o en bases de datos, con información como: la identificación del animal con numeración, la identificación de su genealogía (relacionada con padres y abuelos), el registro del desempeño reproductivo, principalmente con fecha de parto y fecha de servicio o apareamiento con el toro, eventos de abortos y eventos productivos relacionados principalmente con la ganadería de carne, así como controles de peso y fecha, peso al nacimiento, peso al destete, peso a los 18 y los 24 meses, peso de salida y peso de la hembra al entore.
- La integración del componente arbóreo en los sistemas tradicionales de ganadería de cría demanda ampliar la oferta de materiales con crecimiento rápido y adaptación al medio, que diversifiquen y permitan obtener un valor agregado en lo productivo y en términos de los servicios ambientales que se generan a partir de su integración al sistema de producción. Igualmente, se deben identificar y priorizar los puntos críticos en los agroecosistemas ganaderos donde la conservación de la biodiversidad y la producción sostenible se alcancen simultáneamente.

- Definir metodologías de evaluación integral de gases de efecto invernadero que vinculen los componentes por separado (suelo, planta, animal y ambiente) y en el sistema en forma integrada.
- Definir una estrategia que permita la vinculación en las fincas de los productores, de manera flexible, de las diferentes recomendaciones tecnológicas validadas.
- Consolidar la información de los hatos de cría en las condiciones de los centros de investigación y en las fincas de los productores de la altillanura con las estrategias de manejo reproductivo de bovinos, como la monta estacional, la inseminación artificial y la transferencia de embriones, además de confrontar las prácticas de manejo, como el destete precoz y el amamantamiento restringido.
- La principal actividad de los organismos en el suelo (macrofauna, mesofauna y microorganismos) es la descomposición de los residuos orgánicos mediante procesos bioquímicos y la mejora de aspectos y componentes del suelo, que hoy son reconocidos como un servicio ecosistémico. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la actividad biológica requiere de algunas fuentes de materia orgánica para su potencialización en los sistemas con manejos agrícolas, lo cual hace necesario que los ensayos de los tratamientos tengan componentes que involucren la aplicación de fuentes orgánicas, como acondicionadores de suelos o como base de sustratos orgánicos, para aumentar su actividad.
- Con el propósito de identificar las especies forrajeras y las prácticas de manejo que promuevan el crecimiento de las especies de microorganismos implicadas en el ciclaje de nutrientes, como el nitrógeno o el fósforo, y favorezcan el aprovechamiento del fertilizante químico aplicado, se recomienda realizar estudios de ecología microbiana con metodologías como la metagenómica y la metatranscriptómica.
- Para determinar la importancia de los cambios de uso del suelo y el manejo de los sistemas ganaderos en el control climático, es importante establecer un diseño de muestreo representativo donde se tengan en cuenta las variables físico-químicas del suelo, las climáticas, el manejo agronómico de los sistemas de pasturas, el establecimiento de los cultivos y las fertilizaciones para determinar la dinámica del nitrógeno mineral, validando las metodologías de muestreo de gases de acuerdo a la zona para establecer

los parámetros que permitan correlacionar los flujos netos acumulados representativos del sistema y se disminuya la variabilidad en los resultados.

- Teniendo en cuenta las características propias de la actividad de cría, que requiere de reinversiones constantes, se sugiere ampliar el horizonte de análisis de la evaluación financiera hasta 15 a 20 años para conocer el comportamiento de los indicadores de productividad y rentabilidad del sistema con las dos alternativas de producción.
- En las condiciones de este estudio, las extracciones de vacas y toros antes de los años productivos calculados ocasiona una reinversión dos o tres años antes de lo esperado, sacrifica beneficios relacionados con el mayor número de partos y, por consiguiente, de terneros, y afecta los indicadores de rentabilidad de los sistemas analizados.
- Para futuros inversionistas, se podrían implementar sistemas que inicien la explotación de cría una vez se tengan los suelos, las praderas y la infraestructura de manejo construida y adecuada. Esto permitiría, en el corto plazo, contar con una capacidad de carga plena y asegurar rápidamente cambios en los inventarios, garantizando así una mejor planificación de los ingresos por ventas.
- Es conveniente revisar la opción de escalar la actividad ganadera en áreas mayores para verificar el impacto sobre los indicadores productivos y financieros.

Los autores

Otoniel Pérez López

operez@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad de los Llanos con Maestría en Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Ha trabajado en proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para sistemas de ganadería, especialmente de la Orinoquia colombiana, que involucran la evaluación y desarrollo de pastos y forrajes tropicales, la generación de recomendaciones tecnológicas de manejo de pastos y cultivos forrajeros, el diseño, implementación y manejo de sistemas integrados (agrosilvopastoriles) en suelos ácidos. Actualmente es Investigador Master Asociado, adscrito a la Red de Ganadería y Especies Menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.

Guillermo Alonso Bueno Guzmán

gbueno@agrosavia.co

Zootecnista, magister en Zootecnia de la Universidad Federal de Vicosa Brasil (MG). Ha trabajado en planificación, desarrollo y vinculación de productos tecnológicos en sistemas de producción, en aspectos como establecimiento, recuperación y manejo de pasturas y de cultivos forrajeros, multiplicación de semillas de especies forrajeras gramíneas y leguminosas, prácticas de conservación de forrajes para alimentación de bovinos, manejo y nutrición de bovinos en sistema doble propósito y cría, manejo de sistemas agrosilvopastoriles en el piedemonte y altillanura colombiana. Actualmente se desempeña como Investigador Master Asociado, adscrito a la Red de Ganadería y Especies Menores de la Corporación Colombiana de Investigación (AGROSAVIA), Centro de investigación La Libertad, en Villavicencio, Meta.

