



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

AGROSAVIA
EDITORIAL



Metodologías para la evaluación de materiales forrajeros



Álvaro Rincón Castillo
Otoniel Pérez López
Óscar Pardo Barbosa
Raúl Alejandro Díaz Giraldo
Óscar Javier Cerinza Murcia
Mayra Alejandra Villalobos Bermúdez
Nelson Pérez Almario
Óscar Eduardo Orjuela Franco
Christian Thomas Carvajal Bazurto
Dagoberto Criollo Cruz



Metodologías para la evaluación de materiales forrajeros

| Colección Alianzas AGROSAVIA |

Autores

Álvaro Rincón Castillo

Otoniel Pérez López

Óscar Pardo Barbosa

Raúl Alejandro Díaz Giraldo

Óscar Javier Cerinza Murcia

Mayra Alejandra Villalobos Bermúdez

Nelson Pérez Almario

Óscar Eduardo Orjuela Franco

Christian Thomas Carvajal Bazurto

Dagoberto Criollo Cruz





Metodologías para la evaluación de materiales forrajeros. / Álvaro Rincón Castillo
[y otros nueve] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

132 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)
Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos.
ISBN e-Book: 978-958-740-575-0

1. Ganado bovino 2. Forrajes 3. Establecimiento de pastos 4. Tratamiento de semillas
5. Pastoreo 6. Siembra.

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

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 17, vía Puerto López, Meta. Código postal 502008, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los proyectos “Materiales forrajeros y estrategias de utilización y manejo, para mejorar la producción de carne y leche en los sistemas ganaderos de la Orinoquia Colombiana”, ejecutado en el marco del convenio de cooperación técnica y científica celebrado entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA (antes Corpoica) y la Alianza de Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 20110072, durante los años 2011 a 2016, y el proyecto “Evaluación multilocal de nuevo germoplasma forrajero”, ejecutado en el marco del convenio de cooperación técnica y científica celebrado entre AGROSAVIA y la Alianza de Bioversity International y el CIAT dentro el macroproyecto “Incremento de la oferta forrajera a través de la liberación de nuevos materiales y el desarrollo de estrategias integrales de manejo para aumentar la competitividad de la ganadería en Colombia”, ejecutado entre 2017 y 2020; “Aunar esfuerzos económicos, técnicos, logísticos y humanos para el fortalecimiento de los sistemas de producción bovina a través de la implementación de estrategias de vinculación y transferencia de tecnología en la producción y uso de ensilaje y de suplementos alimenticios en diversas regiones ganaderas de Colombia” que parte del Convenio 2021-0487 MADR-AGROSAVIA.

Colección: Alianzas AGROSAVIA

Fecha de recepción: 12 de diciembre de 2021

Fecha de evaluación: 29 de diciembre de 2021

Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2022

Publicado octubre de 2022



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

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieve

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Rincón Castillo, Á., Pérez López, O., Pardo Barbosa, Ó., Díaz Giraldo, R. A., Cerinza Murcia, Ó. J., Villalobos Bermúdez, M. A., Pérez Almario, N., Orjuela Franco, Ó. E., Carvajal Bazurto, C. T., & Criollo Cruz, D. (2022). *Metodologías para la evaluación de materiales forrajeros*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405750>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la 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, expresan 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 vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co/>

Contenido

9 Los autores

15 Agradecimientos

17 Introducción

20 Referencias

23 Metodologías para la selección de materiales forrajeros

24 Metodología 1: evaluación y selección de germoplasma forrajero en pequeñas parcelas

39 Metodología 2: multiplicación de semilla de materiales seleccionados

50 Metodología 3: pruebas con los materiales seleccionados para evaluar el efecto del bovino sobre la planta

55 Metodología 4: pruebas con materiales seleccionados para evaluar su efecto en la producción de carne o leche en bovinos

65 Consideraciones finales

65 Referencias

69 Metodología para la evaluación de disponibilidad de forraje y composición botánica

70 Alcance

70 Definiciones

71 Materiales y equipos

71 Metodología

81 Referencias

83 Crecimiento y desarrollo de los pastos

84 Conceptualización

87 Curva de crecimiento de los pastos

90 Toma de datos para el análisis de crecimiento

93 Altura de corte o pastoreo

93 Referencias

97 Metodologías para la evaluación de biomasa forrajera de especies leñosas en zonas cálidas

- 99 Recolección y tratamiento de semillas
- 101 Etapa de vivero
- 102 Establecimiento de parcelas para la evaluación agronómica de materiales forrajeros
- 104 Evaluación agronómica de materiales forrajeros
- 108 Pruebas de palatabilidad relativa o preferencia
- 114 Referencias

117 Anexos

- 118 Anexo 1. Registro de datos de biomasa para árboles y arbustos
- 119 Anexo 2. Flujograma para medición de rasgos funcionales: densidad de la madera (DM)
- 121 Anexo 3. Flujograma para medición de rasgos funcionales: área foliar específica (AFE)
- 124 Anexo 4. Formato para registro de pruebas de preferencia

Figuras

Figura 1	Etapas para la selección de materiales forrajeros	19
Figura 2	Aplicación de los fertilizantes de establecimiento, antes de la siembra	27
Figura 3	Siembra con semillas	28
Figura 4	Siembra con material vegetativo	29
Figura 5	Detalle de una parcela con un área de 7 m ² (3,5 m × 2m) y 40 plantas por parcela de gramíneas o de leguminosas herbáceas para pastoreo. El área sombreada en amarillo es el área de evaluación.	31
Figura 6	Parcela de una leguminosa herbácea a los 60 días después de la siembra	31
Figura 7	Parcelas y distancias de siembra para el establecimiento de experimentos de leguminosas arbustivas (una repetición)	32
Figura 8	Parcelas de leguminosas arbustivas a los 60 días de sembradas	32
Figura 9	Ejemplo de distribución de un experimento con cuatro repeticiones teniendo en cuenta los gradientes	33
Figura 10	Corte de uniformización con guadaña	35
Figura 11	Cosecha de semilla de gramíneas forrajeras	42
Figura 12	Campo de multiplicación de semilla de <i>Centrosema macrocarpum</i>	49
Figura 13	Pastoreo preliminar en las parcelas de evaluación agronómica para determinar preferencia de consumo de los animales	50
Figura 14	Distribución de asociaciones de gramíneas + leguminosas en parcelas divididas con tres repeticiones para evaluar efecto del animal sobre los forrajes	53
Figura 15	Gramíneas forrajeras establecidas para la evaluación con animales	56
Figura 16	Distribución de tratamientos en BCA con tres repeticiones para evaluar efecto de los forrajes sobre la productividad animal	57
Figura 17	División de potreros para evaluación de materiales forrajeros bajo pastoreo	59
Figura 18	Distribución de potreros para evaluación de la suplementación con ensilaje de sorgo	61
Figura 19	Suministro de ensilaje de sorgo forrajero a los animales en época seca	63
Figura 20	Ejemplos de transectos para la evaluación de praderas	72
Figura 21	Esquema o flujograma para la evaluación agronómica y productiva de especies forrajeras de pastoreo	80
Figura 22	Curva de crecimiento de plantas en sus tres fases (W: peso seco)	87
Figura 23	Producción de forraje y contenido de proteína cruda en <i>U. decumbens</i> bajo tres frecuencias de defoliación, en Piedemonte Llanero.	89

Figura 24	Multiplicación de material vegetal a nivel de vivero	101
Figura 25	Diseño de parcelas experimentales y distancias de siembra para el establecimiento de especies leñosas forrajeras	103
Figura 26	Medición del diámetro basal	105
Figura 27	Distribución de altura y frecuencias de corte o cosecha para la evaluación en una repetición (altura en cm y días de corte)	106
Figura 28	Modelos de diámetro de ramas para practicar corte (0,5 a 0,8 mm)	106
Figura 29	Cosecha y evaluación de la producción de biomasa en árboles y arbustos	107
Figura 30	Desarrollo de pruebas de palatabilidad con método de cafetería	113

Tablas

Tabla 1	Fertilización para el establecimiento de materiales forrajeros en condiciones de suelos ácidos de la altillanura colombiana	26
Tabla 2	Aspectos para tener en cuenta en el establecimiento de experimentos de evaluación agronómica de materiales forrajeros en pequeñas parcelas	30
Tabla 3	Evaluaciones de gramíneas y leguminosas de pastoreo durante las fases de establecimiento y producción	35
Tabla 4	Evaluaciones de gramíneas y leguminosas para corte durante las fases de establecimiento y de producción	37
Tabla 5	Altura para el corte de uniformización y evaluación de producción de forraje	37
Tabla 6	Nivel de daño de plagas y enfermedades en especies forrajeras	38
Tabla 7	Evaluaciones en el periodo reproductivo de gramíneas forrajeras	48
Tabla 8	Densidad de siembra de acuerdo con germinación y cantidad de semilla en 1 kg de algunas gramíneas y leguminosas	52
Tabla 9	Evaluaciones para determinar efecto del bovino sobre los materiales forrajeros	54
Tabla 10	Evaluaciones para determinar efecto de materiales forrajeros en la producción de carne o leche bovina	60

Tabla 11	Cantidad de ensilaje necesario para suplementar diez novillos durante la época seca	63
Tabla 12	Evaluaciones para determinar el efecto del ensilaje en la ganancia de peso de bovinos	64
Tabla 13	Número mínimo de sitios para hacer las evaluaciones de praderas según el área	73
Tabla 14	Altura de corte o pastoreo de algunas gramíneas forrajeras	73
Tabla 15	Formato de evaluación de praderas	77
Tabla 16	Ejemplo de formato de evaluación de praderas	78
Tabla 17	Ejemplo de resultados de evaluación de praderas	79
Tabla 18	Índices fisiológicos de crecimiento y sus fórmulas	87
Tabla 19	Periodos de descanso y alturas de pastoreo recomendados para algunos pastos	93
Tabla 20	Tratamiento pregerminativo de las semillas de especies leñosas forrajeras	100
Tabla 21	Aspectos para tener en cuenta en el establecimiento de experimentos de evaluación agronómica de materiales forrajeros en pequeñas parcelas	103
Tabla 22	Parámetros que se evalúan en la fase de vivero para especies arbóreas y arbustivas	104
Tabla 23	Parámetros que se evalúan en la fase de establecimiento de las especies arbóreas y arbustivas	104
Tabla 24	Parámetros para evaluar en fase de producción de arbóreas/arbustivas	107
Tabla 25	Combinaciones por animal para prueba de palatabilidad	110
Tabla 26	Combinaciones aleatorizadas de las especies para la prueba de palatabilidad	111





Los autores

Álvaro Rincón Castillo

Correo: arincon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2190-1858>

Ingeniero agrónomo doctor en Ciencias Agropecuarias con énfasis en fisiología de cultivos de la Universidad Nacional de Colombia. Su desempeño como profesional se ha centrado en la investigación de forrajes tropicales en la Orinoquia colombiana mediante la evaluación y selección de nuevos materiales forrajeros y la participación en la entrega a los productores de nuevas gramíneas y leguminosas para la alimentación de bovinos. Ha desarrollado ofertas tecnológicas en la recuperación y manejo de praderas; sistemas integrados de cultivos, forrajes y forestales, y estrategias de manejo de pastoreo en el piedemonte llanero para sistemas intensivos de producción de carne. Actualmente se desempeña como investigador en la Red de Ganadería en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Otoniel Pérez López

Correo: operez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8236-9845>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de los Llanos, con maestría en Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia. Con experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para sistemas de ganadería, especialmente de la Orinoquia colombiana, relacionados con la evaluación y desarrollo de pastos y forrajes tropicales, la generación de recomendaciones tecnológicas de manejo de pastos y cultivos forrajeros, y el diseño, implementación y manejo de sistemas integrados (agrosilvopastoriles) en suelos ácidos. Actualmente es investigador máster asociado adscrito a la Red de Ganadería y Especies Menores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Libertad en Villavicencio, Meta.



Óscar Pardo Barbosa

Correo: opardo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1733-4894>

Zootecnista con maestría en Producción y Salud Animal con énfasis en nutrición de rumiantes, y especialista en Pastos Tropicales de Suelos Ácidos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (1989), con conocimientos en establecimiento, manejo y uso de pastos tropicales, y producción de semilla de especies forrajeras. Responsable técnico del Laboratorio de Nutrición del Centro de Investigación La libertad, encargado del manejo de protocolos de análisis de calidad de forrajes, de las metodologías para la determinación de consumo voluntario en bovinos y del ajuste de suplementos para bovinos. Con conocimientos en estadística y manejo de paquetes estadísticos, principalmente SAS. Actualmente se desempeña como investigador máster asociado del Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Raúl Alejandro Díaz Giraldo

Correo: rdiazg@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7438-0526>

Zootecnista egresado de la Universidad de Antioquia, candidato a magíster en Salud y Nutrición Animal de la Universidad Nacional (sede Bogotá), con experiencia en el área de nutrición animal, pastos y forrajes, y en la evaluación de estos a través de sensores remotos con imágenes multiespectrales. Experticia en la elaboración de cartografía de predios agropecuarios a partir de tecnología de drones e imágenes provenientes de plataformas satelitales, análisis espacial por medio de los *softwares* R y ArcMap. Participó en las evaluaciones para la liberación del *Arachis pinto* CIAT 22160 cv. Centauro, en el proyecto “Estrategias ecoeficientes para optimizar el establecimiento y manejo de pastos y forrajes en sistemas de producción”. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA,



y participa en el proyecto “Incremento de la oferta forrajera a través de la liberación de nuevos materiales y en el desarrollo de estrategias integrales de manejo para aumentar la competitividad de la ganadería en Colombia”.

Óscar Javier Cerinza Murcia

Correo: ocerinza@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8040-8772>

Médico veterinario zootecnista de la Universidad de los Llanos. Ha trabajado en el desarrollo y vinculación de productos tecnológicos en sistemas de producción en aspectos como establecimiento, recuperación y manejo de pasturas; multiplicación de semillas de especies forrajeras gramíneas y leguminosas; establecimiento y conservación de forrajes para alimentación de bovino-ovinos, y manejo de sistemas agrosilvopastoriles en el piedemonte y la altillanura colombiana. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la sede Taluma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Mayra Alejandra Villalobos Bermúdez

Correo: mvillalobos@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3130-1087>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de los Llanos, ha participado en el desarrollo de investigaciones como “Sistemas de producción de ganadería (forrajes) en la altillanura colombiana”, “Evaluación multilocacional de nuevos materiales forrajeros”, “Sistemas agrosilvopastoriles, desarrollo de estrategias en sistemas de producción de cultivos transitorios en la altillanura plana (cultivos de soya y arroz)”, “Monitoreo de la calidad de las aguas de producción petrolera suministradas por las plantas pilotos de tratamiento para determinar su potencialidad de uso como aguas para riego en cultivos permanentes” y “Caracterización de siete materiales tenera y nueve híbridos con adaptación específica determinada en la altillanura



plana”. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación (PAI) en el Centro de Investigación Carimagua de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Nelson Pérez Almario

Correo: npere@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4339-616X>

Zootecnista de profesión, especialista en Estadística de la Universidad Nacional, magíster en Agroforestería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie) y PhD en Ciencias Agrarias de la Universidad del Tolima. Tiene amplia experiencia en evaluación de forrajes de especies gramíneas y arbóreas de clima cálido basada en metodologías agroforestales, el uso de rasgos funcionales y el conocimiento local. Es experto en el diseño y manejo sostenible de sistemas silvopastoriles que pueden ser desarrollados con especies nativas e introducidas. Actualmente lidera varios proyectos de investigación en forrajes y ocupa el cargo de investigador del Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Óscar Eduardo Orjuela Franco

Correo: oorjuela@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5693-7682>

Profesional en Biología de la Universidad del Quindío y máster en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Manizales. Cuenta con experiencia en proyectos de investigación sobre la diversidad forrajera tropical con especies gramíneas y arbóreas, mediante el uso de técnicas y metodologías complementarias entre los rasgos funcionales y el conocimiento local. Actualmente desempeña el cargo de profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.



Christian Thomas Carvajal Bazurto

Correo: ccarvajal@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8668-5562>

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), con amplia experiencia en investigación y transferencia de tecnologías agropecuarias enfocadas en nutrición y alimentación de rumiantes, manejo de pasturas y sistemas silvopastoriles (SSP). Está vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA desde el año 2011, donde apoya actividades de investigación en diferentes centros de investigación de la Corporación. Es coautor de publicaciones de transferencia de tecnología como *Establecimiento de sistemas silvopastoriles para la región Caribe*, *Modelos silvopastoriles para el sur del Atlántico* y *Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia*. Actualmente ocupa el cargo de profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA.

Dagoberto Criollo Cruz

Correo: dcriollo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5360-6204>

Zootecnista de profesión, especialista en Desarrollo Rural y Formulación y Evaluación de Proyectos. Cuenta con amplia experiencia en desarrollo de proyectos de investigación sobre especies arbóreas y arbustivas para sistemas silvopastoriles. Actualmente trabaja en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.



Agradecimientos

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, por el apoyo técnico y administrativo.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), por la financiación de los proyectos.

A la Alianza de Bioversity International y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), por sus aportes en metodologías.

A los asistentes de investigación Carlos Toro, Luis Alberto Ciprián y Armando Cumaco, por su apoyo en la validación y ajuste de metodologías en campo.





Introducción

Los pastos en Colombia ocupan un área de 37,4 millones de hectáreas. Constituyen el cultivo más grande del país, puesto que ocupan 79,3% de las 47,2 millones de hectáreas dedicadas a explotación agropecuaria. En ellos pastorean 23 millones de cabezas de bovinos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2017), lo que muestra la ineficiencia del sector ganadero ya que la capacidad de carga animal no alcanza los 0,7 animales/ha. La forma más rentable de alimentar bovinos es con forrajes de pastoreo, pero dado que la capacidad de carga es inferior a un animal por hectárea, esto reduce significativamente la competitividad de la ganadería colombiana. Las metas del Gobierno y la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán) son aumentar la capacidad de carga de las praderas, lo que se logra principalmente con una mayor disponibilidad de forraje en los potreros.