José Eurípides Baquero Peñuela

jbaquero@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad de los Llanos con maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos de la Universidad Nacional de Colombia y doctorado en Agronomía de la Universidad Estadual de Londrina (UEL). Desempeñó su actividad profesional como investigador del área técnico-científica en el ICA en el periodo 1986 a 1993; posteriormente se vinculó a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica, ahora AGROSAVIA, hasta la fecha. Ha trabajado en el área de fertilidad, nutrición y manejo de suelos para los sistemas productivos de cultivos transitorios (maíz, soya, arroz, algodón), frutales (cítricos, papaya, piña), caña y sistemas agropastoriles con énfasis en la Orinoquia colombiana. Actualmente, se desempeña como investigador PhD. de la red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta.

Héctor Guillermo Onofre Rodríguez

honofre@agrosavia.co

Médico Veterinario y Zootecnista de la Universidad de los Llanos; candidato a magister en desarrollo rural de la Pontificia Universidad Javeriana. Las áreas principales en las que ha laborado incluyen genética y reproducción en bovinos, conformación, conservación y manejo de bancos de germoplasma de razas criollas (bovinos y cerdos). Actualmente, es investigador profesional, adscrito a la Red de ganadería y especies menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación La Libertad, en Villavicencio, Meta.

Elizabeth Regina Cassalett Bustillo

ecassalett@hotmail.com

Médica Veterinaria con maestría en Salud Animal de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en salud en el área de parasitología animal, en la caracterización y desarrollo de alternativas de manejo integrado para el control de parásitos en bovinos, así como en aspectos asociados a la salud, calidad e inocuidad en los sistemas de producción tropicales. Trabajó hasta julio de 2018 como investigadora master de la Red de ganadería y especies menores en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta.

Adriana María Molina Romero

amolinar@agrosavia.co

Economista, magíster en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana. Ha trabajado en investigación de análisis económicos y financieros, estudios de mercado, caracterizaciones y tipificaciones de sistemas productivos, evaluación de impactos socioeconómicos para ganadería, cultivos transitorios y permanentes. Actualmente, es investigadora máster, adscrita a la Red de cultivos transitorios y agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.

Miguel Andrés Arango Argoti

marangoa@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo con maestría en suelos de la Universidad de Puerto Rico y doctorado en Agronomía de la Universidad Estatal de Kansas con énfasis en ciencias ambientales. Su trabajo se ha enfocado en temas relacionados con cambio climático como: la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y captura de carbono de sistemas agropecuarios, la aplicación de herramientas de modelación y simulación de procesos en suelos y cultivos

desde el enfoque estadístico y mecanístico. Entre sus intereses está el estudio de la dinámica del nitrógeno y carbono del suelo mediante la integración de experimentos en campo y herramientas de modelamiento. Actualmente, se desempeña como investigador PhD. de la Red de cultivos transitorios y agroindustriales en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta.

José Guillermo Velásquez Penagos

jvelasquez@agrosavia.co

Médico Veterinario de la Universidad de la Salle, con maestría en reproducción bovina y PhD. en ciencias biomédicas con énfasis en reproducción y suficiencia investigadora en estudios avanzados en fisiología animal. En la actualidad, lidera como investigador principal delegado los macroproyectos de investigación del convenio AGROSAVIA-Ecopetrol y el proyecto de doble propósito. Es investigador PhD. de la Red de ganadería y especies menores en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con sede en el Centro de Investigación La Libertad, en Villavicencio – Meta.

Nubia Stella Rodríguez Hernández

nrodriguez@agrosavia.co

Bióloga, con maestría en Fisiología de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en investigación en las relaciones que se establecen entre las plantas, el suelo y la atmósfera en cultivos transitorios en rotación, así como el abordaje de la oferta y demanda de los servicios ecosistémicos de estos sistemas productivos, en los sistemas ganaderos en especial el tema del balance de Carbono en atmósfera utilizando la técnica Eddy Covariance y gases de efecto invernadero asociados a las diferentes prácticas de manejo. Actualmente, es investigadora master, adscrita a la Red de cultivos transitorios y agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.

Lina Margarita Moreno Conn

lmoreno@agrosavia.co

Microbióloga agrícola y veterinaria con master en Ciencias Biológicas con énfasis en Microbiología Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Ha trabajado en investigación en el área de microbiología de suelos con microorganismos con potencial como bioinoculantes para la promoción del crecimiento vegetal, como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos. Actualmente, es investigador master, adscrita a la red de cultivos transitorios y agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.

Carol Viviana Amaya Gómez

camaya@agrosavia.co

Microbióloga Industrial de la Universidad Javeriana, Máster en Investigación y Avances en Microbiología y Doctorado en Microbiología y Biología Molecular de Bacterias de la Universidad de Granada, España. Con experiencia en investigación en los mecanismos de competencia implicados en el establecimiento de las interacciones bacterianas, especialmente en aspectos como motilidad, formación de biopelículas, sideróforos y moléculas Anti-quórum sensig, así como la caracterización y bioprospección de los microorganismos del Banco de Germoplasma en la formulación de bioproductos. Actualmente, es investigadora PhD. de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) adscrita a la Red de ganadería y especies menores con sede en el Centro de Investigación La Libertad, en Villavicencio, Meta.

Jaime Humberto Bernal Riobo

jhbernal@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo, magíster en Nutrición de Cultivos, PhD. en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en investigación en ecofisiología de cultivos, agricultura de precisión y conservación en cultivos transitorios, y la valoración de servicios ecosistémicos que presta el suelo. Actualmente, es investigador PhD., adscrito a la Red de cultivos transitorios y

agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.

William Andres Correal Galindo

wcorreal@agrosavia.co

Médico Veterinario y Zootecnista de la Universidad de los Llanos. Ha trabajado en el desarrollo de investigación para sistemas de producción de ganadería (reproducción, mejoramiento y producción) en la Orinoquia colombiana. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación (PAI) adscrito a la Red de ganadería y especies menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta.

Diego Mauricio Pabón Leal

dpabon@agrosavia.co

Médico Veterinario y Zootecnista de la Universidad de los Llanos. Ha trabajado en el desarrollo de la investigación para sistemas de producción de ganadería (producción y reproducción) en la Orinoquia colombiana. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación (PAI) adscrito a la Red de ganadería y especies menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con sede en el Centro de Investigación Carimagua en Puerto Gaitán, Meta.

Mayra Alejandra Villalobos Bermudez

mvillalobos@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma de la Universidad de los Llanos. Ha trabajado en la evaluación agronómica de pastos y forrajes en suelos ácidos, en sistemas de producción de cultivos transitorios en la altillanura plana (soya y arroz), en monitoreo de la calidad de las aguas de producción petrolera suministrada por plantas pilotos de tratamiento para determinar su potencialidad de uso para riego en cultivos permanentes, y en la caracterización de materiales tenera e híbridos de palma aceitera con adaptación específica. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación (PAI) adscrita a la Red de cultivos transitorios y agroindustriales de la Corporación Colombiana de

Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con sede en el Centro de Investigación Carimagua en Puerto Gaitán, Meta.

José Henry Velásquez Penagos

jvelasquezp@agrosavia.co

Médico Veterinario Zootecnista, magíster en Reproducción Animal de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha trabajado en investigación en anestro posparto en bovinos, biotecnología animal, criopreservación de embriones y semen de razas criollas. Actualmente, es investigador master asociado en el Centro de investigación la Libertad en Villavicencio, Meta y miembro del Comité Científico de la red de Ganadería y Especies menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Juan Carlos Fuentes Benítez

jfuentes@agrosavia.co

Economista, magíster en Ciencias Económicas de la Universidad Santo Tomas. Ha trabajado en investigación socioeconómica de los sistemas productivos agropecuarios, adscrito a la Red de Hortalizas y Aromáticas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Dirección de Investigación - Sede Central, Mosquera – Cundinamarca.

Bibliografía

- Alberio, R. (2014). Manejo reproductivo del ganado bovino en sistemas extensivos. *Albéitar Portal Veterinario*. Recuperado de <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/5457/articulos-rumiantes-archivo/manejo-reproductivo-del-ganado-bovino-en-sistemas-extensivos.html>.
- Alexander, D. H., Novembre, J. & Lange, K. (2009). Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. *Genome Research*, 19(9), 1655-1664. doi: 10.1101/gr.094052.109.
- Álvarez, A. & Sánchez, V. (2014). *Formulación y evaluación de proyectos agrarios*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Amézquita, E. C., Hoyos, G. P., Molina, L. D., Corrales, A. I., Bernal, R. & Rivera, P. M. (2013). *Por qué y cómo construir la capa arable en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia* [documento inédito]. Cali, Colombia: CIAT.
- Amézquita, E., Thomas, R. J., Rao, I. M., Molina, D. L. & Hoyos, P. (2004). Use of deep-rooted pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103(2), 269-277.
- Amézquita, E., Sanz, J. I., Thomas, R. J., Vera, R. R., Hoyos, P., Molina, D. L. & Chaves, L. F. (1997). Características estructurales de los suelos del Llanos Orientales de Colombia sometidos a varios sistemas de manejo. *Suelos Ecuatoriales*, 27, 151-156.
- Anderson, J. M. & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. 2ª ed. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Arthur, G. H., Noakes, D. E., Pearson, H. & Parkinson, T. J. (1996). *Veterinary Reproduction and Obstetrics*. 7.ª ed. Londres, Reino Unido: Saunders.
- Baquero J. E. (2012). Los minerales en el suelo. En: A. Rincón Castillo, J. E. Baquero & H. Flórez Díaz (eds.), *Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia* (pp. 29-53). Villavicencio, Colombia: Corpoica.

- Basurto, C. H. (s. f.). *Programa estacional de reproducción: una alternativa para la producción bovina en pastoreo en el trópico mexicano*. Recuperado de <http://www.ganaderialaluna.com/pdf/BtRgz00g031.pdf>.
- Basurto, H. (2005). El anestro posparto en la ganadería bovina del trópico. En *Memorias del I Congreso Internacional de Reproducción Bovina* (pp. 83-88). Bogotá, Colombia: Intervet.
- Barajas, D. P. (2013). *Expresión proteómica del plasma seminal del toro criollo San Martinero y su relación con la fertilidad y desarrollo embrionario in vitro en condiciones del trópico bajo colombiano* (Tesis doctoral). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10201/36258>.
- Barrero, D. (1979). *Geology of the Central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia* (Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas, n.º 4). Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Bavera, G. A. & Peñafort, C. (2003). *Examen reproductivo completo en toros*. [Curso de producción bovina de carne, cap. VI]. Recuperado de http://www.veterinaria.org/asociaciones/vet-uy/articulos/artic_bov/050/0027/bov027.htm
- Benavides, B., Arteaga, A. V. & Montezuma, C. A. (2016). Estudio epidemiológico de paratuberculosis bovina en hatos lecheros del sur de Nariño, Colombia. *Revista De Medicina Veterinaria*, (31), 57-66. doi: <https://doi.org/10.19052/mv.3709>.
- Beringer, J. E. (1974). R Factor transfer in *Rhizobium leguminosarum*. *Journal of General Microbiology*, 84(1), 188-198. doi: 10.1099/00221287-84-1-188.
- Bernal, J. H., Rincón, A., Guevara, J. & Hernández, R. (2014). *Sorgo forrajero Corpoica JYT-18*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Berthrong, S. T., Buckley, D. H. & Drinkwater, L. E. (2013). Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and interact with carbon and nitrogen cycling. *Microbial Ecology*, 66(1), 158-170. doi: 10.1007/s00248-013-0225-0.
- Betancur, C., González, M. & Reza, L. (2006). Seroepidemiología de la rinotraqueítis infecciosa bovina en el municipio de Montería, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 11(2), 830-836. doi: <https://doi.org/10.21897/rmvz.447>.