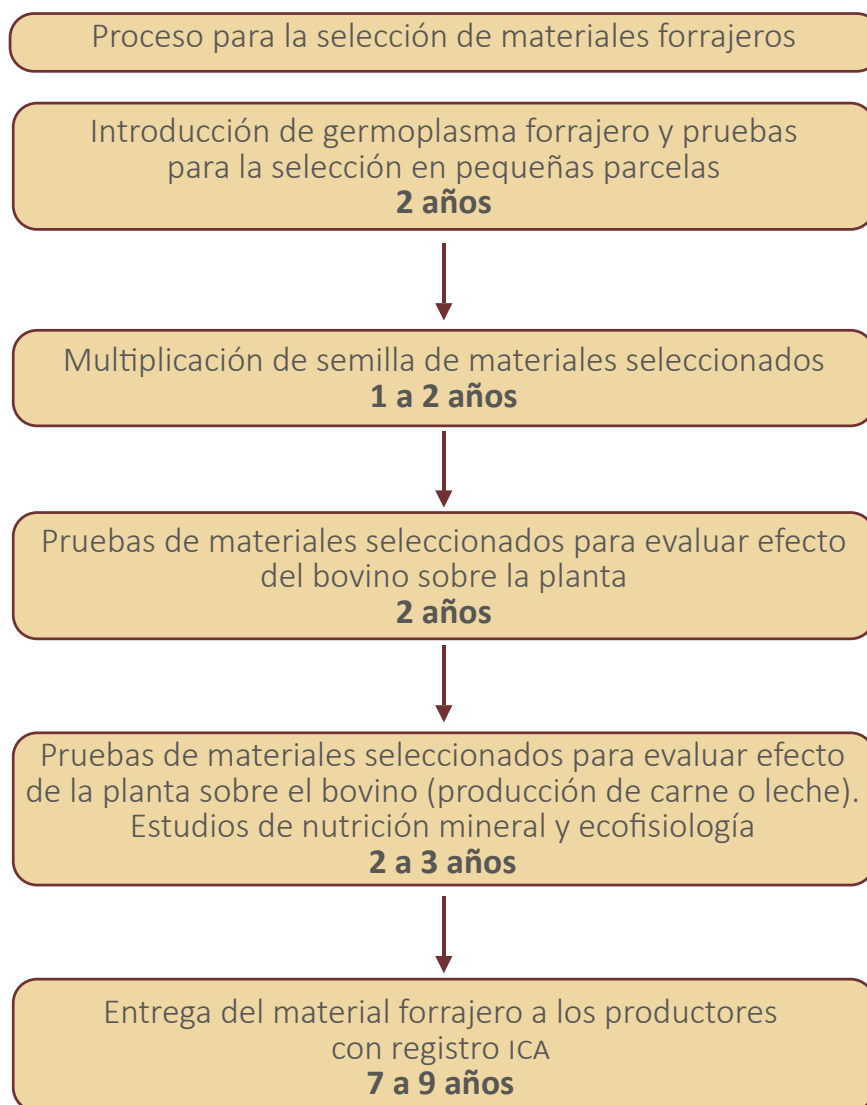
En Colombia se han liberado a los productores cinco gramíneas —*Andropogon gayanus* cv. Carimagua, *Brachiaria humidicola* cv. Llanero (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA, 1987], *Brachiaria brizantha* cv. La Libertad, *Brachiaria humidicola* cv. Humidícola (Pérez & Lascano, 1992) y *Brachiaria brizantha* cv. Toledo (Lascano et al., 2002b)— y cuatro leguminosas —*Stylosanthes capitata* cv. Capica (ICA, 1983), *Centrosema acutifolium* cv. Vichada, *Arachis pinto* cv. Maní forrajero (Rincón et al., 1992), *Desmodium heterocarpon* cv. Maquenque (Pérez et al., 2002) y *Cratylia argentea* cv. Veranera (Lascano et al., 2002a)—, que han mejorado 20 veces la productividad de carne bovina en la Orinoquia colombiana, al pasar de 30 kg/ha/año en sabana nativa a 600 kg/ha/año en praderas establecidas con cultivos (Rincón, 2013). El *Urochloa decumbens* fue el primer cultivar del género *Urochloa* que llegó a Colombia, presenta buena adaptación y producción de forraje en condiciones de suelos bien drenados y se extendió por todo el país sin necesidad de liberarlo.

Es necesario aumentar la disponibilidad de especies forrajeras, especialmente leguminosas, con alto potencial productivo, buena calidad nutricional y respuesta en la producción de carne y leche, adaptación al cambio climático y contribución a la mitigación de los efectos negativos sobre el medio ambiente.

La selección de nuevos forrajes para la alimentación de bovinos se debe realizar mediante un proceso de investigación (figura 1) basado en la introducción y evaluación de gran número de materiales para determinar su adaptación a las condiciones de clima y suelo de la región, la alta producción y calidad de su forraje, y su tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades. Esta fase se desarrolla generalmente durante dos años, lapso necesario para evaluar el comportamiento agronómico de los materiales en épocas lluviosas y secas y elegir los mejores a fin de que continúen con el proceso de selección. Posteriormente, los materiales seleccionados se establecen en campo para evaluar la producción de semilla genética, etapa en la que se determina el manejo agronómico y reproductivo. El proceso continúa con el beneficio de la semilla cosechada, la cual servirá para establecer nuevos experimentos en pruebas con animales. La fase siguiente tiene una duración de dos años. En ella se realizan evaluaciones para determinar el efecto del animal sobre el pasto, la tolerancia al pisoteo, la capacidad de rebrote después del pastoreo. En la última etapa, que se prolonga de dos a tres años, se evalúan los materiales seleccionados para la producción de carne y leche bovina. Simultáneamente, con el material seleccionado se realizan pruebas



agronómicas y se generan recomendaciones de manejo sobre nutrición mineral, distancias y densidades de siembra, y asociación de gramíneas con leguminosas forrajeras.



▲ **Figura 1.** Etapas para la selección de materiales forrajeros.

Fuente: Elaboración propia a partir de Toledo y Schultze-Kraft (1982)

Una especie forrajera debe cumplir con un periodo de evaluación y selección de 7 a 9 años antes de ser liberada o entregada a los productores. Este es el tiempo que se requiere para que el producto final cumpla con las exigencias del sistema ganadero y las necesidades del productor bajo un manejo adecuado que asegure su productividad y sostenibilidad.



Referencias

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2017* [Boletín técnico]. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/enda/ena/2017/boletin_ena_2017.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1983). *Capica* (*Stylosanthes capitata* Vog.): *programa de pastos y forrajes* [Boletín técnico n.º 103].
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1987). *Pasto llanero* (*Brachiaria dictyoneura*) Fig. & De Not. Stapf [Boletín técnico n.º 151]. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20476/78464_7324.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lascano, C., Rincón Castillo, A., Plazas, C., Ávila, P., Bueno Guzmán, G., & Argel, P. J. (2002a). *Cultivar Veranera* (*Cratylia argentea* [Desvaux] O. Kuntze): *leguminosa arbustiva de usos múltiples para zonas con periodos prolongados de sequía en Colombia* [Boletín técnico]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/16582>
- Lascano, C., Pérez, R., Plazas, C., Medrano, J., Pérez, O., & Argel, P. (2002b). *Pasto Toledo* (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110): *gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54199/brachiaria_brizantha_cv_toledo.pdf?sequence=1
- Pérez, R., & Lascano, C. (1992). *El pasto Urochloa humidicola* (Rendle) Schweickdt en los Llanos Orientales de Colombia [Boletín técnico n.º 181]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Pérez, R., Rincón, A., Cipagauta, M., Schmidt, A., Plazas, C., & Lascano, C. (2002). *Cultivar Maquenque* *Desmodium heterocarpum* (L.) DC. subs. *ovalifolium* (Prain.) Ohashi; *accesión CIAT 13651 Corpoica-CIAT*.
- Rincón, Á. (2013). Establecimiento y manejo de la asociación maíz-pastos para la producción de carne bovina. En A. Rincón & C. Jaramillo (Eds.), *Sistemas integrados agrícola-ganadero-forestal, para el desarrollo de la Orinoquia colombiana* (pp. 10-43). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19686>



- Rincón, Á., Cuesta, P., Pérez, R., Lascano, C., & Ferguson, J. (1992). *Maní forrajero perenne* (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory): una alternativa para ganaderos y agricultores [Boletín n.º 219]. Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/31579/38488_20797.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Toledo, J. M., & Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91-111). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/54148>







Capítulo I

Metodologías para la selección de materiales forrajeros

Álvaro Rincón Castillo,
Otoniel Pérez López,
Óscar Pardo Barbosa,
Raúl Alejandro Díaz Giraldo,
Óscar Javier Cerinza Murcia,
Mayra Alejandra Villalobos Bermúdez

.....

En este capítulo se presentan los procedimientos que se deben cumplir para la selección de materiales forrajeros que se utilizarán en la alimentación de bovinos. Se inicia con la evaluación agronómica en pequeñas parcelas y se continúa con la multiplicación de semilla de los materiales seleccionados en la evaluación agronómica. Esta semilla es la que se empleará en el establecimiento de parcelas grandes para las pruebas con animales.

.....

Metodología 1: evaluación y selección de germoplasma forrajero en pequeñas parcelas

El objetivo de esta metodología es seleccionar nuevos materiales forrajeros según su adaptación a las condiciones de clima y suelo de cada región, para identificar atributos de alta producción, de buena calidad nutritiva y de tolerancia a plagas y enfermedades. Los materiales que pueden ser evaluados con esta metodología son los siguientes:

- ✱ Gramíneas forrajeras para pastoreo
- ✱ Gramíneas forrajeras para corte
- ✱ Leguminosas forrajeras para pastoreo
- ✱ Leguminosas arbustivas para corte o ramoneo

Metodología

Para establecer experimentos de evaluación agronómica de materiales forrajeros se deben tener en cuenta las etapas que se presentan a continuación.

Época de siembra

Se recoge información sobre la distribución de lluvias de la región a fin de asegurar la humedad del suelo que se requiere para la germinación de las semillas o el rebrote del material vegetativo.



Se recomienda realizar la siembra al comienzo de la época de lluvias dado que si se hace en los meses más lluviosos, será más difícil la preparación de suelos y la siembra de los materiales forrajeros. Siembras tardías, que coincidan con la disminución de las lluvias, pondrán en riesgo el establecimiento de los experimentos.

Muestreo de suelos

Es necesario recoger información sobre las características químicas (pH, materia orgánica, contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, aluminio, hierro, boro, cobre, zinc) y físicas (densidad aparente, densidad real, porosidad) de los suelos y determinar las concentraciones de minerales, la textura y los grados de compactación. Esta información se obtiene de análisis que se encargan a entidades de investigación como el Instituto Colombiano de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, universidades o laboratorios privados. Con los resultados se puede determinar la fertilización para el establecimiento y mantenimiento de los materiales forrajeros y la intensidad de labranza. Las muestras que se envían a análisis se toman a una profundidad de 0 a 20 cm para el establecimiento de especies forrajeras y de 0 a 30 cm para especies arbustivas.

Preparación de suelos

La labranza se debe practicar a una profundidad de 25 a 30 cm con implementos como cinceles, vertedera o rastra pesada (Rincón & Caicedo, 2010). Posteriormente se hace un pase de pulidor a fin de dejar el terreno en condiciones adecuadas para la germinación de las semillas. La intensidad de labranza debe ser menor en suelos arenosos dada su mayor fragilidad. No se debe hacer sobrepreparación en ningún tipo de suelo ya que esto tiene efectos negativos en la estructura del suelo y aumenta su disposición a la erosión. La sobrepreparación del suelo también puede hacer que la semilla se profundice y se presenten problemas de germinación. En áreas con alta invasión de malezas es importante el control manual o químico antes de la siembra. En zonas donde no es posible la utilización de maquinaria para la preparación de suelos, primero es necesario hacer control de las malezas y luego preparar los suelos manualmente, de forma localizada en los sitios donde se va a sembrar la semilla o el material vegetativo.



Fertilización

La que se debe hacer en el momento de la siembra depende de la concentración de minerales reportada en el análisis de suelos, cuya aplicación práctica se ilustra en el siguiente ejemplo. El análisis de un suelo ácido y franco-arenoso de la altillanura muestra que la materia orgánica tiene una concentración de 2 %, el fósforo (P) de 2 mg/kg, el potasio (K) de 0,04 cmol/kg, el calcio (Ca) de 0,3 cmol/kg, el magnesio (Mg) de 0,10 cmol/kg y el azufre (S) de 1,5 mg/kg. Todos los minerales presentan bajas concentraciones y por consiguiente es necesario aplicarlos mediante los fertilizantes reportados en la tabla 1. En este ejemplo se recomienda aplicar 40 kg/ha de P, de los cuales 50 % provendrá de un fertilizante de lenta a mediana disponibilidad como las escorias Thomas (4 % de P y 34 % de Ca) y el otro 50 % de uno de rápida solubilidad como el fosfato diamónico (19 % de P y 18 % de N). Como fuente de Ca y Mg se recomienda la cal dolomita (25 % de Ca y 7 % de Mg), y como fuente de S, el yeso agrícola (17 % de Ca y 14 % de S), fertilizantes ambos que además contribuyen con más Ca. Las escorias Thomas, la cal dolomítica y el yeso agrícola se pueden incorporar antes de la siembra (figura 2), mientras que el fosfato diamónico y el cloruro de potasio se aplican en el momento de la siembra. El N deberá incorporarse solamente en los experimentos con gramíneas, 30 y 60 días después de la siembra. Es importante tener en cuenta que esta fertilización es específica para un suelo ácido de la altillanura; en otras regiones puede variar de acuerdo con la fertilidad del suelo.

Tabla 1. Fertilización para el establecimiento de materiales forrajeros en condiciones de suelos ácidos de la altillanura colombiana

Elemento	Cantidad del mineral (kg/ha)	Fuente	Cantidad de la fuente (kg/ha)
Fósforo (P)	40	Escorias Thomas (50%)	500
		Fosfato diamónico (50%)	100
Potasio (K)	40	Cloruro de potasio	80
Calcio (Ca)	400	Cal dolomita	800
Magnesio (Mg)	30		
Azufre (S)	30	Yeso agrícola	214
Nitrógeno (N)	50	Urea	108

Fuente: Elaboración propia a partir Salinas et al. (1984)

La fertilización de mantenimiento se practica un año después de la siembra con la mitad de la fertilización de establecimiento.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 2.** Aplicación de los fertilizantes de establecimiento, antes de la siembra.

Siembra

Las semillas de las accesiones que serán evaluadas se solicitan a los bancos de germoplasma de forrajes. En el caso de los tropicales, los materiales de interés se solicitan a Recursos Genéticos del CIAT y se establecen acuerdos de transferencia de materiales.

La profundidad de siembra depende del tamaño de la semilla. Las muy pequeñas (como en el caso de *Desmodium heterocarpon*, que tiene 500 semillas/g) deben colocarse a 1 cm de profundidad, y las semillas grandes (como en *Centrosema molle*, que tiene 32 semillas/g) no deben quedar a una profundidad superior a 2 cm. En cada sitio se colocan de dos a tres (figura 3). Sin embargo, esta cantidad puede variar de acuerdo con el porcentaje de germinación de cada lote de semillas. Después de ubicada la semilla en el terreno, esta se debe tapar y presionar para que tenga buen contacto con el suelo.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 3.** Siembra con semillas.

La utilización de material vegetativo en la siembra se presenta cuando no hay disponibilidad de semillas, y su uso se da principalmente en gramíneas de pastoreo (algunas accesiones de *Megathyrsus maximus* y de *Urochloa*) y en todos los pastos de corte. Las leguminosas en su mayoría se siembran con semilla, salvo excepciones como *Arachis pintoï*, con la cual se pueden utilizar estolones o partes de tallos. Las gramíneas de pastoreo se siembran con cepas o parte de la planta con raíz (figura 4) y las gramíneas de corte, con tallos. La siembra de material vegetativo debe practicarse en días nublados en suelos con buena humedad para evitar deshidratación y muerte del material. Para la siembra de material vegetativo se recomienda utilizar material fresco, que no tenga más de un día de extraído, ya que si pasa más tiempo, el material se deshidrata y pierde la viabilidad.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 4.** Siembra con material vegetativo.

En el establecimiento de las plantas, se debe hacer control de malezas de forma manual, pero cuando la densidad es alta el control se puede realizar con herbicidas selectivos. Estos controles contribuyen al desarrollo inicial del material. Posteriormente, los controles se suspenden para determinar la capacidad de competencia de los materiales en evaluación.

Diseño experimental

En todos los materiales, el diseño experimental se compone de bloques completos distribuidos al azar (BCA), con mínimo tres repeticiones o réplicas de cada tratamiento. Las áreas, distancias de siembra y cantidades de plantas en una parcela se presentan en la tabla 2.



Tabla 2. Aspectos para tener en cuenta en el establecimiento de experimentos de evaluación agronómica de materiales forrajeros en pequeñas parcelas

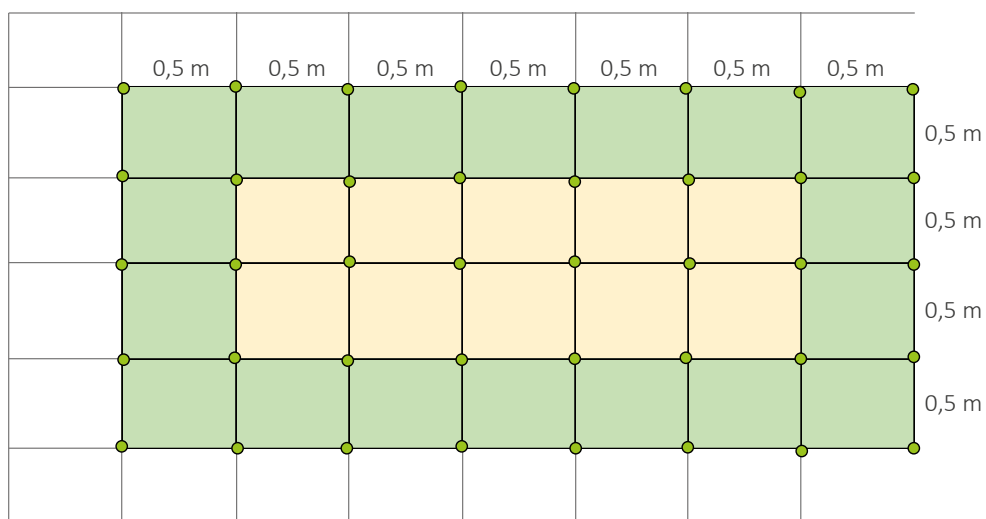
Característica	Gramíneas de pastoreo	Leguminosas de pastoreo	Gramíneas de corte	Leguminosas arbustivas
Diseño experimental	BCA*	BCA	BCA	BCA
Repeticiones (n.º de parcelas)	3 a 4	3 a 4	3 a 4	3 a 4
Área de cada parcela (m ²)	7	7	16	18
Largo × ancho (m)	3,5 × 2	3,5 × 2	4 × 4	9 × 2
Distancia entre plantas (m)	0,5	0,5		1,0
Distancia entre surcos (m)	0,5	0,5	1	2,0
Surcos/parcela (n.º)	5	5	5	1
Plantas/surco (n.º)	6	6		10
Plantas/parcela (n.º)	30	30		10
Distancia entre parcelas (m)	2	2	2	1,5
Distancia entre repeticiones (m)	3	3	3	3

* Bloques completos al azar.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se presenta el esquema de una parcela de gramíneas o leguminosas de pastoreo, la cual debe tener cinco surcos con una longitud de 3,5 m. La distancia entre cada surco es de 0,5 m y entre plantas de 0,5 m. De esta forma, se tendrán ocho plantas en cada surco y 40 en la parcela. El área de cada parcela o unidad experimental debe ser de 7 m² (3,5 m × 2 m) y la distancia entre parcelas, de 2 m y entre repeticiones, de 3 m. En pastos de crecimiento erecto y con alta capacidad de producir macollas, como las accesiones de *Megathyrsus maximus*, la distancia entre surcos y entre plantas puede aumentar a 0,7 o 0,8 m. Las evaluaciones deben realizarse en la parte central de la parcela para no muestrear plantas ubicadas en los bordes ya que por menor competencia, especialmente por luz, estas últimas generalmente presentan mayor desarrollo con respecto a las que se localizan en el centro.