- Bissett, A., Richardson, A. E., Baker, G., Kirkegaard, J. & Thrall, P. H. (2013). Bacterial community response to tillage and nutrient additions in a long-term wheat cropping experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 281-292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.12.002>.
- Bonza, P. N. P. (2014). *Evaluación del componente forestal acacia Acacia mangium Willd., melina Gmelina arborea Roxb. y yopo Anadenanthera peregrina (L.) Speg. bajo sistemas silvopastoriles en el Centro de Investigación la Libertad, Corpoica*. (Tesis de maestría). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/240/1/203765.pdf>.
- Bosse M, Megens H-J, Madsen O, Paudel Y, Frantz LAF, Schook LB, et al. (2012). Regions of Homozygosity in the Porcine Genome: Consequence of Demography and the Recombination Landscape. *PLoS Genet* 8(11): e1003100. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003100>
- Bouwman, A. F. (1990). *Soils and the Greenhouse Effect*. Nueva York, EE. UU.: John Wiley and Sons.
- Brumme, R. & Beese, F. (1992). Effect of liming and nitrogen fertilization on emissions of CO₂ and N₂O from a temperate forest. *Journal de Geophysical Research*, 97(D12), 12851-12858.
- Bueno, G. A., Pardo, B. O., Pérez, L. O., Cerinza, M. O. J. & Pabón, L. D. M. (2015). *Bancos forrajeros en sistemas agrosilvopastoriles para la alimentación animal en el piedemonte del Meta*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Bueno, G. A., Pérez, O., Cerinza, O. & González, G. (2014). *Integración de árboles en un arreglo de cercas vivas para los sistemas ganaderos del piedemonte llanero*. Villavicencio. Colombia: Corpoica.
- Bueno, G., Mojica, J. E. & Pardo, B. O. (2003). *Alimentación bovina con base en cultivos forrajeros en fincas de pequeños productores del piedemonte del Meta*. [Boletín de investigación n.º 3]. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Bueno, G. G. & Gamba, A. (2002). *Evaluación del levante y ceba de machos cebú y sus cruces en el piedemonte del Meta*. [Informe de avance]. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Burrow H. M. (2012). Importance of adaptation and genotype × environment interactions in tropical beef breeding systems. *Animal*, 6(5), 729-40. doi: 10.1017/S175173111200002X.

- Cardozo, J. A., Velásquez J. G., Rodríguez, G., Prieto, E., Tarazona, G. & Espitia, A. (2002). *Evaluación reproductiva del macho bovino en condiciones tropicales: manual técnico*. Bogotá, Colombia: Corpoica.
- Cassalett, E. R., Julio, V., Parra A., J. L., Baldrich F., R. (2011). Diagnóstico y caracterización molecular de infecciones naturales por *Trypanosoma* spp. en bovinos de la Orinoquía colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 86-91.
- Cassalett, E., Parra, J. L. & Onofre, H. G. (2013). *Diagnóstico, manejo y control integrado de ectoparásitos en bovinos doble propósito del piedemonte llanero*. [Boletín técnico]. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Centro Nacional de Agroforestería. (1997). *Notas de agroforestería*. Recuperado de <https://www.fs.usda.gov/nac/documents/agroforestrynotes/an08s01-e.pdf>.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1996). *Informe Anual de Actividades 1996*. [Convenio especial de cooperación MADR-CIAT]. Cali, Colombia: CIAT.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1984). *Informe Anual 1983. Programa de Pastos Tropicales*. Cali, Colombia: CIAT.
- Cobb, D. (2002). La revolución ganadera. *Notas de Desarrollo ECHO (EDN)*, 76. Recuperado de <http://edn.link/gnjdt7>.
- Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., Martínez, J., Taborda, A. et al. (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79(10), 1421-1443.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) & Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia*. [Mapa de uso de las tierras]. Bogotá, Colombia: Corpoica, IGAC.
- Cotrino, V. (1998). *Anotaciones sobre IBR como problema infeccioso que afecta la reproducción de los bovinos*. Bogotá, Colombia: LMV.
- Crill, P. M., Matikainen, P. J., Nykänen, H. & Silvola, J. (1994). Temperature and N fertilization effects on methane oxidation in a drained peatland soil. *Soil*

- Biology and Biochemistry*, 26(10), 1331-1339. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90214-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90214-3).
- Decaens, T., Lavelle, P., Jiménez, J. J., Escobar, G. & Rippstein, G. (1994). Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 30(4), 157-168.
- Dengo, C. A. & Covey, M. C. (1993). Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for trap styles and regional tectonics. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 77(8), 1315-1337.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). Documento Conpes 3797, Política para el desarrollo integral de la Orinoquia: altillanura, Fase I. Bogotá: DNP.
- Duxbury, J. M., Harper, L. A. & Mosier, A. R. (1993). Contribution of agroecosystems to overall change. En: D. E. Rolston, J. M. Duxbury, L. A. Harper & A. R. Mosier (eds.), *Agricultural ecosystem effects on trace gases and climate change overall* (pp. 1-18). Special Publication n.º 55. Madison, EE. UU.: American Society of Agronomy.
- Espinoza, V. J., Ortega, P. R., Palacios, E. A. & Guillén, T. A. (2010). Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ Córdoba*, 16(1), 2302-2309. doi: <https://doi.org/10.21897/rmvz.288>.
- Fabrizzi, K. P., Rice, C. W., Amado, T. J. C., Fiorin, J., Barbagelata, P. & Melchiori, R. (2009). Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. *Biogeochemistry*, 92(1-2), 129-143.
- Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan) y Fondo Nacional del Ganado (FNG). (2006). *Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019*. 1.ª ed. Bogotá, Colombia: Fedegán.
- Flessa, H. & Beese, F. (1995). Effects of sugarbeet residues on soil redox potential and nitrous oxide emission. *Soil Science Society of America Journal*, 59(4), 1044-1051. doi: [10.2136/sssaj1995.03615995005900040013x](https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900040013x).
- Flórez, H. & Bueno, G. (2008). Estrategias tecnológicas para mejorar la calidad de la carne bovina en la Orinoquia colombiana. En *Primera gira regional técnica ganadera "Ganado y Llano competitividad y tradición"*. [Marzo 12-