▲ **Figura 5.** Detalle de una parcela con un área de 7 m² (3,5 m × 2 m) y 40 plantas por parcela de gramíneas o de leguminosas herbáceas para pastoreo. El área sombreada en amarillo es el área de evaluación.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se presenta una parcela establecida en campo de leguminosas herbáceas.

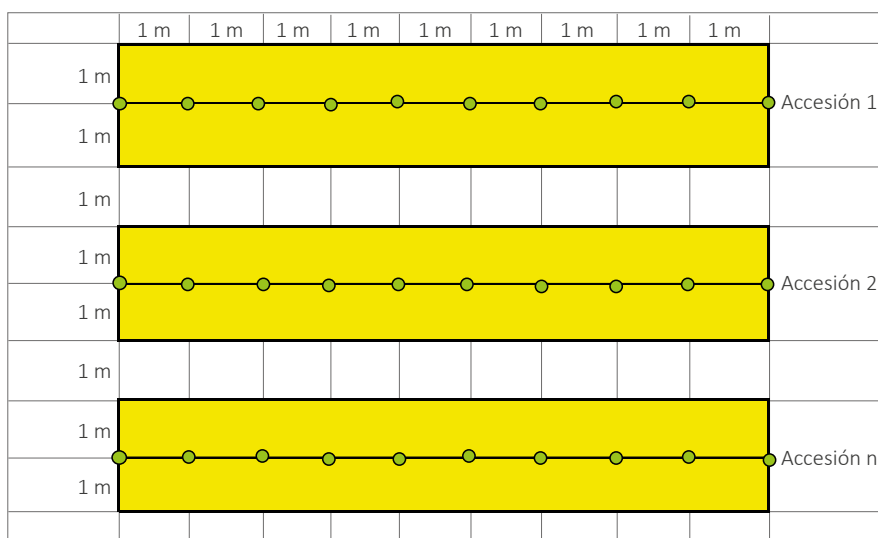


Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 6.** Parcela de una leguminosa herbácea a los 60 días después de la siembra.



Para la evaluación de leguminosas arbustivas, en cada unidad experimental se establecen diez plantas a una distancia de 1 m (figura 7). Por consiguiente, cada parcela tendrá un área de 18 m², teniendo en cuenta una longitud de 9 m y un ancho de 2 m. La distancia entre cada parcela o unidad experimental debe ser de 1 m y de 3 m entre repeticiones.



▲ **Figura 7.** Parcelas y distancias de siembra para el establecimiento de experimentos de leguminosas arbustivas (una repetición).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se presenta una parcela establecida en campo de leguminosas arbustivas.

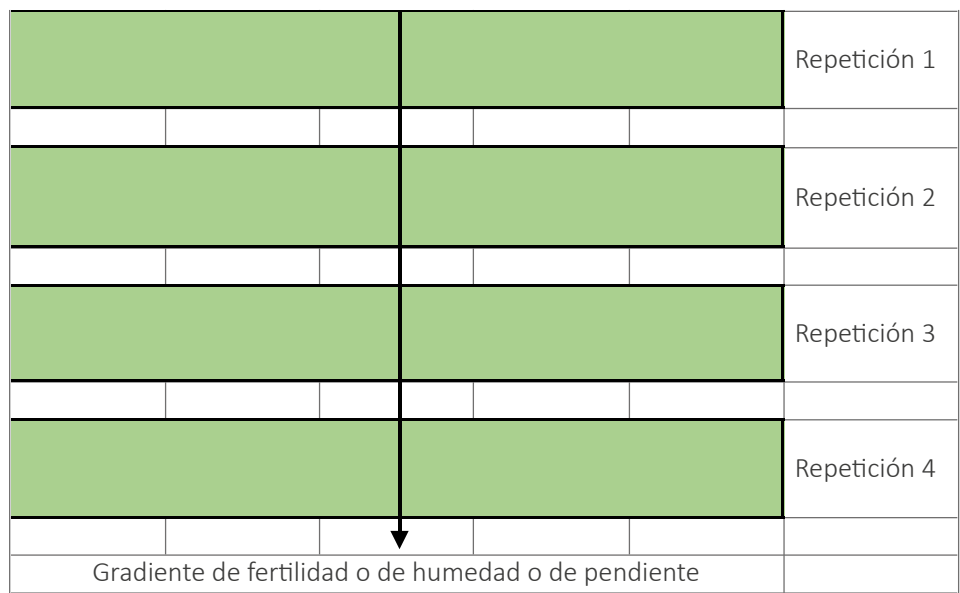


Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 8.** Parcelas de leguminosas arbustivas a los 60 días de sembradas.



Para la distribución de las repeticiones o bloques en el campo, es importante tener en cuenta los gradientes que se presenten en el terreno como la pendiente, la humedad del suelo o la fertilidad. Las repeticiones deben colocarse perpendiculares al gradiente (figura 9) (Toledo & Schultze-Kraft, 1982).



▲ **Figura 9.** Ejemplo de distribución de un experimento con cuatro repeticiones teniendo en cuenta los gradientes.
Fuente: Adaptado de Toledo y Schultze-Kraft (1982)

Evaluación de gramíneas y leguminosas herbáceas para pastoreo

Una vez sembradas las especies forrajeras, se toma información sobre su establecimiento durante los primeros 56 días. Posteriormente, en la fase de producción de los materiales forrajeros, se continúan las evaluaciones. Con la información obtenida se pueden seleccionar las accesiones de mejor comportamiento agronómico.

En fase de establecimiento

La germinación se evalúa a los 20 y 28 días después de la siembra y se da en porcentajes, con un valor de 100 si germinan las 40 plantas sembradas. Se hacen tres observaciones por parcela y en la totalidad de cada una se evalúa la cobertura de la accesión con porcentajes,



el vigor con valores de 1 a 4 (donde 1 es bajo vigor y 4 buen vigor) y la altura de la planta con centímetros. La altura (cm) se mide desde la superficie del suelo hasta donde llegue la mayor proporción de hojas sin estirlas. Estas tres medidas se toman a los 28, 42 y 56 días después de la siembra (tabla 3).

La estimación de la cobertura del pasto es un indicador importante para determinar el establecimiento y persistencia de una especie forrajera. Hay métodos clásicos para su estimación, los cuales se realizan de forma visual, no son muy exactos y tienden a ser subjetivos (Haydock & Shaw, 1975; Mendoza & Lascano, 1985), ya que la precisión del dato medido depende del “ojo” del evaluador, que si es experimentado puede tener una alta precisión, pero si tiene poca experiencia, el resultado presentará mayor incertidumbre. Actualmente existen nuevas herramientas tecnológicas y metodologías de análisis como el sensoramiento remoto satelital o aerotransportado con drones, el aprendizaje automático (*machine learning*) y otras técnicas de inteligencia artificial (Kharuf et al., 2018). Estas herramientas han permitido desarrollar un método para analizar imágenes digitales y estimar el porcentaje de cobertura verde por medio de *software* de cómputo y aplicaciones para teléfonos móviles. Con los avances realizados en el Centro de Investigación (C. I.) La Libertad de AGROSAVIA, se ha podido estimar la cobertura verde en diferentes ecotipos de pasto de *Megathyrsus maximus* a partir de imágenes tomadas por drones y algoritmos de aprendizaje Random forest, con los que se han obtenido resultados preliminares satisfactorios. Dentro de las diferentes aplicaciones para teléfonos inteligentes que existen para estimar la cobertura verde, se destaca la *app* Canopeo, desarrollada por la Universidad Estatal de Oklahoma (Patrignani & Ochsner, 2015) y disponible gratuitamente tanto en Android (Google) como en iOS (Apple). Las imágenes son tomadas con la cámara del teléfono y se analizan en tiempo real para determinar el porcentaje de cobertura verde a partir de los valores de los colores rojo, verde y azul (RGB, por las iniciales de los colores en inglés) (Chhetri & Fontanier, 2021).

En fase de producción

Con un buen establecimiento de las accesiones, el corte de uniformización se realiza con guadaña manual (figura 10) o con otro elemento como hoz o tijeras, 60 días después de la siembra. El material cortado debe ser retirado de la parcela. Las evaluaciones se hacen 21, 28, 35 y 42 días después del corte de uniformización. Este proceso se repite tres veces durante la época de lluvias y dos veces en la temporada seca, por un periodo de dos años.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 10.** Corte de uniformización con guadaña.

Las evaluaciones visuales de cobertura, altura, vigor, ataque de plagas o enfermedades y deficiencias nutricionales o toxicidades, se realizan en toda la parcela. Para la evaluación de la producción de forraje se ubica un marco de 0,25 m² (0,5 m × 0,5 m) en el área de evaluación de la parcela sin incluir los bordes (tabla 3).

Tabla 3. Evaluaciones de gramíneas y leguminosas de pastoreo durante las fases de establecimiento y producción

Evaluación	Momento de evaluación
Fase de establecimiento	
Germinación (%)	20 y 28 días después de la siembra
Cobertura (%)	28, 42 y 56 días después de la siembra
Altura (cm)	28, 42 y 56 días después de la siembra
Vigor (1 a 4)	28, 42 y 56 días después de la siembra
Corte de uniformización	60 a 90 días después de la siembra
Fase de producción	
Cobertura (%)	21, 28, 35 y 42 días después de la uniformización (tres veces en época de lluvias y dos en temporada seca, durante dos años).
Altura (cm)	
Vigor (1 a 4)	
Ataque de plagas y enfermedades	
Deficiencias nutricionales y toxicidades	
Producción de forraje (kgMS*)	

* Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia



La muestra de forraje se corta dentro del marco a una altura que dependerá del hábito de crecimiento de los forrajes. En plantas de crecimiento postrado, la altura de corte será de 15 a 20 cm y en las de crecimiento erecto, de 25 a 30 cm. La muestra se pesa inmediatamente y después se obtiene una submuestra de aproximadamente 200 g para secarla en estufa a una temperatura de 60 °C durante 72 horas. La submuestra seca se pesa en una balanza de precisión para determinar proporción de materia seca del forraje.

Evaluación de gramíneas y leguminosas para corte

Las gramíneas y leguminosas que se utilizarán para corte y posterior suministro a los animales deben cumplir un proceso de selección que se inicia en la fase de establecimiento (la cual abarca desde la germinación hasta los primeros 70 días de desarrollo). Posteriormente continúan las evaluaciones en la fase de producción, que se extienden durante un periodo de dos años.

En fase de establecimiento

En esta fase se realizan evaluaciones de plantas emergidas, con medición de altura y vigor, 42, 56 y 70 días después de la siembra. El corte de uniformización se lleva a cabo 90 días después de la siembra.

En fase de producción

Por ser materiales de crecimiento erecto, no se evalúa cobertura. La altura de planta se toma en tres de las seis plantas de cada parcela, sin incluir los extremos. Vigor, ataque de plagas y enfermedades, deficiencias y toxicidades se evalúan en todas las plantas. Las evaluaciones en la fase de producción se hacen 42, 56 y 70 días después del corte de uniformización en una de las seis plantas de la parcela que no esté en los bordes o extremos. El forraje cortado estará compuesto por hojas y tallos tiernos desarrollados después del corte de uniformización (tabla 4). Este proceso se repite tres veces en la época de lluvias y dos en la temporada seca, durante dos años.



Tabla 4. Evaluaciones de gramíneas y leguminosas para corte durante las fases de establecimiento y de producción

Evaluación	Momento de evaluación
Fase de establecimiento	
Germinación (%)	20 y 28 días después de la siembra
Altura (cm)	42, 56 y 70 días después de la siembra
Vigor (1 a 4)	42,56 y 70 días después de la siembra
Corte de uniformización	90 días después de la siembra
Fase de producción	
Altura (cm)	42, 56 y 70 días después de la uniformización (tres veces en época de lluvias y dos en temporada seca, durante dos años).
Vigor (1 a 4)	
Ataque de plagas y enfermedades	
Deficiencias nutricionales y toxicidades	
Producción de forraje (kgMS*)	

* Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia

El corte de uniformización y evaluación de gramíneas como los pastos de corte del género *Pennisetum* se realiza de 0 a 5 cm por encima nivel del suelo. En otros géneros de crecimiento erecto como *Megathyrsus maximus* el corte se practica a una altura de 25 a 30 cm. En leguminosas arbustivas como *Cratylia argentea*, *Desmodium velutinum* o *Acacia diversifolia*, el corte se hace a una altura de 30 a 50 cm (tabla 5).

Tabla 5. Altura para el corte de uniformización y evaluación de producción de forraje

Especie forrajera	Altura de corte (cm)
Gramíneas y leguminosas de crecimiento postrado	15 a 20
Gramíneas y leguminosas de crecimiento erecto o semierecto	25 a 30
Leguminosas arbustivas	30 a 50
Pastos de corte	0 a 5

Fuente: Elaboración propia



Evaluación de plagas y enfermedades

En el manual para evaluación agronómica de forrajes publicado por el CIAT, se hace una buena descripción de las principales plagas y enfermedades que afectan a los forrajes (Lenne, 1982; Calderón, 1982). En el capítulo II de esta publicación se encuentra una descripción más detallada de este tema. La plaga de mayor impacto en las gramíneas es el mion o salivazo (*Aeneolamia* sp.), aunque se pueden presentar otras plagas como el gusano ejército (*Mocis* sp.) y las hormigas arrieras (*Atta* sp. o *Acromyrmex landolti*). En las leguminosas se ha observado mayor ataque de crisomélidos. En cuanto a las enfermedades, en gramíneas el mayor problema es la pudrición de la raíz por ataque de hongos como *Fusarium* sp. o *Rhizoctonia* sp., mientras que en leguminosas es la pudrición del cuello de la raíz causada por *Phytophthora*, especialmente en *Centrosema* sp. En la tabla 6 se presenta una guía para la evaluación del nivel de daño de plagas y enfermedades (Lenne, 1982; Calderón, 1982).

Tabla 6. Nivel de daño de plagas y enfermedades en especies forrajeras

Nivel de daño	Plagas	Enfermedades
1	Presencia de algunos insectos, la parcela no presenta áreas foliares consumidas	5 % de plantas afectadas
2	Daño leve: 1 a 10 % de follaje consumido	5 a 20 % de plantas afectadas
3	Daño moderado: 11 a 20 % de follaje consumido	20 a 40 % de plantas afectadas
4	Ataque grave: más de 20 % de follaje consumido	Mas de 40 % de plantas afectadas

Fuente: Toledo y Schultze-Kraft (1982)

Al finalizar la fase de evaluación agronómica, en la que se eligen los materiales promisorios para continuar con el proceso de selección, se recomienda tener un día de campo con los productores de la región, para presentarles los resultados obtenidos, mostrarles los materiales preseleccionados y escuchar sus apreciaciones y recomendaciones, que deberán ser tenidas en cuenta en el proceso de evaluación.



Metodología 2: multiplicación de semilla de materiales seleccionados

El objetivo de esta metodología es disponer de semilla de las accesiones preseleccionadas para dar continuidad a los experimentos con animales.

La fase reproductiva de las gramíneas forrajeras se inicia con el alargamiento del tallo, que conduce a la aparición de flores y posteriormente a la formación de semilla. Se suceden modificaciones en los puntos de crecimiento, y los primordios foliares no se desarrollan como hojas sino como futuros órganos florales. En algunas regiones donde se planea su introducción, se ha observado que las gramíneas de pastoreo no producen semillas debido a factores de clima y a que el fotoperiodo es el factor más determinante para su producción. Esto es bastante común en la Orinoquia, pero no tanto en el Cauca o el Caribe seco, donde algunas accesiones de *Urochloa* sí producen semilla. La evaluación del potencial de producción de semilla es tan importante como el potencial de producción y calidad de forraje, ya que una accesión de alta productividad y buen comportamiento en determinada región, tendrá limitantes para su adopción si no se dispone de semilla comercial.

Dadas las dificultades que a veces se presentan para la producción comercial de estas semillas, la capacidad de producirlas debe ser un factor de suma importancia para la selección de materiales forrajeros.

El proceso de floración, que suele darse de forma habitual en una época definida, responde al estímulo de algunos factores ambientales, principalmente la extensión del día y la temperatura (Muslera Pardo & Ratera García, 1984). Estos factores, junto con el manejo de los campos de multiplicación (que incluye uniformización, fertilización y cosecha), determinan el éxito o fracaso de la producción de semilla de pastos.

Los materiales preseleccionados, luego de dos años de evaluación agronómica, deben continuar su evaluación bajo pastoreo, para lo cual es necesario establecer parcelas grandes que permitan la entrada de animales. Para poder establecer estas parcelas, se debe multiplicar la semilla de los materiales promisorios, razón por la cual, en las últimas etapas de la evaluación agronómica, es importante seguir y evaluar el potencial de producción



de la semilla y determinar el momento en que inicia la etapa reproductiva, la cual puede variar entre los géneros y especies forrajeras. Con esta información se podrán programar las diferentes actividades de manejo del cultivo y cosecha de semillas.

Multiplicación de semilla de gramíneas forrajeras

Las labores de adecuación de las áreas para multiplicación de semillas de especies del género *Urochloa* (anteriormente *Brachiaria*) incluyen uniformización y fertilización al comienzo de las lluvias y cosecha dos o tres meses después de la uniformización. En subespecies de *Megathyrsus maximus*, la uniformización y fertilización también se pueden llevar a cabo al inicio de la época de lluvias, pero en algunas accesiones la cosecha de semillas se puede realizar varias veces al año, dada la capacidad que tienen de producir inflorescencias de forma permanente.

El establecimiento de los campos de multiplicación se puede realizar con semillas o material vegetativo. El área depende de la disponibilidad de material de multiplicación, aunque se recomienda establecer al menos 1.000 m² del material preseleccionado.

Las actividades para la multiplicación de semillas de gramíneas forrajeras son las que se presentan a continuación.

Uniformización

La primera actividad que se debe llevar a cabo para la producción de semilla de gramíneas es la uniformización o emparejamiento de los campos de multiplicación, con el fin de sincronizar la emisión de inflorescencias y la cosecha y de este modo reducir la falta de uniformidad en la producción y maduración de la semilla. La uniformización puede hacerse con guadaña manual en áreas pequeñas y con guadaña accionada por tractor en áreas grandes. Pueden utilizarse otros implementos como la cegadora e incluso bovinos si no se dispone de maquinaria.



Fertilización

La fertilización para la producción de semillas de gramíneas forrajeras influye directamente en los rendimientos obtenidos. Las dosis de nutrientes deben ajustarse a las propiedades del suelo en donde se establecerá el semillero. La época de fertilización depende del inicio de las lluvias y de la fecha de uniformización. La provisión adecuada de nitrógeno durante la fase vegetativa favorece la formación de macollas y con ello la densidad de inflorescencias, lo que conduce a mayores rendimientos de semillas. En términos generales se considera que las gramíneas tropicales producen mayor cantidad de semilla cuando reciben de 100 a 150 kg de nitrógeno por hectárea, cantidad que se acompaña de una fertilización básica de P, K, Mg y S (Rincón & Bueno, 1997).

Cosecha

La decisión de iniciar la recolección debe apoyarse en visitas diarias al campo de multiplicación y en muestreos tomados al azar. Cuando las semillas tienen una consistencia pastosa y se desprenden con alguna facilidad del tallo floral, se debe iniciar la recolección de forma mecánica con combinada o manualmente. Como las áreas son pequeñas en esta etapa de multiplicación de semillas de materiales preseleccionados, se recomienda practicar la cosecha manual, la cual se describe a continuación.

Los tallos florales son cortados con hoz (figura 11a) y posteriormente apilados para que la semilla complete la maduración y se facilite su desprendimiento del raquis (figura 11b), en un proceso denominado “sudado”. Las panículas cortadas se colocan ordenadamente en montones horizontales o pilas de un mismo sentido a una altura aproximada de 80 cm. La pila de sudado se construye sobre un plástico para recoger las semillas que se alcancen a desprender en el proceso. La pila, una vez terminada, se tapa con material vegetal compuesto de hojas del mismo pasto. Pilas muy grandes limitan la ventilación, lo cual puede afectar el proceso de sudado (Ferguson, 1984).





Fotos: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 11.** Cosecha de semilla de gramíneas forrajeras. a. Corte de tallos florales de *Megathyrsus maximus* con hoz; b. Formación de pila de “sudado” con los tallos florales cortados.



En el proceso de sudado, la temperatura de la pila se eleva a 50 °C sin que esta tenga efectos nocivos en la semilla. En pilas muy altas (con una altura superior a 80 cm) y compactadas, que dificulten la ventilación, se han registrado temperaturas de 70 °C, lo cual afecta notablemente la viabilidad de la semilla. La atmósfera dentro de la pila cambia significativamente durante el sudado; los niveles de dióxido de carbono se elevan desde 0,003 % (contenido normal) hasta aproximadamente 20 %, y los niveles de oxígeno disminuyen de 20 % (considerado lo normal) hasta proporciones que no pueden medirse (Hopkinson, 1977). La semilla debe permanecer cuatro días dentro de la pila; si esta última se abre antes, las espiguillas no se desprenderán fácilmente, y si se abre después, posiblemente se presentará una actividad fungosa excesiva. Después del “sudado” de la semilla en la pila, sigue la trilla, que se efectúa con una zaranda de malla fina que solo permite el paso de las espiguillas, las cuales se desprenden fácilmente del raquis al dar golpes suaves en la zaranda. La semilla obtenida viene con alta humedad del campo, por lo que es necesario iniciar de inmediato el proceso de secado.

Manejo de postcosecha

El manejo de las semillas después de la cosecha es otra etapa importante del proceso, ya que es entonces cuando ocurren los mayores daños en su viabilidad. Las semillas de gramíneas presentan un alto contenido de humedad (cerca de 50 %) al momento de la cosecha y se encuentran aún en actividad fisiológica. Por ello, un aumento de temperatura o una acumulación de gases, dos accidentes a los que se exponen las semillas almacenadas en depósitos a granel o en los sacos de polipropileno en espera del secamiento, es suficiente para reducir drásticamente su calidad (Hopkinson, 1977).

Secado

La semilla cosechada manual o mecánicamente recibe una prelimpieza de tallos, hojas y otros materiales en la trilla (separación de las espiguillas de los tallos florales) y en el proceso de secado, para que este último sea más rápido. El objetivo del secado es reducir el alto contenido de humedad con el que vienen las semillas del campo, de modo que alcance un 10 % y estas se puedan almacenar. Un sistema de secado que ha dado óptimos resultados es el que se realiza bajo techo, con capas de semillas de un espesor máximo de 20 cm sobre piso de cemento. Allí las semillas se someten a constante movimiento mediante el uso de palas o trinchos durante el tiempo que se necesite para que disminuya la humedad. El proceso de secado puede ser más



rápido cuando se utiliza un secador de aire a 40 °C. El ventilador envía el aire a una resistencia y luego a unos compartimentos o cajones de madera donde se encuentra la semilla dispuesta en capas de 20 cm de espesor. Este espesor permite la circulación del aire, el cual penetra por la base de estos cajones, conformada por una lámina metálica perforada. Las semillas permanecen en este secador durante 48 horas, tiempo durante el cual la humedad baja a 12% (esta se puede determinar con un medidor de humedad de granos). Al finalizar este proceso se obtiene la semilla cruda-seca lista para su clasificación. La mayor causa de pérdida de germinación de las semillas es su alta humedad durante el almacenamiento.

Clasificación

La semilla cruda-seca trae consigo semillas vanas y de malezas, pedazos de plantas (tallos, hojas), tierra e insectos, por lo que es necesario clasificarla para retirar estas impurezas. Esta práctica se lleva a cabo con una máquina “clasificadora”, con aire y zarandas accionadas por un motor eléctrico o de gasolina. La máquina separa este material de la semilla pura o clasificada, cuyo porcentaje será de 40 a 50% del total de semilla cruda-seca cosechada. Se deben hacer de tres a cinco pases o clasificaciones a cada lote para lograr una pureza superior a 90 %. Se ha visto que algunos materiales de gramíneas presentan bajo potencial de producción de semilla pura en condiciones cercanas al ecuador, donde la duración del día y la noche es similar. Si bien en tales condiciones los materiales producen abundante cantidad de tallos florales, de 70 a 90 % de la semilla cosechada es vana o carece de embrión.

Almacenamiento

La alta humedad relativa, asociada a temperaturas altas, reduce drásticamente la calidad de la semilla en cuanto a viabilidad, germinación y vigor. Por esta razón, durante el almacenamiento la semilla producida debe mantenerse lo más fría y seca posible, para que no pierda la capacidad de germinación y el vigor. A fin de que el almacenamiento sea exitoso, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Harrington, 1968):

- 🌱 Humedad de la semilla de 10 a 12%
- 🌱 Humedad relativa de 50%
- 🌱 Temperatura de 15 °C



La semilla clasificada y seca se almacena al medio ambiente en sitios secos y con buena ventilación, libres de insectos y roedores. En el caso particular de *U. humidicola* cv. Llanero, la semilla se cosecha en julio y se empaca en sacos de polipropileno hasta febrero del año siguiente, que es cuando ha completado de siete a ocho meses de almacenamiento y ha entrado en estado de latencia. Las semillas del género *Urochloa* deben ser escarificadas para mejorar la germinación mientras que las de *Megathyrsus* no necesitan este proceso.

Latencia en semillas de gramíneas forrajeras

La latencia es un proceso que ocurre en la mayoría de las gramíneas tropicales, que hace que las semillas viables no germinen pese a estar bajo condiciones adecuadas para ello en cuanto a agua, oxígeno y temperatura. Este proceso tiene lugar en los primeros meses de poscosecha, cuando la semilla entra en un estado de reposo en forma natural que coincide con la época seca. Sin embargo, la latencia desaparece cuando empieza la época de lluvias y es entonces cuando la semilla está lista para la siembra y para una buena germinación.

Después de tres meses de cosechada, la semilla presenta una viabilidad de 70 % y solamente una germinación de 0 a 5 %, lo cual se explica por la existencia de una barrera fisiológica. Sin embargo, algunos trabajos realizados con *U. decumbens* (Fisher & Kerridge, 1998) indican que los tegumentos actúan como una barrera física que impide la entrada de agua y el intercambio de gases como el oxígeno y el CO₂, de tal manera que además de una barrera fisiológica, existiría una barrera física que impide la germinación.

La escarificación de las semillas consiste en romper su barrera física o fisiológica. Se han probado varios métodos para mejorar la germinación con escarificación mecánica (lija), cambios de temperatura y química (nitrato de potasio al 0.2 %, ácido giberélico, peróxido de hidrógeno, ácido sulfúrico). Los mejores resultados se han obtenido con escarificación química basada en ácido sulfúrico (H₂SO₄). Este procedimiento consiste en mezclar cuatro kilos de semillas clasificadas de gramínea forrajera como el pasto Llanero con 500 ml de H₂SO₄ en una concentración de 90 %, durante un tiempo de 25 a 30 minutos, e inmediatamente después lavarlas con abundante agua y ponerlas a secar. Con este tratamiento se pierde aproximadamente 25 % del peso de la semilla clasificada. Normalmente la escarificación de la semilla se realiza cuando la latencia está llegando a su



fin, después de 7 a 8 meses de permanecer en este estado, entre febrero y marzo. De esta manera las semillas estarían en condiciones de germinar en las siembras que se realizan a comienzos de la época de lluvias (abril).

La semilla escarificada y empacada en sacos de polipropileno o en bolsas plásticas de un kilogramo se almacena en un cuarto frío que brinde las condiciones de humedad y temperatura mencionadas anteriormente. De no almacenarla en estas condiciones, se corre el riesgo de bajar su calidad ya que los embriones pueden morir por la exposición a las altas temperaturas y a la humedad propia de la región.

Análisis de calidad de las semillas

La calidad de las semillas es un término que se refiere a varios atributos físicos, fisiológicos y sanitarios de un lote (Sánchez, et al 1989). El análisis de semillas se hace con el fin de medir estos atributos mediante pruebas de laboratorio principalmente.

Condición física: Para medir la condición física se hace un análisis de pureza a una muestra representativa del lote. En esta prueba se determina el contenido de semilla pura (espiguillas que poseen cariósipide), de material inerte y residuos vegetales, y de semillas de otras especies (malezas). La pureza se mide en 200 g del lote, en los cuales se separan las semillas llenas, las semillas vanas, las partes de planta como pedazos de hojas y tallos, y las otras semillas. Estos componentes se pesan por separado. Una muestra de 200 g con 160 g de semilla llena de la especie forrajera tiene 80 % de pureza. Esta prueba se puede hacer en tres repeticiones.

Condición fisiológica: Se mide mediante pruebas de germinación, viabilidad y emergencia. La información obtenida da un estimado del potencial o capacidad del lote de semillas para desarrollar plántulas. Las pruebas fisiológicas se realizan con la fracción de semilla pura obtenida del análisis de la condición física.



- 🌱 *Prueba de germinación:* Se hace bajo condiciones adecuadas para la germinación de las semillas en cuanto a luz, temperatura ambiental y humedad del suelo. En un recipiente (matera, germinador plástico) que contenga un sustrato, se colocan cien semillas a una profundidad de 1 cm en condiciones de luz natural y humedad que permitan la germinación. A los 7, 14 y 21 días se cuentan las plántulas que lograron germinar. Con la información obtenida se obtiene el porcentaje de germinación del lote de semillas.
- 🌱 *Prueba de viabilidad.* Da información sobre las cariósides que están vivas en el lote de semillas. Es común obtener una alta viabilidad y una baja germinación, lo que constituye un indicativo de semilla en latencia. Esta prueba se hace con el objeto de determinar rápidamente la viabilidad de las semillas que normalmente germinan con lentitud o presentan latencia. La prueba se lleva a cabo con tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio), un compuesto incoloro que da a las semillas una coloración roja cuando entra en contacto con sus células vivas. Con un bisturí, las semillas se dividen a lo largo en dos partes iguales de modo que quede expuesto parte del embrión, se impregnan de tetrazolio y se dejan en completa oscuridad durante seis horas a una temperatura de 30 °C. Las semillas que al cabo de este proceso tengan el embrión de color rojo serán las que están vivas, mientras que aquellas que lo tienen blanco o de color natural son las que están muertas.
- 🌱 *Prueba de emergencia:* Se hace en las condiciones de suelo y clima en las que se va a establecer el pasto. Su procedimiento y evaluación es similar a la prueba de germinación, pero en este caso la luz, la temperatura y la humedad no se controlan. Las plántulas que emergen dan una información más real de la calidad de la semilla, puesto que la prueba semeja una siembra directa en campo.

Los resultados obtenidos de forma individual sobre la condición física y fisiológica de un lote no son suficientes para interpretar si una semilla es de buena o mala calidad. Es necesario, por tanto, integrar estos dos conceptos y obtener un índice compuesto que se expresa como “semilla pura germinable” o valor cultural. Este valor resulta de multiplicar el porcentaje (por peso) de pureza por el porcentaje (por número) de germinación y dividirlo por 100.



Evaluación de producción de semilla

La información que se debe tomar en la fase reproductiva de las gramíneas forrajeras se presenta en la tabla 7. Los días de inicio de la floración, máxima floración y momento de la cosecha se cuentan a partir del corte de uniformización de la gramínea. El periodo reproductivo de las gramíneas forrajeras es variado porque algunas especies de *Urochloa* son más precoces (con una duración de cuatro meses) y otras son más tardías (con un periodo reproductivo de cinco meses).

Tabla 7. Evaluaciones en el periodo reproductivo de gramíneas forrajeras

Evaluación	Momento de evaluación
Inicio de floración, número de días después de la uniformización	De acuerdo con la especie
Máxima floración, número de días después de la uniformización	De acuerdo con la especie
Número de tallos florales en cada planta	Máxima floración
Longitud del tallo floral (m)	Máxima floración
Número de racimos en cada espiga	Máxima floración
Porcentaje de inflorescencias atacadas por enfermedades	Máxima floración
Número de espiguillas en cada racimo	Momento de cosecha
Número de semillas en cada espiguilla	Momento de cosecha
Número de semillas llenas	Momento de cosecha
Producción de semilla cruda	Momento de clasificación
Producción de semilla pura	Momento de clasificación
Producción de semilla vana	Momento de clasificación
Peso de 100 semillas	Después de clasificación
Cantidad de semillas en un gramo	Después de clasificación
Porcentaje de germinación a los 7, 14 y 21 días	De 6 a 7 meses después de cosecha (por latencia de semillas)

Fuente: Elaboración propia

Multiplicación de semilla de leguminosas forrajeras

Las leguminosas de crecimiento erecto o postrado como las de los géneros *Stylosanthes* y *Desmodium* se pueden establecer en campos de multiplicación cuya área depende de la disponibilidad de semilla de los ecotipos seleccionados.



En las leguminosas de crecimiento voluble como *Centrosema* y *Pueraria*, es necesaria la construcción de tutores para obtener mayor producción y facilitar la cosecha. Para la siembra de estas leguminosas, se establecen surcos separados por una distancia de 2 a 3 m y con una distancia entre plantas de 1 m (figura 12). En el caso de las leguminosas arbustivas, la distancia de siembra entre surcos y entre plantas es de 2 a 3 m. El cultivo debe manejarse adecuadamente con nutrición mineral; es necesario, por tanto, conocer la concentración de minerales en el suelo a fin de suplir las deficiencias con fertilización. Generalmente las leguminosas son muy atacadas por crisomélidos, que deben ser controlados cuando la afectación del área foliar supera el 20 %. Las leguminosas entran en su fase reproductiva a final de las lluvias, el llenado de las vainas ocurre en época seca (enero o febrero) y se observa alto vaneamiento cuando hay estrés hídrico. Para solucionar este problema, debe considerarse el riego en estos meses secos. Los géneros de la mayoría de leguminosas, como *Centrosema*, *Cratylia* y *Stylosanthes*, poseen los órganos masculinos y femeninos en la misma flor, por lo que en ellos se da la autopolinización, si bien se puede presentar polinización cruzada mediante insectos como abejorros o abejas. Si se establecen accesiones del mismo género, es posible que se presente polinización cruzada, lo que dará origen a nuevos materiales por cruzamiento y afectará la genética del material original. Por consiguiente, se recomienda sembrar las accesiones en campos de multiplicación separados.



Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 12.** Campo de multiplicación de semilla de *Centrosema macrocarpum*.



Metodología 3: pruebas con los materiales seleccionados para evaluar el efecto del bovino sobre la planta

El objetivo de esta metodología es determinar la respuesta de los materiales forrajeros preseleccionados al pisoteo, corte, ramoneo y consumo por parte de los bovinos, y establecer la capacidad de rebrote y persistencia bajo pastoreo.

Como continuación del proceso de selección de los materiales forrajeros preseleccionados en los experimentos de evaluación agronómica, se deben establecer experimentos para determinar el efecto de los bovinos en los materiales forrajeros promisorios. Una vez terminada la evaluación agronómica, los materiales pueden ser sometidos a pastoreo mediante “pruebas de cafetería” para determinar de forma preliminar la preferencia de consumo de los animales (figura 13). En las pruebas de cafetería, los animales tienen a su disposición todos los materiales forrajeros que fueron evaluados agronómicamente. Después de un tiempo corto de pastoreo no superior a un día, el investigador determina las accesiones de mayor consumo, y esto constituye una característica importante para tener en cuenta en el proceso de selección.



Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 13.** Pastoreo preliminar en las parcelas de evaluación agronómica para determinar preferencia de consumo de los animales.