- 14]. Villavicencio, Colombia: Fedegan, Comité de Ganaderos del Meta, Giras Técnicas Ganaderas, Gobierno Departamental.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W. ... Van Dorland, R. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 129-234). Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>.
- Gallagher, J. Jr. & Tauvers, P. R. (1988). Tectonosynthem analysis of northwestern South America. *ARCO Oil and Gas Company. Exploration Research Letters*. (11), 4.
- Gallo, O., Bernal, J. H., Baquero, J. E., Botero, R. & Gómez, J. (2013). Efecto de tres métodos de incorporación de cal dolomítica en la altillanura plana colombiana. *Suelos Ecuatoriales*, 43(1), 24-28.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería: una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>.
- Gilardoni, M. V. & Mundo, S. L. (2008). Paratuberculosis bovina. *Infovet*, 13(102), 11-14. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/bovinos_en_general/88-infovet_102.pdf.
- Gossen, G. H. (1971). Chamula genres of verbal behavior. *Journal of American Folklore*, 84(331), 145-167.
- González, C., Escobar, R. & Lachica, M. (1988). Evolución estacional de elementos nutritivos minerales en Pino radiata. *Agrochimica*, 32(1), 63-72.
- Grajales, H., Hernández, A. & Prieto, E. (2006). Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 18(10). Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd18/10/graj18139.htm>.

- Griffiths, I. B., Gallego, M. I. & Villamil, L. C. (1982). *Factores de infertilidad y pérdidas económicas en ganado de leche en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Hutchinson, G. L. & Mosier, A. R. (1981). Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), 311-316. doi: 10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. & Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 45, 27-36.
- 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). (2002). *Atlas de Colombia*. 5.^a ed. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Meta*. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: IGAC.
- Infante, A. (1995). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Bogotá, Colombia: Norma.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use). Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- Jasper, D. A. (2007). Beneficial soil microorganisms of the jarrah forest and their recovery in bauxite mine restoration in Southwestern Australia. *Restoration Ecology*, 15(4), 74-84. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00295.x>.

- Jiménez, J., Decaens, T. & Lavelle, P. (2006). Nutrient spatial variability in biogenic structures of Nasutitermes (Termitinae; Isoptera) in a gallery forest of the Colombian "Llanos". *Soil Biology and Biochemistry* 38(5), 1132-1138. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.09.026.
- Lagerlöf, J., Adolfsson, L., Börjesson, G., Ehlers, K., Vinyoles, G. P. & Sundh, I. (2014). Land-use intensification and agroforestry in the Kenyan highland: Impacts on soil microbial community composition and functional capacity. *Applied Soil Ecology*, 82, 93-99. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.015>.
- Lal, R. & Kimble, J. M. (1997). Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49(1-3), 243-253. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1009794514742>.
- Landsberg, J. J. & Gower, S. T. (1997). *Applications of Physiological Ecology to Forest Management*. Nueva York, EE. UU.: Academic Press.
- Lértora, W. J. (2003). Diarrea viral bovina: actualización. *Revista Veterinaria*, 14(1). Recuperado de <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/view/684>.
- Leyva, C. J. C., Félix, V. P., Osuna, A. J. D., Ávalos, C. R., Correa, C. A., Luna, N. P., ... Hernández, H. I. R. (2009). Desempeño productivo del ganado lechero controlando la ventilación y aspersión de agua bajo las condiciones semi-húmedas de verano del sur de Sonora. En *XIX Reunión Internacional sobre producción de carne y leche en climas cálidos* (pp. 179-184). Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México, 8 y 9 de octubre. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/72-VENTILACION.pdf.
- McDowell, L. R. Conrad, T. H. Ellis, G. L. & Loosli, J. K. (1984). *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Gainesville, EE. UU.: Departamento de la Ciencia Animal, Centro de Agricultura Tropical, Universidad de Florida.
- Malagón C., D. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos. Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(104), 319-341.
- Marichal, R., Grimaldi, M., Feijoo, A., Oszwald, J., Praxedeses, C., Ruiz Cobo, D. H., ... Lavelle, P. (2014). Soil macroinvertebrate communities and

- ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology*, 83, 177-185.
- Martínez, A., Galina, C. S., Basurto, H., Lamothe, C. & Aluja, A. (1988). Evaluación de la actividad reproductiva en diferentes sistemas de producción lechera en el municipio de Tlapacoya, Veracruz, México. *Revista Veterinaria México*, 19, 295-301.
- Martínez, G. (2006). Calidad de canales en novillos Cebú y sus cruces con BON y Charoláis. *Revista ACOVEZ*, 36(102), 8-13.
- Masters, G. J. (2004). Belowground herbivores and ecosystem processes. En W. W. Weisser & E. Siemann (eds.), *Insects and Ecosystem Function*. (pp. 93-112). Nueva York, EE. UU.: Springer.
- Matukumalli, L. K., Lawley, C. T., Schnabel, R. D., Taylor, J. F., Allan, M. F., Heaton, M. P., Van Tassell, C. P. (2009). Development and characterization of a high density SNP genotyping assay for cattle. *Plos One*, 4(4): e5350. doi: 10.1371/journal.pone.0005350.
- Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Remediaciones. Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 88-93.
- Medrano, J., Velásquez, J. G., Jiménez, G., Velásquez, H. & Pérez, O. (2001). Fertilidad y desarrollo cría de vacas cebú con estrategia alimenticia en periparto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14, 88. Recuperado de <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp/article/download/323782/20780969>.
- Mejía, L. (1996). Génesis y características de los Oxisoles y suelos óxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. *Suelos Ecuatoriales*, 26(1), 7-34.
- Miranda, J. J. (2012). *Gestión de proyectos: evaluación financiera, económica, social, ambiental*. 7.ª ed. Bogotá: MM editores.
- Montenegro, J. & Abarca, S. (2002). Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones. *Agronomía Costarricense*, 26(1), 17-24.
- Muzilli O (1994) Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In 'Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do