Dado que esta metodología involucra experimentos de pastoreo con mayor costo y altos requerimientos de semillas, fertilizantes, cercas, bebederos y animales, el número de materiales que se establecen debe ser bajo. Por ejemplo, si se inician evaluaciones agronómicas con 25 accesiones de leguminosas, al cabo de dos años deben preseleccionarse las dos o tres mejores para las pruebas bajo pastoreo. En esta fase se evalúan gramíneas puras o leguminosas asociadas con gramíneas y se deben incluir al menos dos épocas lluviosas y dos secas. Por consiguiente, el tiempo requerido para esta evaluación es de dos años, incluidas siembra, adecuación para pastoreo y evaluaciones.

Establecimiento

Las prácticas para el establecimiento de los materiales deben seguir las recomendaciones ya descritas para el establecimiento de las evaluaciones agronómicas. Se empieza con muestreo de suelos para análisis químico y físico, labranza profunda, control inicial de malezas, fertilización según concentración de minerales en suelo y siembra.

Las semillas de los materiales preseleccionados en las pruebas agronómicas deben someterse a una prueba de germinación para determinar su calidad. Además, se debe saber cuántas corresponden a un kilo de semillas. En la tabla 8 se presentan ejemplos para determinar la densidad de siembra de dos gramíneas (Toledo y *Urochloa brizantha* 26124 cv. Caporal) y dos leguminosas (*Centrosema macrocarpum* y *Centrosema molle*). Nótese que el tamaño de las semillas de estos materiales es diferente, lo cual se puede apreciar en la cantidad de semillas contenidas en 1 kg. Por consiguiente, *C. macrocarpum* necesita una densidad de siembra mayor que *C. molle*, lo mismo que Toledo con respecto a *U. brizantha* 26124 cv. Agrosavia Caporal. En el ejemplo de la tabla, la cantidad de plantas deseadas se calculó para el establecimiento de asociaciones de *Centrosema* con las gramíneas forrajeras mencionadas, lo que dio como resultado un estimado de 50.000 plantas/ha de cada leguminosa y 50.000 de cada gramínea. En caso de sembrar gramínea pura, la densidad de siembra tendrá que duplicarse.



Tabla 8. Densidad de siembra de acuerdo con germinación y cantidad de semilla en 1 kg de algunas gramíneas y leguminosas

Información de la semilla	<i>Centrosema macrocarpum</i>	<i>Centrosema molle</i>	Pasto Toledo	<i>B. brizantha</i> CIAT 26124 cv. Agrosavia Caporal
Semillas en 1 kilo (100 % pureza)	18.000	32.000	100.000	222.000
Semillas en 1 kilo (90 % pureza)	16.200	28.800	90.000	199.800
Semillas germinables en 1 kilo de leguminosa (60 % germinación)	11.340	17.280		
Semillas germinables en 1 kilo de gramínea (30 % germinación*)			27.000	59.940
Semillas emergidas descontando pérdidas de 25 % en siembra	8.505	12.960	20.250	44.955
Población deseada (plantas/ha)	50.000	50.000	50.000	50.000
Densidad de siembra (kg/ha)	5,9	3,9	2,5	1,1

* En gramíneas se considera que un lote de semilla presenta una germinación adecuada cuando esta es superior a 30 %.

Fuente: Elaboración propia

Diseño experimental

Los tratamientos de gramíneas puras o asociadas con leguminosas pueden ser distribuidos en bloques completos al azar (BCA) o en un diseño de parcelas divididas. Por ejemplo, si se han seleccionado tres gramíneas como promisorias en las evaluaciones agronómicas, estas pueden distribuirse en BCA con tres replicaciones. Para ver las ventajas de los ecotipos seleccionados, en los tratamientos debe incluirse el testigo que utilizan los productores. En caso de seleccionar leguminosas, estas deben establecerse en asociación con gramíneas de forma aleatoria. Para establecer una buena asociación de gramínea y leguminosa, es importante considerar el hábito de crecimiento de las especies. Leguminosas de crecimiento erecto o voluble (por ejemplo, *Stylosanthes* o *Centrosema*) se deben asociar con gramíneas de crecimiento erecto o semierecto (*U. brizantha*, *U. decumbens*), y leguminosas de crecimiento postrado (*Arachis pintoii*, *Desmodium heterocarpon*) pueden asociarse con gramíneas de crecimiento postrado, erecto o semierecto (*U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola*, *M. maximus*, *Cynodon*). Como ilustración se presenta un ejemplo de dos ecotipos de *Centrosema* preseleccionados, asociados con dos gramíneas en una distribución de parcelas divididas con tres repeticiones (figura 14):



- Parcela principal: gramínea (*U. brizantha* y *U. decumbens*) con un área de 3.000 m²
- Subparcela: leguminosa (*Centrosema* 1 y *Centrosema* 2) con un área de 1.500 m²
- Área total del experimento: 1,8 ha

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		
<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 1	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 2	<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 2	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 1	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 1	<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 2	50 m
<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 2	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 1	<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 1	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 2	<i>U. decumbens</i> <i>Centrosema</i> 2	<i>U. brizantha</i> <i>Centrosema</i> 1	50 m
30 m	30 m	30 m	30 m	30 m	30 m	

▲ **Figura 14.** Distribución de asociaciones de gramíneas + leguminosas en parcelas divididas con tres repeticiones para evaluar efecto del animal sobre los forrajes.

Fuente: Elaboración propia

Manejo del pastoreo

Para tener buen control en el pastoreo, todas las parcelas y subparcelas se deben separar con cerca eléctrica o convencional. Cada potrero debe estar conectado con broches para poder hacer la rotación de los animales y tener acceso a bebederos en cada potrero. La carga animal se calcula de acuerdo con la disponibilidad de forraje y en ella es importante considerar animales volantes para incluirlos en la rotación cuando sea necesario. En este ejemplo el pastoreo se puede hacer con tres o cuatro animales de 250 a 300 kg de peso inicial cada uno, los cuales rotarán en los doce potreros de forma secuencial, con un periodo de ocupación de dos a tres días y uno de descanso de 22 a 33 días.



Evaluaciones

Treinta días después de la siembra se evalúa el establecimiento con el fin de determinar competencia con malezas y si es necesario hacer resiembra. La evaluación de la población de cada especie se lleva a cabo en un marco de 0,25 m², con tres observaciones por cada tratamiento en las tres repeticiones. A los 30 y 60 días del establecimiento se evalúa altura de plantas y cobertura. Una vez iniciado el pastoreo, de 60 a 90 días después de la siembra, los animales se rotan una o dos veces por todos los tratamientos, para observar comportamiento de las especies bajo pastoreo.

Las evaluaciones en cada tratamiento se llevan a cabo tres veces en época lluviosa y dos en temporada seca, antes de iniciar periodo de ocupación, y en ellas se mide cobertura, altura, ataque de plagas y enfermedades, composición botánica, producción y calidad nutritiva del forraje (tabla 9). La composición botánica se mide con el fin de determinar proporción de gramíneas, leguminosas y otras especies bajo pastoreo. Para esta evaluación debe seguirse la metodología para evaluación de disponibilidad de forraje y composición botánica (ver capítulo II). En este experimento no se evalúa la respuesta en ganancia de peso animal o la producción de leche; el objetivo es determinar el comportamiento de las especies forrajeras frente a la presencia del bovino.

Tabla 9. Evaluaciones para determinar efecto del bovino sobre los materiales forrajeros

Evaluaciones	Momento de evaluación
En establecimiento	
Población de especies	A los 30 días de la siembra
Altura de planta (cm)	A los 30 y 60 días de la siembra
Cobertura (%)	A los 30 y 60 días de la siembra
Bajo pastoreo	
Altura de planta (cm)	Tres veces en época lluviosa y dos veces en seca, antes de iniciar periodo de ocupación.
Cobertura (%)	
Ataque de plagas y enfermedades (1 a 4)	
Composición botánica (%)	
Producción de forraje (kgMS*/ha)	
Calidad nutritiva (proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, degradabilidad, P, Ca, Mg, S, K)	Una vez en época lluviosa y una vez en seca, antes de iniciar periodo de ocupación.

* Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia



Metodología 4: pruebas con materiales seleccionados para evaluar su efecto en la producción de carne o leche en bovinos

El objetivo de esta metodología es determinar la respuesta en productividad de carne o leche, de animales alimentados con los materiales forrajeros seleccionados como promisorios.

Con forrajes de pastoreo

Con el o los materiales seleccionados por mejor desempeño en las pruebas para evaluar el efecto del animal sobre los forrajes, se desarrollan los experimentos para determinar la productividad de carne o leche en bovinos. El periodo de duración es de mínimo dos años, con dos épocas lluviosas y dos secas. En esta fase se establecen potreros con un área mayor, y en la evaluación se incluye al menos un material, el cual debe ser comparado con un testigo comercial de la región.

Establecimiento

En la labranza, densidad de siembra, fertilización y control de malezas se siguen las mismas recomendaciones descritas anteriormente, con el propósito de tener praderas bien establecidas (figura 15). En regiones como los Llanos Orientales, en la fase de establecimiento es importante hacer control de hormigas, especialmente en el momento de emergencia de las plántulas. Si no se realiza, el experimento puede fracasar debido al daño que ocasionan las hormigas al cortar las plántulas. De igual forma, es necesario tener la información actualizada del comportamiento de la precipitación en la región. El establecimiento de estos experimentos es costoso y por fallas en la época de siembra u otros aspectos relacionados con esta actividad, la liberación de un material forrajero se puede demorar un año más con el consecuente incremento de costos.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 15.** Gramíneas forrajeras establecidas para la evaluación con animales.

Diseño experimental

Generalmente se selecciona el mejor ecotipo de gramínea o leguminosa para el establecimiento de las pruebas en producción animal. En caso de ser una gramínea, se evalúa junto con el testigo comercial; si se trata de una leguminosa, esta se siembra en asociación con la gramínea de uso comercial en la región y se incluye el mismo testigo de la gramínea sin asociación con leguminosa.

En la figura 16 se presenta la distribución de los tratamientos de gramínea seleccionada y gramínea testigo, en bloques completos distribuidos al azar con tres repeticiones. En este ejemplo, el área de cada potrero o unidad experimental es de 1,5 ha, donde se puede tener en pastoreo un número representativo de animales (por ejemplo, $1,5 \text{ ha} \times 3 \text{ repeticiones} \times 2 \text{ animales/ha} = 9 \text{ animales}$ en cada tratamiento). Estos tratamientos deben separarse con cerca eléctrica o convencional para facilitar el manejo del pastoreo. Por la variabilidad existente entre animales, la información puede ser más confiable si se aumenta el área y la cantidad de animales (Amézquita, 1986).



Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
Gramínea seleccionada	Gramínea testigo	Gramínea seleccionada	100 m
Gramínea testigo	Gramínea seleccionada	Gramínea testigo	100 m
150 m	150 m	150 m	

▲ **Figura 16.** Distribución de tratamientos en BCA con tres repeticiones para evaluar efecto de los forrajes sobre la productividad animal.

Fuente: Elaboración propia

Manejo del pastoreo

Los bovinos en los pastos establecidos pueden ser para producción de carne o leche. Lo más recomendable para obtener información en un tiempo más corto, y por mejor respuesta y facilidad de manejo, es evaluar la producción de carne bovina, aunque la decisión debe tomarse de acuerdo con el sistema de producción predominante en la región. En este ejemplo se tendrá en cuenta la producción de carne.

Para el pastoreo se debe tener un grupo de animales por cada tratamiento o material forrajero. En el ejemplo, se tienen dos grupos de bovinos: uno para la gramínea seleccionada y otro para la gramínea testigo. Como cada unidad experimental tiene un área de 1,5 ha, el total de las tres repeticiones equivaldrá a 4,5 ha. La capacidad de carga en cada pasto se calcula de acuerdo con la disponibilidad de forraje. El grupo de animales para la gramínea seleccionada y para la gramínea testigo debe ser uniforme en raza y con edades y pesos similares; esto es importante tenerlo en cuenta para reducir el error experimental por variabilidad entre animales (Amézquita, 1986). El peso inicial promedio debe ser de 250 kg/animal, con un



rango de 230 a 270 kg/animal. Los bovinos deben permanecer en el experimento hasta alcanzar su peso de sacrificio. Para evitar inconvenientes en el manejo se recomienda utilizar animales castrados.

La carga animal es la cantidad de bovinos que pueden pastar en determinada área y está relacionada con la disponibilidad de forraje. Se ha determinado que el consumo diario de un novillo es de 12 % de su peso vivo; por consiguiente, un bovino de 300 kg consumirá 36 kg/día de forraje verde o 10,8 kg/día de forraje seco (en promedio, un forraje de 30 días de rebrote tiene 30 % de materia seca). La carga animal en una pradera se puede expresar en kg de peso vivo/ha o en unidad animal/ha (U.A./ha). En la Orinoquia, una U.A. equivale a 400 kg de peso vivo.

Si el área disponible de cada pasto en el total de las tres repeticiones es de 4,5 ha (1,5 ha × 3 repeticiones), los animales de cada grupo rotarán con un periodo de ocupación aproximado de 14 días y 28 días de descanso. Con una capacidad de carga de 2 U.A./ha en época lluviosa (800 kg de peso vivo), se necesitarían 3 animales/ha de 250 kg. Sin embargo, esta cantidad de animales puede variar de acuerdo con la región, el potencial de producción de los materiales y el forraje disponible. Regiones con suelos más fértiles producirán más forraje de mejor calidad y por tanto se necesitarán más animales experimentales. Se debe disponer de un área adicional de pastos para ubicar los animales volantes que se necesitan para ajustar cargas. Esto es muy importante en regiones donde el forraje disminuye por estrés hídrico en la época seca. Todos los animales deben poder consumir sal mineralizada a voluntad y tener el manejo sanitario exigido por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Para el suministro de agua, debe construirse la red hídrica con manguera conductora de agua y bebederos ubicados en las divisiones de modo que sirvan para dos potreros (figura 17). Por buenas prácticas ganaderas, los animales no pueden acceder a agua de caños u otras fuentes naturales.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 17.** División de potreros para evaluación de materiales forrajeros bajo pastoreo.

Evaluaciones

Las evaluaciones en cada tratamiento se llevan cabo tres veces en época lluviosa y tres en temporada seca, antes de iniciar periodo de ocupación, y en ellas se mide cobertura, altura, ataque de plagas y enfermedades, composición botánica y producción de forraje (tabla 10). La duración de esta fase es de mínimo dos años, tiempo que permite disponer de información sobre ganancia de peso en los dos grupos de animales (uno por cada tratamiento). Para la evaluación de praderas debe seguirse la metodología presentada en el protocolo para la evaluación de disponibilidad de forraje y composición botánica. Se recomienda hacer uno o dos pastoreos para estandarización de pasturas y acostumbramiento de animales a la dieta. Se practica luego un pesaje inicial de los animales y posteriormente se vuelven a pesar cada 56 días.



Tabla 10. Evaluaciones para determinar efecto de materiales forrajeros en la producción de carne o leche bovina

Evaluaciones	Momento de evaluación
En el establecimiento	
Población de las especies	A los 30 días de la siembra
Altura de la planta (cm)	A los 30 y 60 días de la siembra
Cobertura (%)	A los 30 y 60 días de la siembra
Bajo pastoreo	
Altura de la planta (cm)	Tres veces en temporada lluviosa y dos en época seca, antes de iniciar periodo de ocupación.
Cobertura (%)	
Ataque de plagas y enfermedades (1 a 4)	
Composición botánica (%)	
Producción de forraje (kgMS*/ha)	Una vez en temporada lluviosa y una en época seca, antes de iniciar periodo de ocupación
Calidad nutritiva (proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, degradabilidad, P, Ca, Mg, S, K)	
Ganancia de peso animal	Pesaje cada 56 días

* Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia

Con cultivos forrajeros

Cultivos forrajeros como los de maíz, sorgo o soya generalmente son evaluados agrónomicamente y seleccionados por investigadores de cultivos transitorios. Para que un cultivo forrajero pueda ser entregado a los productores, debe pasar por una evaluación con animales para ver la respuesta de la producción de carne o leche. Como lo más común es usar estos cultivos como estrategia de alimentación en épocas críticas cuando escasea el forraje de pastoreo, se presenta un ejemplo con sorgo forrajero almacenado en silos.

Adecuación de áreas experimentales

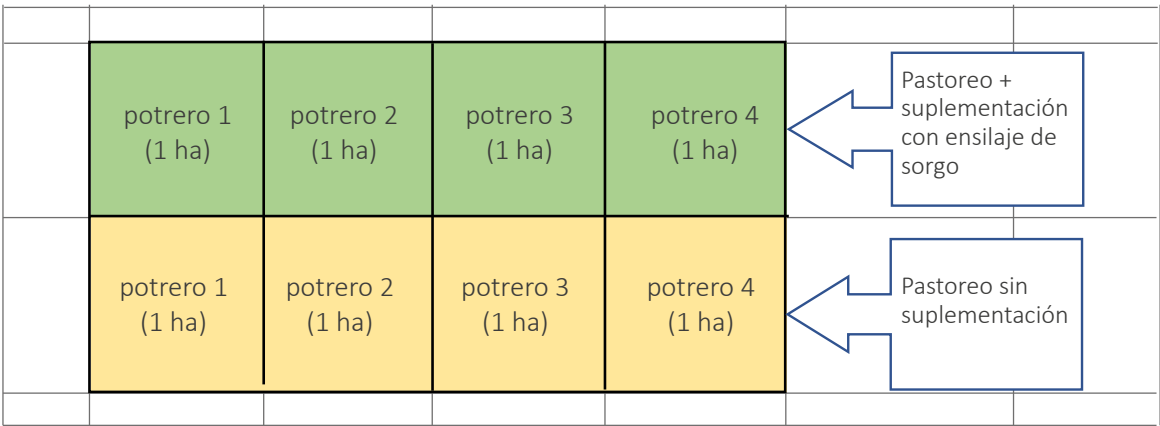
Para evaluar el suplemento de ensilaje de sorgo forrajero en animales que se encuentran en pastoreo, se deben adecuar áreas de praderas que permitan tener un número representativo de animales. Es importante tener mínimo diez animales por tratamiento, hembras o machos, en producción de leche o carne respectivamente. El ejemplo que se expone a continuación es con machos para evaluar producción de carne.



Diseño experimental

La pradera seleccionada debe ser uniforme, con buena cobertura y producción de forraje, libre de malezas o plagas y de síntomas de degradación. Como ejemplo se seleccionan ocho hectáreas de *Urochloa* sp. (las cuales tienen cerca periférica con alambre de púas y cerca eléctrica interna para las divisiones), con los siguientes dos tratamientos (figura 18):

- Tratamiento 1: pastoreo + suplementación con ensilaje de sorgo.
- Tratamiento 2: solo pastoreo.



▲ **Figura 18.** Distribución de potreros para evaluación de la suplementación con ensilaje de sorgo.
Fuente: Elaboración propia

El diseño experimental es de tipo continuo, en el que todos los animales permanecen en las áreas correspondientes a su tratamiento y cada uno es considerado como una repetición (Amézquita, 1986).

Manejo del pastoreo

Como se puede apreciar en la figura 19, las áreas de pastoreo para la evaluación del ensilaje de sorgo son iguales al testigo de solo pastoreo. En el ejemplo hay 4 ha para cada tratamiento, divididas en cuatro potreros para poder hacer un pastoreo rotacional con aproximadamente diez días de ocupación y 30 de descanso. Las áreas para tratamientos,



la carga animal y el manejo del pastoreo son aspectos que determina el investigador de acuerdo con el pasto establecido, y las condiciones de clima y suelo de la región que inciden en la capacidad de rebrote de las praderas (Lascano et al., 1986). A todos los animales se les suministra sal mineralizada para que consuman a voluntad y se les da el manejo sanitario correspondiente. Para el suministro de agua debe construirse una red hídrica con manguera conductora de agua y bebederos ubicados en las divisiones para que sirvan para dos potreros. Por buenas prácticas ganaderas, los animales no pueden acceder a agua de caños u otras fuentes naturales.

El grupo de animales seleccionado para los dos tratamientos debe ser uniforme, de la misma raza y con edades y pesos similares, con el propósito de reducir el error experimental por variabilidad entre animales. Para cada tratamiento se selecciona un grupo aproximado de diez bovinos machos con un peso inicial promedio de 300 kg/animal. El pastoreo se inicia un mes antes de comenzar la época seca, para que se acostumbren al manejo de las rotaciones. Para evitar inconvenientes en el manejo se recomienda utilizar animales castrados.

En condiciones de la Orinoquia el suministro de ensilaje al grupo de animales en el tratamiento de pastoreo + suplementación se inicia a comienzos de enero y se termina a finales de marzo. Son 90 días de época seca, durante los cuales en promedio se le suministra diariamente a cada animal 10 kg de ensilaje. Dado que un animal consume 3 kg de MS por cada 100 kg de peso vivo, un bovino de 300 kg consumiría 3 kgMS con el ensilaje (30% de MS) y 6 kgMS con el forraje de pastoreo (figura 19). Por consiguiente, para este grupo de animales se deben disponer aproximadamente nueve toneladas de ensilaje (tabla 11), las cuales se deben producir en un área de un cuarto a media hectárea, en la anterior época lluviosa.





Foto: Álvaro Rincón Castillo

▲ **Figura 19.** Suministro de ensilaje de sorgo forrajero a los animales en época seca.

Tabla 11. Cantidad de ensilaje necesario para suplementar diez novillos durante la época seca

Cantidad de bovinos macho para suplementar con ensilaje de sorgo	10
Días de evaluación en época seca (1 de enero a 31 de marzo)	90
Consumo diario de suplemento de sorgo (kg de ensilaje/animal)	10
Consumo total diario de suplemento sorgo (kg de ensilaje/10 animales)	100
Consumo total de suplemento de sorgo en época seca (kg de ensilaje/10 animales/90 días)	9.000

Fuente: Elaboración propia

Evaluación en la pradera

El potrero de cada tratamiento se evalúa al inicio del experimento (por ejemplo, enero), posteriormente en la mitad del periodo (por ejemplo, febrero), y al finalizar el experimento al inicio de la época lluviosa (en marzo). La evaluación se lleva a cabo antes de que los animales entren a su respectivo potrero de acuerdo con la metodología de evaluación de praderas en transectos desarrollada por AGROSAVIA (ver capítulo II de esta publicación), que incluye altura, cobertura, composición botánica y disponibilidad de forraje. Para determinar la calidad



nutritiva del forraje de pastoreo se toman muestras al comienzo y al final de la época seca, y con ellas se determina el contenido de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), digestibilidad y los minerales P, Ca, Mg, S, K (tabla 12).

Evaluación en el ensilaje

Antes de iniciar el suministro del ensilaje a los animales, se toman muestras para determinar materia seca y se envían al laboratorio para análisis de los contenidos de proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, P, Ca, Mg, S, K, valores de degradabilidad y pH.

Evaluación en animales

Los animales se pesan antes de que entren a pastoreo para determinar peso inicial y posteriormente se pesan cada mes. Con esta información se puede determinar carga animal, ganancia diaria de peso, producción de carne por hectárea, y productividad de carne durante el periodo de evaluación. Previo al suministro definitivo del suplemento, se da un periodo de cinco días para el acostumbramiento de los animales, en el cual el primer día se administran 2 kg/animal del suplemento y a partir del segundo se aumentan 2 kg/día hasta completar los 10 kg/animal.

Tabla 12. Evaluaciones para determinar el efecto del ensilaje en la ganancia de peso de bovinos

Evaluaciones	Momento de evaluación
En pradera	Inicio, mitad y final de la época seca
Altura de planta (cm)	
Cobertura del suelo (%)	
Composición botánica (%)	
Disponibilidad de forraje (kgMS*/ha)	
Proporción de forraje seco (%)	
Calidad nutritiva (proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, degradabilidad, P, Ca, Mg, S, K)	Inicio y final de la época seca
En el ensilaje	En el momento de iniciar el experimento
Calidad nutritiva (proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, degradabilidad, pH, P, Ca, Mg, S, K)	
En animales	Pesaje cada 30 días
Ganancia de peso	

* Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia



Consideraciones finales

1. La selección de nuevos materiales forrajeros para los sistemas ganaderos del país debe cumplir con todo el proceso de investigación, que se extiende desde la evaluación agronómica hasta las pruebas con animales.
2. Para que el material forrajero seleccionado pueda ser usado por los productores, es necesario implementar un plan de multiplicación de semilla comercial dentro o fuera del país.
3. Un material forrajero evaluado y seleccionado debe ser liberado o entregado a los productores como cultivares con nombre comercial, previo cumplimiento de las exigencias del ICA para la obtención del registro, según Resolución 067516 del 11 de mayo de 2020.
4. Para la obtención del registro por parte del ICA se exigen pruebas de evaluación agronómica (PEA), aplicables a cultivos. En el caso de materiales forrajeros, la etapa de pruebas agronómicas incluye las que son con animales y por esta razón un material forrajero debe cumplir con las dos pruebas.
5. En este documento se presentan las bases mínimas para la evaluación y selección de materiales forrajeros. Las características locales, de materiales disponibles y demás, deben incluirse a juicio de los investigadores a cargo de los experimentos.

Referencias

Amézquita, M. C. (1986). Consideraciones sobre planeación, diseño y análisis de experimentos de pastoreo. En C. Lascano y E. Pizarro (Eds.), *Evaluación de pasturas con animales: alternativas metodológicas: memorias de una reunión de trabajo celebrada en Perú, 1-5 de octubre, 1984* (pp. 13-42). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).



- Calderón, M. (1982). Evaluación de daño causado por insectos. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 57-72). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/54148>
- Chhetri, M., & Fontanier, C. (2021). Use of canopeo for estimating green coverage of bermudagrass during postdormancy regrowth. *HortTechnology*, 31(6). <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04938-21>
- Ferguson, J. E. (1984). *Métodos de cosecha en gramíneas forrajeras: 1.º curso intensivo sobre producción de semillas en pastos tropicales*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Fisher, M. J., & Kerridge, P. C. (1998). Agronomía y fisiología de las especies de *Brachiaria*. En J. W. Miles, B. L. Maass & C. B. do Valle (Eds.), *Brachiaria: biología, agronomía y mejoramiento*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa).
- Hopkinson, J. M. (1977). *Secado de semilla de pastos* [Notes n.º 20] [Trad. R. C. León]. Productora Nacional de Semillas (SARH); Queensland Seed Producers.
- Harrington J. F. (1968). *Secado, almacenaje y empaque de semillas para mantener germinación y vigor* [Trad. S.O.S.]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); Universidad de California.
- Haydock, K., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Animal Production Science*, 15, 663-670.
- Kharuf, S., Orozco, R., Aday, O., & Pineda, E. (2018). Multispectral aerial image processing system for precision agriculture. *Sistemas & Telemática*, 16(47), 45-58. <http://dx.doi.org/10.18046/syt.v16i47.3221>
- Lascano, C., Pizarro, E., & Toledo, J. M. (1986). Recomendaciones generales para evaluar pasturas con animales. En C. Lascano & E. Pizarro (Eds.), *Evaluación de pasturas con animales: alternativas metodológicas* (pp. 251-267). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Lenne, J. M. (1982). Evaluación de enfermedades en pastos tropicales en el área de actuación. En M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 45-56). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).



- Mendoza, P., & Lascano, C. (1985). Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo. En C. Lascano & E. Pizarro (Ed.), *Evaluación de pasturas con animales: alternativas metodológicas: memorias de una reunión de trabajo celebrada en Perú, 1-5 de octubre de 1984* (pp. 143-166). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Muslera Pardo, E., & Ratera García, C. (1984). *Praderas y forrajes: producción y aprovechamiento*. Ediciones Mundiprensa. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Praderas+y+forrajes.+Producci%C3%B3n+y+aprovechamiento.+&btnG=
- Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312-2320. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj15.0150>
- Rincón, A., & Bueno, G. (1997). *Producción de semilla de pasto llanero (Brachiaria dictyoneura) en la altillanura colombiana* [Boletín técnico n.º 1]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32554>
- Rincón, A., & Caicedo, S. (2010). Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los llanos colombianos. En A. Rincón & C. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 75-111). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35794>
- Salinas, J. G., Sanz, J. I., Arregocés, Ó., & Vásquez, J. C. (1984). *Selección y evaluación de pastos tropicales en condiciones de alta concentración de aluminio y bajo contenido de fósforo disponible: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema*. Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. <https://hdl.handle.net/10568/54571>
- Sánchez, M., Cardozo, C. I., & Fergusson, J. E. (1989). *Aspectos de calidad de semillas de especies forrajeras en el establecimiento de pasturas mejoradas: curso taller sobre pastos en la altillanura colombiana y zonas de suelos ácidos*. Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]; Banco Ganadero; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Toledo, J. M., & Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91-111). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/54148>







Capítulo II

Metodología para la evaluación de disponibilidad de forraje y composición botánica

Óscar Pardo Barbosa,
Álvaro Rincón Castillo,
Otoniel Pérez López

El objetivo de esta metodología es determinar disponibilidad de forraje, composición botánica y otras variables agronómicas como altura, cobertura, ataque de plagas y enfermedades, para obtener información sobre cómo hacer un buen manejo de praderas.

Alcance

Técnica sencilla que se aplica a todo tipo de praderas de crecimiento erecto y postrado, de gramíneas puras o asociadas. Su principal característica es que se trata de una evaluación dirigida, en transectos predeterminados con información reportada en un formato y obtenida en cada punto de evaluación.

Definiciones

Disponibilidad de forraje: Biomasa compuesta por hojas y tallos de gramíneas u otras especies como leguminosas, gramas y leguminosas nativas, disponibles para ser consumidas por el bovino después de un periodo de descanso determinado.

Forraje verde: Biomasa forrajera para alimentación animal que incluye contenido de agua.

Materia seca: Materia que queda después de extraer el agua al forraje. Se expresa en porcentaje.

Forraje seco: Forma como se expresa el forraje disponible y consumido por los animales (kgMS/ha) basada en el cálculo de la materia seca.

Forraje residual: Forraje que queda después del pastoreo, compuesto en su mayoría por tallos y baja proporción de hojas, de importancia para el nuevo rebrote de forrajes.

Composición botánica: Especies vegetales que se encuentran en una pradera.

Transecto: Línea imaginaria que sirve de guía para ubicar los puntos de evaluación de praderas.

Responsables: Personal capacitado en evaluación de praderas (profesionales, asistentes técnicos, operarios).



Materiales y equipos

Para evaluar disponibilidad y composición botánica de las praderas, es necesario disponer de materiales y equipos.

Materiales:

- ✂ Bolsas de papel
- ✂ Marcadores
- ✂ Regla de un metro de longitud
- ✂ Marco en metal, madera o PVC de 50 cm × 50 cm
- ✂ Tijeras de esquila, hoces de segar
- ✂ Formato para la toma de información

Equipos:

- ✂ Balanza
- ✂ Estufa para secar forraje

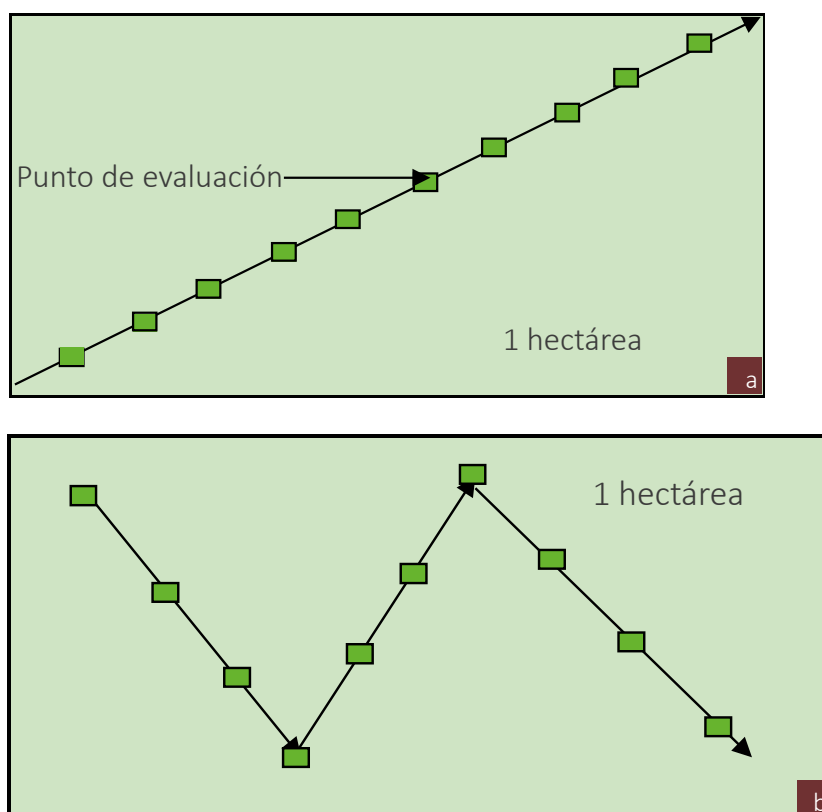
Metodología

La metodología de evaluación de praderas se basa en muestreos representativos y evaluaciones visuales, cuya información se reporta en formatos y constituye la base para la toma de decisiones en el manejo del pastoreo con bovinos.

Recorrido para hacer la evaluación de praderas

1. Definir un transecto en la pradera que permita hacer un muestreo representativo. Este transecto puede ser diagonal, en zigzag o del modo que el evaluador determine, de manera que cubra la totalidad del lote por evaluar y la información obtenida en el muestreo sea lo más representativa posible de la pradera (figura 20).





▲ **Figura 20.** Ejemplos de transectos para la evaluación de praderas. a. Esquema del transecto en diagonal para la evaluación de una pradera de 1 ha (10 puntos de evaluación); b. Esquema del transecto en zigzag para la evaluación de una pradera de 1 ha (10 puntos de evaluación).

Fuente: Elaboración propia

2. Entre cada sitio o punto de muestreo donde se coloca el marco, debe existir una distancia que permita hacer las observaciones suficientes para lograr una información lo más aproximada posible sobre la disponibilidad real de forraje y sobre las demás características agronómicas que se desean obtener. Para esto se contabilizan pasos entre cada sitio, cuyo número dependerá del tamaño del lote. Por ejemplo, para un transecto de 200 m se pueden hacer muestreos cada 10 m (o cada diez pasos aproximadamente) para así obtener 20 sitios evaluados con el marco. En la tabla 13 se presentan las recomendaciones de cantidad mínima de sitios donde se deben realizar las evaluaciones de praderas en el transecto, según el área para evaluar. Entre más sitios evaluados, mayor será la precisión de la información obtenida.



Tabla 13. Número mínimo de sitios para hacer las evaluaciones de praderas según el área

Área por muestrear	Número de marcos u observaciones
Menor o igual que 1 ha	10
2 a 5 ha	20
6 a 10 ha	30
Más de 10 ha	40

Fuente: Elaboración propia

3. El marco no se ubica al azar, sino de manera dirigida. El sitio de muestreo debe ser lo más cercano posible a lo observado en el recorrido entre cada punto de evaluación.

Evaluaciones en cada sitio

Las evaluaciones que se deben realizar en cada punto son las siguientes:

🌱 *Cobertura vegetal del suelo:* Área del marco cubierta con las especies vegetales, representadas por el pasto dominante y por otras especies, incluidas malezas. Este valor se da en porcentaje. Un marco que presenta una cobertura de 70 % indica que existe un 30 % de suelo descubierto (ver capítulo I).

🌱 *Altura del pasto:* Valor en cm medido sin coger o estirar las hojas. Es la altura promedio en el marco sin tomar los extremos.

Altura de corte: Altura del pasto en cm después de hacer el corte de muestreo para determinar producción de forraje. Esta altura debe estar de acuerdo con el hábito de crecimiento de los pastos (tabla 14).

Tabla 14. Altura de corte o pastoreo de algunas gramíneas forrajeras

Gramínea forrajera	Altura de corte o pastoreo (cm)
<i>Urochloa decumbens</i> cv. Amargo	20-25
<i>Urochloa humidicola</i> cv. Dulce	15-20
<i>Urochloa dictyoneura</i> cv. Llanero	15-20
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Toledo	25-30
<i>Megathyrsus maximus</i>	25-30

Fuente: Elaboración propia



🌱 *Presencia de plaga principal:* En las especies de *Urochloa*, la plaga principal es el mion o salivazo de los pastos (*Aeneolamia* sp.) y se evalúa con valores de 1 a 4 de la siguiente manera, según la metodología de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) del CIAT (Toledo & Schultze-Kraft, 1982):

1. *Presencia de algunos insectos:* La coloración del follaje de las plantas en la parcela es normal (ninfas o adultos).
2. *Daño leve:* Las plantas exhiben pocas manchas largas o rayas de color amarillo pálido (ninfas y adultos).
3. *Daño moderado:* las plantas presentan abundantes manchas largas o rayas de color amarillo; algunas plantas tienen una coloración parda o marrón (ninfas y adultos).
4. *Daño grave:* Las plantas presentan una coloración parda o marrón (ninfas o adultos).

🌱 *Otras plagas:* Plagas que también aparecen en praderas, como el chinche, el gusano ejército (*Mocis* sp.) y otras que se puedan presentar de acuerdo con la región.