- Solo'. (Ed Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná) pp. 158–177. (IAPAR: Curitiba, Brazil)
- Muzilli O (1994) Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In 'Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo'. (Ed Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná) pp. 158–177. (IAPAR: Curitiba, Brazil)
- Muzilli O (1994) Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In 'Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo'. (Ed Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná) pp. 158–177. (IAPAR: Curitiba, Brazil)
- Muzilli O (1994) Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In 'Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo'. (Ed Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná) pp. 158–177. (IAPAR: Curitiba, Brazil)
- Muzilli O (1994) Plantio direto como alternativa no manejo e conservação do solo. In 'Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo'. (Ed Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná) pp. 158–177. (IAPAR: Curitiba, Brazil)
- Muzilli O. (1994). Plantio directo como alternativa no manejo e conservação do solo. En *Manual tecnico do Subprogama de manejo e conservação do solo* (pp. 158-177). Curitiba, Brasil: Secretaria da Agricultura e abastecimento do Paraná (IAPAR).
- Narro, L., Pandey, S., León, A., Pérez, J. C. & Salazar, F. (1999). Investigación en variedades de maíz para suelos ácidos. En: E. P. Guimaraes, J. I. Sanz, I. M. Rao, M. C. Amézquita & E. Amézquita (eds.), *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina* (pp. 129-145). Cali, Colombia: CIAT; Brasilia, Brasil: Embrapa.
- National Research Council (NRC). (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition, Update 2000. Washington D. C., EE. UU.: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/9791>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *World Livestock 2011. Livestock in food security*. Roma, Italia: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i2373e/i2373e.pdf>.

- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2015). Diarrea viral bovina. En: *Manual de Animales Terrestres 2017*. Recuperado de <http://www.oie.int/es/normas/manual-terrestre/acceso-en-linea/>.
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2012). Leucosis bovina enzoótica. En: *Manual de Animales Terrestres 2017*. Recuperado de <http://www.oie.int/es/normas/manual-terrestre/acceso-en-linea/>.
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2009). *Código sanitario para los animales terrestres*. (Vol. 1. Consideraciones generales). 18.^a ed. París, Francia: OIM.
<https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.htm>.
- Oksanen, J., Guillaume-Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Peter-R, M., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., & Wagner, H. (2016). *Vegan: Community Ecology Package*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.htm>.
- Pachas, A. N. (2011). Sistemas silvopastoriles, socios estratégicos de la lechería misionera. *Producir XXI*, 20(242), 64-66. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/07-lechero_silvopastoril.pdf.
- Padilla, F. J., Castillo, R., Peña, H. J. & Belchez, A. R. (1982). Reproducción y producción de ganado comercial en la zona centro del estado de Veracruz. En Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, *Memorias VIII Congreso Nacional de Buiatría* (p. 48). Veracruz, México.
- Pardo, B. O. & Pérez, L. O. (2010). Alternativas forrajeras para los Llanos Orientales de Colombia. En A. Rincón & C. Jaramillo (eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 27-73). (Manual técnico nº 15). Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Parkin, T. B. & Venterea, R. T. (2010). Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. En R. F. Follet (ed.), *Sampling Protocols* (pp. 3-1 a 3-39). Washington, EE. UU.: USDA-ARS. Recuperado de <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/np212/chapter%203.%20grace%20net%20Trace%20Gas%20Sampling%20protocols.pdf>.

- Pedersen, A. R. (2015). *HMR: Flux Estimation with Static Chamber Data*. Recuperado de <http://cran.r-project.org/package=HMR>.
- Pedersen, A. R., Petersen, S. O. & Schelde, K. (2010). A comprehensive approach to soil-atmosphere trace-gas flux estimation with static chambers. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 888-902. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01291.x.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T, Kruger, D., Pipatti, R., ... Wagner, F. (2003). *Good Practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Kanagawa, Japón: Institute for Global Environmental Strategies. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglucf.html>.
- Pérez B., R. A. & Cuesta M., P. A. (1992). Especies forrajeras para el piedemonte llanero. Manejo y producción animal. En *Pastos y forrajes para Colombia. Suplemento ganadero* (pp. 85-94). Bogotá, Colombia: ICA, Banco Ganadero.
- Pérez B., R. A., Rincón, A., Bueno, G., Vargas, O. & Cuesta, P. (2000). Alternativas de establecimiento de praderas. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 1(2), 56-61. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/21955>.
- Pérez L., O., Bueno G., G., Baquero, J. E., Onofre R., H. G., Cassalet B., E., Molina, A. M., ... Flórez, D. H. (2017). *Informe final de la meta: una recomendación del modelo cría bovina de eficiencia en el uso de recursos económicos, sociales y ambientales*. Villavicencio, Colombia: AGROSAVIA.
- Pérez L., O. & Bueno G., G. (2010). Cultivos forrajeros para alimentación de bovinos. En A. Rincón & C. Jaramillo (eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 231-251). Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Pérez L., O., Pérez B., R. A., Rincón, A., Bueno, G. & Mojica R., E. (2003). *Cultivos para alimentación animal en sistemas de producción bovina de la Orinoquia colombiana*. (Boletín técnico n.º 44). Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Pérez L., O. (2003). *Establecimiento y manejo de especies forrajeras para producción bovina en el trópico bajo*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/5596476/establecimiento-y-manejo-de-especies-forrajeras>.

- Pinzón, O. P., Hernández, A. M. & Malagón, L. A. (2012). Diversity of termites (Isoptera: Termitidae, Rhinotermitidae) in rubber-tree plantations in Puerto López (Meta, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 291-298.
- Preston-Mafham, J., Lynne, B. & Randerson, P. F. (2002). Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilisation protocols - a critique. *FEMS Microbiology Ecology*, 42(1), 1-14. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2002.tb00990.x>.
- Post, W. M. & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6, 317-327. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>.
- Vargas D.S., Vera A. V.J., Jaime C. J. (2009). Presencia del virus de la diarrea viral bovina (BVDV) y evidencia de animales persistentemente infectados en un hato de la sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(3), 426p.
- Purcell, S., Neale, B., Todd-Brown, K., Thomas, L., Ferreira, M. A., Bender, D., ... Sham, P. (2007). PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American Journal of Human Genetics*, 81(3), 559-575. doi: 10.1086/519795.
- Ramírez, V. D., Zheng, J. & Siddique, K. M. (1996). Membrane receptors for estrogen, progesterone, and testosterone in the rat brain: fantasy or reality. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 16(2), 175-198.
- Rai, S. N. & Proctor, J. (1986). Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India. II. Litterfall. *Journal of Ecology*, 74(2), 455-463.
- R Core Team. (2015). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Recuperado de <http://www.r-project.org/>.
- Reyes C., L. J., Parra A., J. L. & Flórez, D. H. (2016). Concentración de inmunoglobulina G en calostro bovino en cruces *Bos taurus* x *Bos indicus* en los primeros tres días posparto. *Orinoquia*, 20(1), 39-45.
- Rincón, A. (2013a). *Sistemas integrados agrícola-ganadero-forestal, para el desarrollo de la Orinoquia colombiana*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Rincón, A., Bueno, G., Álvarez de L., M., Pardo, O., Pérez, O. & Caicedo, S. (2010). *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.

- Rincón, A. & Ligarreto, G. A. (2008). Productividad de la asociación maíz - pastos en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 73-80.
- Rincón, A. (1995). Producción de semilla de *Brachiaria dictyoneura* y *Brachiaria brizantha* en las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales (Colombia)*, 17(3), 41-44.
- Rippstein, G., Serna, R. A. & Escobar, G. (2001). Dinámica de la vegetación sometida a quema, pastoreo y otras formas de manejo en la sabana nativa. En G. Rippstein, G. Escobar & F. Motta (eds.). *Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia* (pp. 138-185). Cali, Colombia: CIAT. Recuperado de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/55159/agroecologia_y_biodiversidad.pdf?sequence=1.
- Rivera, M., Amézquita, E., Bernal, J. H. & Rao, I. (2013a). Las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia: caracterización biofísica e importancia para la producción agropecuaria. En E. Amézquita, I. M. Rao, M. Rivera, I. Corrales & J. H. Bernal, *Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia* (pp. 3-13). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54575>.
- Rivera, M., Amézquita, E., Rao, I. M., Corrales, I. I. & Chávez, L. F. (2013b). Establecimiento de sistemas agropastoriles y su efecto en el rendimiento de cultivos en suelos ácidos de sabanas. En E. Amézquita, I. M. Rao, M. Rivera, I. Corrales & J. H. Bernal, *Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia* (pp. 119-146). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54575>.
- Rivera, H., Benito, A., Ramos, O. & Manchego, A. (2004). Prevalencia de enfermedades de impacto reproductivo en bovinos de la Estación

- Experimental de Trópico del Centro de Investigaciones Ivita. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 15(2), 120-126. <https://doi.org/10.15381/rivep.v15i2.1580>.
- Rodríguez, G., Bautista, R., Días-Ávila, F., Rodríguez, G. & Espinosa, C. (2015). *Diagnóstico socioeconómico y tecnológico de sistemas productivos agropecuarios de la altillanura colombiana: línea de base año 2011-2012*. Bogotá, Colombia: Corpoica.
- Rodríguez, N. S.; Lavelle, P.; Pulido, S. X.; Gutiérrez, A.; Bernal, J.; Argüello, O., ... Rodríguez, E. (2013). *Construcción de indicadores de ecoeficiencia para la altillanura plana en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, departamento del Meta*. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Rodríguez, A. M., Rubiano S. Y., Silva, J. L. & Rodrigues, R. C. (2010). La geología, morfología, pedología y uso de la tierra en las municipalidades de Puerto López (Colombia) y Uberlandia (Brasil). *Revista Sociedade & Natureza*, 22(2), 329- 345.
- Rondón, M. (2000). *Land use and balances of greenhouse gases in Colombian Tropical Savannas*. (Tesis doctoral). Cornell University, Ithaca, EE. UU.
- Rousseau, L., Fonte, S., Téllez, O., Hock, R. & Lavelle, P. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27, 71-82. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.11.020.
- Sánchez, J. (1989). *Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción de cultivos en callejones*. (Tesis de Maestría) Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Sánchez, P. A. (1976). *Properties and management of soils in the tropics*. Nueva York, EE. UU.: John Wiley and Sons.
- Sánchez, P. A. & Salinas, J. (1983). *Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical*. Bogotá, Colombia: SCCS.
- Sánchez, P. A. & Salinas, J. G. (1981). Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical América. *Advances in Agronomy*, 34, 279-406.
- Santa Regina, I. & Tarazona, T. (2001). Nutrient cycling in a natural beech forest and adjacent planted pine in northern Spain. *Forestry*, 74(1), 11-28. doi: <https://doi.org/10.1093/forestry/74.1.11>.