🌱 *Enfermedades:* Algunos pastos pueden sufrir enfermedades foliares o pudrición de raíz. La presencia de enfermedades se califica de 1 a 4 según la metodología de la RIEP del CIAT (Toledo & Schultze-Kraft, 1982):

1. Presencia de la enfermedad (5 % de plantas afectadas).
2. Daño leve (5 a 20 % de plantas afectadas).
3. Daño moderado (20 a 40 % de plantas afectadas).
4. Daño severo o grave (más de 40 % de plantas afectadas).



🌱 *Deficiencias:* Es importante determinar las deficiencias de minerales, especialmente de N, P, K, Ca, Mg.

- *Deficiencia de nitrógeno:* Clorosis gradual en las hojas.
- *Deficiencia de fósforo:* Pigmento rojo púrpura en las hojas.
- *Potasio:* Clorosis y necrosis apical y marginal progresivas desde ápice hacia la base de las hojas.
- *Calcio:* Clorosis y necrosis en hojas jóvenes.
- *Magnesio:* Clorosis y necrosis en hojas viejas.

🌱 *Composición botánica:* Se refiere a las especies que se encuentran en la pradera, incluidas gramíneas introducidas, gramas nativas, leguminosas introducidas, leguminosas nativas, otras especies de hoja ancha conocidas como malezas o arvenses. En el formato de evaluación (tablas 15, 16, 17) hay un espacio donde las diferentes especies se pueden colocar en orden. Las especies se identifican con un número de 1 a 6 (cuando existen máximo seis especies; si existen más, es necesario adicionar más casillas al formato) y al frente de dicho número, se deja un espacio para la identificación de la especie. En las casillas donde se reportan los datos de los sitios o marcos de evaluación, se pone en porcentaje lo observado en la composición botánica sobre las especies presentes en este sitio. La sumatoria de porcentajes de las especies debe ser igual a 100%. Al finalizar la evaluación de todos los sitios de la pradera, se promedian los porcentajes de cada especie.

🌱 *Producción de forraje:* Una vez tomada toda la información visual en el marco, se procede a realizar el muestreo para determinar la disponibilidad de forraje. El procedimiento consiste en cortar todo el material vegetal encontrado en el marco de evaluación a una altura que depende del hábito de crecimiento del pasto (tabla 14). Es posible que, en algunas praderas, el pastoreo se haya realizado con cargas bajas y la altura de pastoreo se encuentre más arriba de lo recomendado, lo cual pasa con frecuencia, especialmente en pastos de crecimiento erecto como el



Toledo y *Megathyrus maximus*. En este caso, la altura de corte para determinar forraje disponible debe hacerse a la altura a la que los animales han pastoreado, cortando solamente el forraje que ha rebrotado en el periodo de descanso. El forraje cortado se deposita en una bolsa o saco y luego se procede a avanzar al otro sitio de muestreo, donde se realiza el mismo procedimiento, y así se continúa hasta completar la evaluación en todos los sitios. Se recomienda hacer los muestreos de forma rápida para evitar pérdida de humedad del forraje cortado y obtener datos más exactos. El forraje recogido en la bolsa es el total de todos los sitios muestreados. Este forraje se pesa inmediatamente para determinar la masa verde obtenida y su valor se registra en el formato de evaluación. Es importante poner en 0 la balanza y tarar la bolsa para descartar su peso. Una vez conocido el número de marcos cortados y el área de cada uno, se puede calcular el área total de muestreo (por ejemplo, en 20 marcos de 0,25 m², el área muestreada será de 5 m²); con esta información es posible saber el forraje verde disponible en 1 ha. Para determinar la materia seca de la muestra del forraje cosechado en las evaluaciones, se debe seleccionar una submuestra de 200 a 300 g, cuyo peso exacto se inserta en el formato de evaluación. Esta submuestra debe ser secada preferiblemente en estufa a una temperatura de 70 °C durante 48 horas. El forraje seco de la submuestra se pesa y su valor se coloca en el formato de evaluación. Una vez conocido este dato de la materia seca del forraje de la pradera evaluada, se puede hacer el cálculo de la disponibilidad de forraje seco (kgMS/ha). La submuestra obtenida de forraje seco se utiliza para determinar la calidad nutritiva.

En la figura 21 se presenta el flujograma de las actividades de evaluación agronómica y productiva de especies forrajeras de pastoreo.



Tabla 15. Formato de evaluación de praderas

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

FINCA:

Potrero:

Fecha:

Evaluador:

Municipio:

Dpto.

N.º observ.

N.º	Especies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
1																						0
2																						0
3																						0
4																						0
5																						0
6																						0
7																						0
8																						0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cobertura %

Altura planta (cm)

Altura corte (cm)

Plagas (1 a 4)

Tamaño del marco m²

Marcos cortados

Peso forraje verde (muestra) en kg

% materia seca

¡Correcto!

Elaborado por: Óscar Pardo B.

Celdas modificables

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Ejemplo de formato de evaluación de praderas

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA																							
FINCA:	C. I. La Libertad										Potrero:	Chipres										N.º observ.	20
Fecha:	14/02/2022										Evaluador:	Ó. Pardo y Á. Rincón											
Municipio:	Villavicencio										Dpto.	Meta											

N.º	Especies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
1	Amargo	80	70	20	80	70	80	90	90	75	90	90	80	60	85	90	90	90	55	90	90	1.565
2	Dulce	20		70	10									30								130
3	Leguminosas		30	10	5	20	5	5		10		10	10		5	5		10	10	2	5	142
4	Malezas				5	10	15	5	10	15	10		10	10	10	5	10		35	8	5	163
5																						0
6																						0
7																						0
8																						0
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	2.000

Cobertura %	85	80	82	78	79	90	87	79	90	85	86	89	90	76	86	74	82	70	76	88	82,6
-------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	------

Altura planta (cm)	35	30	30	35	29	32	34	30	38	40	30	35	38	40	42	36	38	40	40	35	35,35
--------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

Altura corte (cm)	25	23	23	25	20	20	20	20	20	20	20	20	25	20	20	20	25	20	20	20	21,3
-------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	------

Plagas (1 a 4)																					
----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tamaño del marco	0,25	m ²	Marcos cortados	20	Peso forraje verde (muestra) en kg	2,15
------------------	------	----------------	-----------------	----	------------------------------------	------

% materia seca	30	¡Correcto!		Celdas modificables
----------------	----	------------	--	---------------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Ejemplo de resultados de evaluación de praderas

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA			
Resultados			
Finca:	C. I. La Libertad	Potrero	Chipres
Fecha:	14/02/2022	Evaluador	Ó. Pardo-Á. Rincón
Municipio:	Villavicencio	Dpto.	Meta
Forraje verde/ha	4.300 kg		
Materia seca/ha	1.290 kg		
Altura inicial	35 cm		
Altura de corte	21 cm		
Cobertura	83 %		
Plagas	%		
N.º	Especies	Porcentaje	
1	Amargo	78,0	
2	Dulce	6,5	
3	Leguminosas	7,1	
4	Malezas	8,2	
5			
6			
Total		100	

Fuente: Elaboración propia



N.º	Flujograma	Registro
1	INICIO Determinación de transecto para evaluaciones	No aplica
2	Marcación de bolsas, diligenciamiento formato en su encabezado	Formato de evaluación
3	Ubicación de marco de evaluación en el punto inicial	Formato de evaluación
4	Evaluación de cobertura, altura, plagas, composición botánica	Formato de evaluación
5	Corte de forraje y almacenamiento en bolsa	No aplica
6	Traslado al segundo punto de evaluación (se repiten las acciones 3 a 5 hasta terminar todas las evaluaciones en cada punto)	Formato de evaluación
7	Peso de la muestra de forraje recolectada en todos los puntos	Registro en balanza
8	Selección de submuestra y determinación de su peso	Formato de evaluación
9	Secar a 70 °C	Registro de uso de estufa
10	Peso forraje seco a las 48 horas	Registro de uso de estufa
11	Cálculo de forraje disponible por hectárea y composición botánica FIN	Formato de evaluación

▲ **Figura 21.** Esquema o flujograma para la evaluación agronómica y productiva de especies forrajeras de pastoreo.

Fuente: Elaboración propia



Referencias

Toledo, J. M., & Schultze-Kraft, R. (1982). Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En J. M. Toledo (Ed.), *Manual para la evaluación agronómica* (pp. 91-111). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/54148>







Capítulo III

Crecimiento y desarrollo de los pastos

Álvaro Rincón Castillo

.....

Para hacer un buen manejo de pastos es necesario aplicar conceptos de fisiología vegetal relacionados con el crecimiento y desarrollo con enfoque en la producción de biomasa (conformada por hojas y tallos, que son la fuente alimenticia de los rumiantes). El efecto del animal sobre el pasto junto con el clima y la nutrición mineral determinan la disponibilidad y calidad del forraje, mientras que el efecto del pasto sobre el animal se refleja en la producción de carne o leche, si bien la sostenibilidad de los sistemas ganaderos está determinada por el manejo dado por el hombre.

.....

Conceptualización

El análisis de crecimiento permite cuantificar el incremento de biomasa vegetal como resultado del aumento del volumen celular y la formación de nuevas células. En el desarrollo vegetal hay cambios fenológicos que involucran organización y especialización anatómica y fisiológica (Hunt, 1982). El crecimiento y desarrollo de las plantas está condicionado por factores como temperatura, luz, agua, nutrición mineral y gas carbónico, que participan en los diferentes procesos de fotosíntesis y respiración para la producción de biomasa vegetal (Duarte et al., 2005; Azcón-Bieto & Talón, 2000)

El crecimiento a partir de la semilla se inicia con la imbibición de agua en procesos fisiológicos que dan origen a la emergencia de la plántula mediante una activa multiplicación de células en los puntos de crecimiento ubicados en las zonas meristemáticas de raíz, tallos y hojas. Esta plántula pasa por un periodo de crecimiento vegetativo que da lugar a abundantes macollas y buen anclaje de las raíces. El desarrollo de la planta continúa en la fase reproductiva con la emisión de tallos florales que darán origen a la semilla y la maduración de la planta.

Los métodos de análisis de crecimiento han sido elaborados para estudiar este proceso durante la fase vegetativa. Para el análisis del crecimiento hay que determinar la superficie fotosintética o asimilatoria y el peso total de materia seca. Para el análisis del desarrollo se tiene en cuenta el peso de la materia seca de tallos, hojas, granos. Estas medidas se toman a intervalos variables que van desde unos pocos días hasta semanas durante todo el ciclo hasta la recolección, sobre muestras representativas del cultivo objeto de estudio (Jarma et al., 1994; Patterson et al., 1985).



A partir de los datos de área foliar y masa seca, se pueden calcular los índices fisiológicos, dentro de los cuales cabe mencionar los siguientes como los más importantes:

Índice de área foliar (IAF): Se define como el área de la superficie foliar existente sobre la unidad de superficie del suelo (suma de la totalidad de superficies de las hojas en un área de suelo), por lo tanto, no tiene magnitud. El incremento de IAF durante las primeras etapas de crecimiento está asociado a la fase de macollamiento y su disminución al final del ciclo del cultivo se debe a la senescencia y muerte de las hojas, dada en forma secuencial desde la base de la planta hasta la zona apical (Courtis, 2014). Un IAF de 2 significa que encima de 1 m² de suelo hay 2 m² de hojas ($2/1 = 2$). Para medir el área foliar de las hojas de los pastos se utiliza el planímetro, el cual da información de cada hoja, aunque también existen programas de procesamiento de imagen digital como ImageJ y aplicaciones de celular. Otra forma de medir área foliar de una hoja de pasto es mediante el cálculo de largo $\times$ ancho, especialmente en pastos como Toledo y *decumbens*, en los que se ha obtenido un coeficiente de determinación (r^2) superior a 0,9 cuando se comparan con la medida obtenida en un planímetro.

Área foliar específica (AFE): Se define como la proporción entre área foliar y peso seco total de la planta. El AFE es comúnmente utilizado en análisis de crecimiento debido a que por lo general se correlaciona de manera positiva con la Tasa de Crecimiento Relativo. El AFE, además, tiende a relacionarse de manera positiva con la tasa fotosintética bajo condiciones de saturación de luz y con el contenido foliar de nitrógeno, y negativamente con la longevidad de la hoja y la inversión en compuestos carbonados secundarios de importancia cuantitativa, como los taninos o la lignina (Pérez et al., 2004).

Tasa de crecimiento del cultivo (TCC): Mide la acumulación de materia seca por unidad de suelo y unidad de tiempo, y en ella se tiene en cuenta solamente la parte aérea de la planta (Hunt, 1982).

Tasa de crecimiento absoluto (TCA): Considerada la tasa de acumulación de materia seca por unidad de tiempo (Hunt, 1982).



Tasa de crecimiento relativo (TCR): Mide el incremento de materia seca en relación con el peso seco total de la planta. La TCR representa la capacidad de la planta de producir material nuevo y depende de la fotosíntesis y la respiración (Hunt, 1982). Tiene inicialmente valores altos, los cuales disminuyen a medida que aumenta la edad de la planta, y presenta una tendencia similar al comportamiento del área foliar, que se reduce con la edad (Rincón et al., 2007). Cuando las plantas se relacionan unas con otras, se inicia un autosombreamiento y competencia intraespecífica por luz (Hunt, 1982).

Diferencia entre tasa de crecimiento absoluto y tasa de crecimiento relativo: Para entender la diferencia entre estas dos tasas se presenta el siguiente ejemplo con dos plantas (*a* y *b*) que crecen en el mismo momento bajo idénticas condiciones. En una semana, la planta *a* pasó de 10 a 11 g de peso en tanto *b* pasó de 1 a 2 g. Desde el punto de vista del aumento de peso por unidad de tiempo, ambas plantas subieron un gramo en una semana, valor que constituye la tasa de crecimiento absoluto de ambas plantas. Sin embargo, un análisis más detallado indica que si las plantas siguen el mismo ritmo de crecimiento, muy pronto la planta *b* alcanzará el peso de la planta *a*. La razón es que el incremento de peso en una semana de la planta *a* fue de solo 10 % mientras que la planta *b* duplicó su peso en el mismo lapso. Por lo tanto, es importante tener en cuenta el peso inicial de la planta al momento de hacer observaciones de crecimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN): Índice importante de la capacidad fotosintética del aparato asimilador. La TAN se define como la producción de materia seca por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo, lo que se puede expresar como g/m²/día. La TAN no mide la fotosíntesis real, sino la eficiencia neta en la producción de materia seca por fotosíntesis, menos la pérdida de asimilados en los procesos de respiración. La TAN es una medida directa de la eficiencia productiva de la planta (Hunt, 1982) y tiene un valor alto cuando la planta es pequeña y la mayoría de sus hojas están expuestas a la luz solar. A medida que la planta crece y se incrementa el IAF, aumentan también las hojas que se sombrean, lo que disminuye el valor de la TAN. La tabla 18 muestra los índices fisiológicos y el modo como deben calcularse.



Tabla 18. Índices fisiológicos de crecimiento y sus fórmulas

Índice de crecimiento	Fórmula para su cálculo*	Unidades
Tasa de crecimiento absoluto	$TCA = msf - msi / tf - ti$	kgMS**/día
Tasa de crecimiento relativo	$TCR = \ln msf - \ln msi / tf - ti$	g/kgMS/ha/día
Tasa de asimilación neta	$TAN = (msf - msi / tf - ti) \times (\ln aff - \ln afi / aff - afi)$	kgMS/m ² de área foliar/día
Índice de área foliar	$IAF = \sum af / as$	

* Donde: *msf* = masa seca final; *msi* = masa seca inicial; *tf* = tiempo final (días); *ti* = tiempo inicial (días); *ln msf* = logaritmo natural de masa seca final; *ln msi* = logaritmo natural de masa seca inicial; *aff* = área foliar final; *afi* = área foliar inicial; *ln aff* = logaritmo natural de área foliar final; *ln afi* = logaritmo natural de área foliar inicial; *af* = área foliar; *as* = área de suelo.

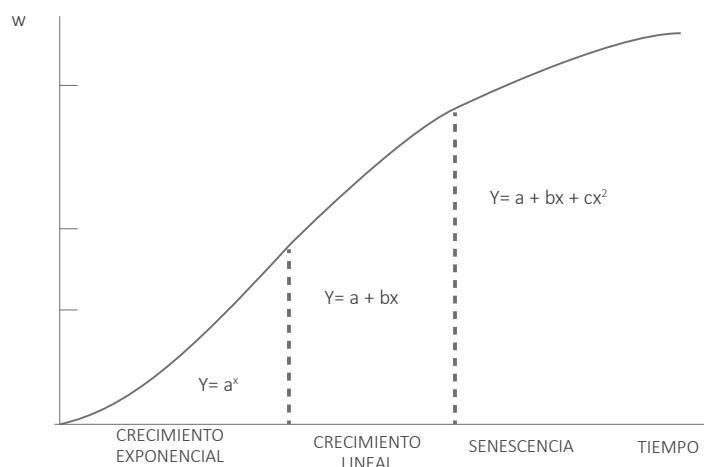
** Kilogramo de materia seca.

Fuente: Elaboración propia

Curva de crecimiento de los pastos

Las plantas capturan energía solar con sus hojas verdes por medio de la fotosíntesis. La energía es convertida en carbohidratos para su crecimiento o almacenada para uso posterior. Para seleccionar nuevos materiales forrajeros y disponer de información sobre crecimiento de los pastos ya liberados o usados por los ganaderos, es importante conocer el crecimiento de cada material y su capacidad de producción de biomasa. En general el crecimiento de las plantas presenta un comportamiento que se puede representar mediante una curva sigmoideal (Montaldi, 1995).

En esta curva se aprecian tres fases con diferentes velocidades de crecimiento: fase exponencial, fase lineal y fase de senescencia (figura 22).



◀ **Figura 22.** Curva de crecimiento de plantas en sus tres fases (W: peso seco).

Fuente: Hunt (1982)



Fase exponencial

En esta fase la velocidad de crecimiento es lenta al comienzo, pero posteriormente aumenta de forma exponencial por el mayor número de células con capacidad de crecimiento. Durante esta fase predomina la división celular y hay aumento de peso en las primeras etapas de crecimiento (Lallana & Lallana, 2004).

Los pastos que entran en descanso después del pastoreo tienen pocas hojas y menor capacidad de realizar fotosíntesis. Las plantas tienen un crecimiento lento y deben utilizar parte de los carbohidratos almacenados en sitios de reserva como tallos, coronas, raíces, rizomas.