- Soil Survey Staff. (1994). *Keys to soil taxonomy*. 6th ed. (SMSS technical monograph n.º 19). Washington, EE. UU.: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Souza, W., Barbosa, O. R., Marques, J. A., Gasparino, E., Cecato, U. & Barbero, L. M. (2010). Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(3), 677-684.
- Thatcher, W. W., Santos, J. E., Silvestre, F. T., Kim, I. H. & Staples, C. R. (2010). Perspective on physiological endocrine and nutritional factors influencing fertility in post-partum dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 45(3), 2-14.
- Sitaula, B. K., Beakken, L. & Abrahamsen, G. (1995). CH₄ uptake by temperate forest soil: effect of N input and soil acidification. *Soil Biology & Biochemistry*, 27(7), 871-880. doi: 10.1016/0038-0717(95)00017-9.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 108(50), 20260- 20264. doi: 10.1073/pnas.1116437108.
- Tiwari, A., Vanleeuwen, J., McKenna, S., Keefe, G. & Barkema, H. (2006). Johne's Disease in Canada Part I: Clinical symptoms, pathophysiology, diagnosis, and prevalence in dairy herds. *Canadian Veterinary Journal*, 47(9), 874-882.
- Torres, A. L., Navas, A. A., Pandey, S. & León, L. A. (1994). *Sikuani V-110, primera variedad de maíz en Colombia tolerante a suelos ácidos*. (Plegable de divulgación n.º 274). Bogotá, Colombia: Corpoica, ICA, CIMMYT.
- Toussaint, J. F. (1993). *Evolución geológica de Colombia: Precámbrico-Paleozoico*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Tribulo, H., Bó, G. A., Gatti, G., Tegli, J. C., Cutaia, L., Moreno, D., ... Tribulo, R. (2000). Pregnancy rates in embryo recipients treated with estradiol benzoate and CIDR-B vaginal devices to eliminate the need for estrus detection. *Animal reproduction: research and practice II: 14th International Congress on Animal Reproduction*. Estocolmo, Suecia.
- Useche, J. M. (2010). *Prevalencia de hemoparásitos en bovinos de seis veredas del municipio de Purificación, Tolima*. (Tesis de grado). Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/5784>.

- Valboa, G., Lagomarsino, A., Brandi, G., Agnelli, A. E. Simoncini, S., Papini, R., Vignozzi, N. & Pellegrini, S. (2015). Long-term variations in soil organic matter under different tillage intensities. *Soil and Tillage Research*, 154, 126-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.017>.
- Vale Filho, V. R, Reis, S. R., Pereira, J. C. & Castro, V. M. (1989). Efeito do meio ambiente na maturação sexual de touros Nelore com 24 meses de idade. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 1, 202-209.
- Valencia, R. A. & Leal, D. (2004). Genetic alternatives for production systems in the acid soil savannas of the Colombian Orinoquia. En P. Guimarães, J. I. Sanz, I. M. Rao, M. C. Amézquita & E. Amézquita (eds.), *Agropastoral systems for the tropical savannas of Latin America* (pp. 128-139). Cali, Colombia: CIAT; Brasília, Brasil: Embrapa.
- Valencia, R. A., Salamanca, C. R., Navas, G. E., Baquero, J. E., Rincón, A. & Delgado, H. (1999). Evaluación de sistemas agropastoriles en la altillanura de la Orinoquia colombiana. En En P. Guimarães, J. I. Sanz, I. M. Rao, M. C. Amézquita & E. Amézquita (eds.), *Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina* (284-299). Cali, Colombia: CIAT; Brasília, Brasil: Embrapa.
- Valencia, R. A. & Leal, M. D. (1996). Alternativas genéticas para los sistemas de producción en sabanas acidas de la Orinoquia colombiana. *Suelos Ecuatoriales*, 26(1), 35-43.
- Valencia, R. A. (1994). Mejoramiento genético de soya para suelos ácidos. *Revista ICA* 29(1), 1-10.
- Velásquez P., J. G, Barajas P., D. P. & Cardozo C., J. A. (2015). Efecto de la estación lluviosa o seca sobre la calidad espermática, fecundación y desarrollo embrionario in vitro del bovino colombiano criollo sanmartinero. *Memorias del XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)*. Puerto Varas, Chile, 9-13 noviembre. Recuperado de <http://www.sochipa.cl/uploads/media/ALPA2015.pdf>.
- Velásquez, E., Lavelle, P. & Andrade, M. (2007). GISQ, an Multifunctional Indicator of Soil Quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(12), 3066-3080.

- Velásquez, J. G., Jiménez, G., Medrano, J., Velásquez, H. & Pérez, O. (2001). Actividad reproductiva de novillas cebú con estrategias alimenticias en verano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14 (suplemento), 88.
- Velásquez, J. G, Cardozo, J., Velásquez, J. H. & Onofre, G. (2000). Efecto de la sombra en la calidad espermática del toro cebú en condiciones del trópico bajo. *Seminario regional Agrociencia y Tecnología Siglo XXI, Orinoquia colombiana*. [Memorias]. Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Villar, C. (2006). *Importancia del azufre en la producción de carne vacuna y en el control de garrapatas en ganado en pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia*. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/importancia-azufre-produccion-carne-t26600.htm>.
- Villar, C., Sánchez, V. H. & Parra, J. L. (2000). *Estrategias para el control de parásitos en bovinos del departamento del Guaviare*. (Boletín técnico n.º 22). Villavicencio, Colombia: Corpoica, Pronatta. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3618/1/118.pdf>.
- Villar, C. & Martínez, G. (1999). Niveles de infestación por la garrapata *Boophilus microplus* en la progenie de dos toros suplementados con flor de azufre. *Revista Acovez*. Vol. 24 No. 1. Edición 82-83. Marzo de 1.999.
- Villar, C., Gómez, J. & Pérez, R. (1992). Efecto del consumo de diferentes niveles de flor de azufre sobre los niveles de infestación por la garrapata *Boophilus microplus* y la ganancia de peso en animales criollos. *XVIII Congreso Nacional de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. [Memorias]. Ibagué, Colombia.
- Vitousek, P. M. & Sanford, R. L. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 137-167. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.001033>.
- Xue K., Wu, L. Deng, Y., He, Z., Van Nostrand, J., Robertson, P. G. ... Zhou, J. (2013). Functional gene differences in soil microbial communities from conventional, low-input, and organic farmlands. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(4), 1284-1292. doi: 10.1128/AEM.03393-12.

www.siembra.gov.co



El campo
es de todos

Minagricultura