La curva de crecimiento de un pasto después de ser sometido a pastoreo (periodo de descanso) indica una lenta producción inicial de nuevos tallos y hojas. Las plantas utilizan los azúcares almacenados en la base de los tallos y en las raíces, pues no tienen la cantidad suficiente de hojas para realizar fotosíntesis y producir biomasa. Esta etapa tiene lugar en los primeros diez días después del corte o pastoreo y en ella los nuevos tallos y hojas se desarrollan a partir de los puntos meristemáticos que no fueron cortados o consumidos por el animal.

Fase lineal

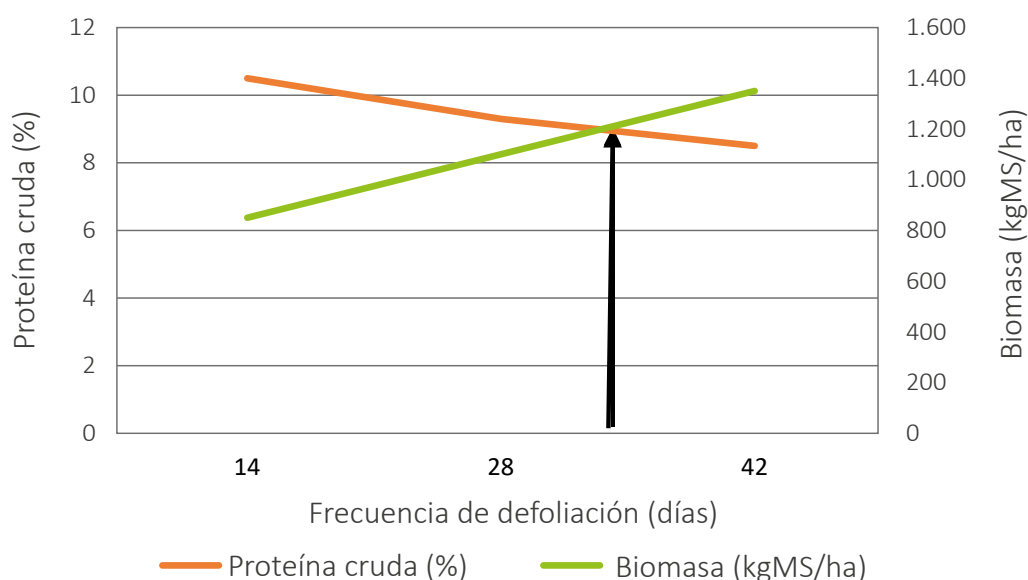
En la segunda fase, periodos iguales de tiempo corresponden a los mismos incrementos de crecimiento, es decir, el incremento de peso seco es constante durante esta fase. Las plantas tienen más hojas y su crecimiento es rápido. Su fotosíntesis es mayor, lo cual les permite almacenar carbohidratos y aumentar en longitud, volumen y peso.

En esta fase se puede ver la mayor recuperación del potrero. La fotosíntesis de la planta es mayor a la respiración y por tanto existe una alta acumulación de materia seca de buen valor nutricional. Al finalizar esta fase, los pastos ya han producido una adecuada área foliar y es el momento óptimo para que el forraje sea aprovechado por los animales, momento que dura de 25 a 35 días.



La calidad nutricional del forraje disminuye a medida que la edad del pasto aumenta. Hay más cantidad de tallos, la proporción de pared celular se incrementa y la concentración de proteína cruda disminuye. Para cada forraje es necesario establecer la relación entre calidad y cantidad y determinar el momento óptimo de consumo por parte de los animales. En condiciones normales de manejo, un pasto de trópico bajo como *Urochloa decumbens* tiene una concentración de proteína cruda superior a 10 % en los primeros quince días de crecimiento, pero su disponibilidad de forraje es menor de 900 kgMS/ha (figura 23). A esta edad, el pasto no ofrece suficiente cantidad de forraje, razón por la cual es importante determinar el punto óptimo en el que se obtiene buena cantidad de forraje de alta calidad. En el ejemplo de la figura 23, ese punto se da entre los 25 y 30 días de descanso.

Esta relación entre cantidad y calidad de forraje debe determinarse para cada región y en algunos casos para cada finca, ya que esto depende en gran medida del manejo y de la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un pasto en un suelo de buena fertilidad puede ser pastoreado después de 21 días de descanso e igual situación se puede presentar cuando se aplica fertilización con énfasis en nitrógeno. En suelos de menor fertilidad o sin fertilización, el periodo de descanso puede ampliarse a 30 o 35 días.



▲ **Figura 23.** Producción de forraje y contenido de proteína cruda en *U. decumbens* bajo tres frecuencias de defoliación, en Piedemonte Llanero.

Fuente: Rincón (2010)



Fase de senescencia

El crecimiento vegetativo de la planta se detiene en esta fase y la fotosíntesis disminuye debido al sombreado de las hojas superiores; además, la energía capturada se utiliza para la floración y formación de semillas. Esta etapa comienza cuando la yema apical se transforma puesto que deja de emitir hojas para construir en su lugar una inflorescencia. Las demás yemas quedan latentes y hay movimiento de nutrientes de las partes bajas hacia las estructuras florales. La calidad nutritiva de las partes vegetativas baja considerablemente. La cantidad de materia seca puede disminuir por secamiento y caída de hojas.

Un buen manejo de las praderas requiere un equilibrio entre producción y calidad nutricional del forraje mediante la aplicación de los principios de crecimiento de las plantas. El mejor momento para iniciar el pastoreo es inmediatamente después del crecimiento rápido y antes de la maduración o de la floración y producción de semillas. Con esto se obtiene alta producción y calidad nutricional del forraje. En pastos tropicales como los del género *Urochloa*, la producción de semilla está condicionada a efectos climáticos como la precipitación y el fotoperiodo (por ejemplo, en la Orinoquia colombiana el pasto llanero solo produce semilla en el mes de julio). Por lo tanto, la fase de senescencia de los pastos no se puede considerar una etapa de desarrollo reproductivo, excepto si esta senescencia coincide con los meses en que los pastos producen semilla. En la mayoría de pastos tropicales, la fase de senescencia, que ocurre después de 40 días, es una etapa de sobremaduración, acumulación de pared celular y disminución del contenido de proteína.

Toma de datos para el análisis de crecimiento

Los métodos destructivos para evaluar el crecimiento vegetal son sencillos en términos de equipos y habilidad técnica requerida. Sin embargo, demandan una gran cantidad de mano de obra para procesar las muestras. Sus mayores desventajas son los errores de muestreo derivados de la cosecha de pocas plantas y de plantas diferentes en cada fecha de muestreo. En vista de las variaciones naturales del crecimiento de las plantas es necesario usar un número grande de muestras para garantizar representatividad de la población.



El investigador debe decidir durante la planificación del análisis de crecimiento por cuál de estos dos posibles enfoques optará:

Enfoque 1. Análisis de crecimiento clásico: Consiste en tomar pocas muestras durante la vida de la planta, pero cada una de ellas con muchas repeticiones. Este enfoque es más adecuado cuando el propósito principal de la investigación no es la descripción del crecimiento de la planta, sino la comparación del efecto de tratamientos sobre el crecimiento.

Enfoque 2. Análisis funcional de crecimiento: El número de repeticiones por cada muestreo es bajo, pero la frecuencia es alta. Este enfoque se aplica cuando el interés principal es describir el crecimiento de la planta.

Para nuestro propósito tendremos en cuenta el análisis funcional de crecimiento.

Unidad de muestreo

En plantas de crecimiento erecto (por ejemplo, pasto Toledo, Megathyrsus maximus): Se evalúa una planta o macolla con mínimo tres repeticiones.

En plantas de crecimiento postrado (U. humidicola, pastos Llanero y Estrella): Se evalúa un área de marco de 0,5 × 0,5 m (0,25 m²) con mínimo tres repeticiones.

Evaluaciones que se realizan

🌱 *Altura de la planta (cm).*

🌱 *Producción de forraje verde (kg por planta o por área, según tipo de crecimiento del pasto):* En el forraje verde cosechado se separan hojas, tallo y material muerto. En caso de evaluar área foliar, y si el sitio de muestreo está lejano de la zona donde se encuentra el equipo de medición, es necesario transportar el forraje en medio refrigerado para evitar deshidratación y entorchado de las hojas, lo cual dificulta pasarlas por el equipo.



- ✻ *Producción de forraje seco:* Para obtener información de materia seca del forraje, se toma una submuestra de 200 g aproximadamente de tres repeticiones (hojas y tallos) y se seca en estufa a una temperatura de 70 °C durante tres días.
- ✻ *Concentración de proteína, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido y digestibilidad mediante tecnología NIRS:* Esta información se toma del forraje seco con el fin de determinar cómo evoluciona la calidad del forraje con el paso del tiempo. Estas evaluaciones se llevan a cabo cuando la planta tiene una edad de 21 a 35 días. Con la información sobre producción de biomasa y calidad del forraje se puede determinar la época óptima de pastoreo o aprovechamiento del forraje por parte de los animales.
- ✻ *Área foliar:* Para obtener esta información, es necesario contar con un equipo medidor de área foliar o planímetro. El área foliar se mide en las hojas después de separarlas de los tallos verdes. Si no se dispone de equipo para esta evaluación, es importante contar con información sobre producción de materia seca y calidad para determinar el manejo bajo pastoreo.
- ✻ *Frecuencia de muestreo:* Para determinar la curva de crecimiento del pasto después del pastoreo o corte de uniformización, la frecuencia de muestreo debe ser de cada siete días. Las evaluaciones se llevan a cabo a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días. Para determinar épocas adecuadas de descanso de los potreros e inicio de pastoreo, las evaluaciones en praderas que se encuentren bajo pastoreo se pueden llevar a cabo durante el periodo de descanso, a los 14, 21, 28 y 35 días. Es posible que en algunas regiones sea necesario hacer otra evaluación a los 42 días, y si la zona tiene mejor fertilidad, posiblemente sea suficiente hasta los 28 días. Con la información obtenida se pueden calcular las tasas de crecimiento en las fases de crecimiento exponencial y crecimiento lineal, pero no la curva de crecimiento del pasto.
- ✻ *Número de repeticiones:* Al menos tres.



Altura de corte o pastoreo

En la tabla 19, se presentan rangos de periodos de descanso y alturas de corte o pastoreo para algunos de los pastos más usados por los ganaderos. La tabla sirve para orientar el manejo del pastoreo y se puede ajustar de acuerdo con la región.

Tabla 19. Periodos de descanso y alturas de pastoreo recomendados para algunos pastos

Pasto	Periodo de descanso (días)	Altura de pastoreo (cm)
<i>Decumbens</i>	30-42	20-25
Toledo, Mombasa	21-35	25-30
Mulato II	21-42	25-30
Llanero, Dulce	21-35	15-20

Fuente: Rincón (2011)

Se pueden hacer experimentos sencillos de corte de cada pasto de mínimo tres repeticiones para ajustar la altura de corte o pastoreo.

Ejemplo de evaluación de altura de corte en pasto Megathyrsus maximus: Las alturas a ras de suelo para evaluar son de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm. Los tratamientos de corte se hacen preferiblemente con guadaña manual en un mismo momento, y la producción de biomasa, altura y cobertura se evalúan a los 30 días de practicado el corte. Para determinar persistencia de las especies bajo estas alturas, se repiten los cortes mínimo tres veces en cada sitio.

Referencias

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2000). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Mac Graw-Hill Interamericana; Ediciones Universidad de Barcelona. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=Joaquin+azcon-Bieto+y+manuel+Talon
- Courtis, A. (2014). *Guía de estudio: crecimiento y desarrollo*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). <http://docplayer.es/17138043-Crecimiento-y-desarrollo.html>



- Duarte, M. J., Alexandrino, E., & Comide, J. A. (2005). Duração do período de descanso e crescimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente. *R. Bras. Zootec.* 34(2), 398-405. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000200006>
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold.
- Jarma, A. O., Buitrago, C., & Gutiérrez, S. (1994). Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista Comalfi*, 26(1-3), 62-67.
- Lallana, V., & Lallana, M. (2004). *Unidad temática: crecimiento: cátedra de fisiología vegetal*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Montaldi, E. R. (1995). *Principios de fisiología vegetal*. Ediciones Sur.
- Paterson, H. E. H. (1985). The recognition concept of species. In E. S. Vrba (Ed.), *Transvaal Museum monograph n.º 4* (pp. 21-29).
- Pérez, J. A., García, E., Enríquez, J. F., Quero, A. R., Pérez, J., & Hernández, A. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria* híbrido cv.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(3), 447-458. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fisiologia/Art_Analss_Crecimiento.pdf
- Rincón, Á. (2010). Manejo de praderas bajo pastoreo. En A. Rincón & C. Jaramillo (Eds.), *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos* (pp. 113-140). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12703>
- Rincón, Á. (2011). Efecto de alturas de corte sobre la producción de forraje de *Brachiaria* sp. en el piedemonte llanero de Colombia. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 107-112. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945031003.pdf>
- Rincón, Á., Ligarreto, G., & Sanjuanelo, D. (2007). Crecimiento del maíz y los pastos (*Urochloa* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 264-272. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180320296008.pdf>









Capítulo IV

Metodologías para la evaluación de biomasa forrajera de especies leñosas en zonas cálidas

Nelson Pérez Almario,
Óscar Eduardo Orjuela,
Christian Thomas Carvajal,
Dagoberto Criollo Cruz (Centro de Investigación Nataima)

Existen características que pueden ser utilizadas como indicadores del potencial forrajero de las especies leñosas. De este modo, es posible evidenciar que en diferentes zonas hay gran variedad de árboles y arbustos dispersos en potreros y cercas vivas, que nacen por regeneración natural, generalmente en suelos muy compactados, y en ocasiones con pedregosidad elevada (Pérez-Almario et al., 2021). Estas especies son rústicas, de fácil propagación y establecimiento (Benavides 1994). Muchas de ellas necesitan baja cantidad de agua para su supervivencia, con lo cual generan alta producción de forraje y tolerancia a periodos secos (Pérez-Almario et al., 2013). Varias de estas especies nativas llegan a producir más forraje que las especies introducidas más utilizadas en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en Colombia, como *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera* (Pérez-Almario et al., 2017).

Es de suma importancia señalar que muchas de estas especies leñosas con potencial forrajero presentan un contenido nutricional alto. Con base en lo anterior, se clasifican en las siguientes cuatro categorías según selectividad y nivel de palatabilidad: 1) especies altamente seleccionadas y muy palatables, lo cual se evidencia en su contribución a la dieta; 2) especies medianamente apetecibles; 3) especies neutras que dan volumen a la dieta con mayor aporte proporcional; 4) especies rechazadas, consumidas en periodos críticos por escasez de alimento o por baja calidad de este, que se consumen mezcladas con especies más palatables (Velázquez, 2005).

Algunas de estas especies tienen compuestos que generan alta digestibilidad, lo que podría indicar un excelente nivel de degradación y asimilación de nutrientes en el rumen de los bovinos (Pérez-Almario et al., 2013). También es posible que algunos compuestos sean elementos bioactivos que reduzcan la presencia de moscas y garrapatas (Quansah & Makkar, 2012). Por otro lado, se debe tener en cuenta la concentración de algunos metabolitos secundarios, como los taninos condensados, ya que se ha reportado que niveles mayores de 6 % en la dieta pueden afectar el consumo de alimento y la producción (Wentzel & Alonso, 2020).

Pese a su potencial forrajero, es importante tener en cuenta las condiciones mínimas que necesita toda especie vegetal para lograr su crecimiento: luz solar, disponibilidad de agua, nutrientes que ofrece el suelo, temperatura y humedad relativa. Adicionalmente, el manejo de las especies, particularmente en etapas tempranas de desarrollo, es un factor crucial para un



establecimiento exitoso. En este sentido, se debe brindar protección a las plantas hasta que estas alcancen un desarrollo que tolere el ramoneo de los animales, así como definir densidades de siembra adecuadas (individuos por hectárea) que permitan el óptimo desarrollo de las interacciones positivas complementarias con los otros componentes del sistema silvopastoril (pastos, animales, suelo, variables ambientales) (Pérez-Almario et al., 2017).

El uso y localización de diferentes especies forrajeras debería basarse en el concepto de adaptación fisiológica y/o morfológica. Lo ideal es seleccionar las especies forrajeras según su capacidad de sobrevivir a eventos de déficit o exceso de factores ambientales como el recurso hídrico (Arce et al., 2013).

El objetivo de las metodologías expuestas en este capítulo es evaluar y seleccionar especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero que por su adaptación a las condiciones de clima y manejo demuestren atributos relacionados con tolerancia, alta producción y calidad forrajera, para ser incluidas en sistemas de alimentación de bovinos.

Recolección y tratamiento de semillas

Obtención de semillas: Las semillas de especies leñosas con potencial forrajero deben recolectarse de árboles maduros. Se recomienda que los individuos seleccionados como fuente semillera estén localizados en potreros y cercas vivas de la zona de interés, ya que pueden tener mejores características de adaptación a las condiciones de rusticidad del lugar. Existen alternativas para la multiplicación de las especies leñosas basadas en técnicas de propagación vegetativa (por ejemplo, enraizamiento de estacas o esquejes), lo cual implica conocer el tipo de crecimiento, desarrollo y morfología de la especie que se quiere propagar (Caso, 1992). Sin embargo, se requiere profundizar en esta área de investigación para determinar porcentajes de enraizamiento y calidad de raíces formadas en especies leñosas de importancia en ganadería.

Tratamiento de semilla: Se recomienda que las semillas recolectadas sean tratadas con fungicidas para su almacenamiento, para evitar que aparezcan hongos o agentes patógenos que puedan afectar la calidad. Debido a que cada especie arbórea o arbustiva posee semillas con características particulares de textura,



durezay tamaño, es necesario evaluar y determinar el tratamiento pregerminativo más adecuado para obtener el mayor porcentaje de germinación de plántulas. En la tabla 20 se describen algunos tratamientos aplicados a especies leñosas forrajeras empleadas en sistemas silvopastoriles (ssp).

Tabla 20. Tratamiento pregerminativo de las semillas de especies leñosas forrajeras

Especie	Nombre común	Tratamiento	Germinación (%)	Peso 100 semillas (g)
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucaena	Choque térmico de 2 a 3 minutos en agua a punto de ebullición	90	5,38
		Escarificación con ácido sulfúrico	80	
		Hidratación de 24 horas	40	
<i>Gliricidia sepium</i>	Matarratón	Hidratación de 24 horas	80	10,49
		Hidratación de 12 horas	60	
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	Limpieza con agua fría hasta eliminar el mucílago. Choque térmico de 2 minutos	90	0,47
		Hidratación de 24 horas	20	
<i>Erythrina fusca</i>	Erytrina/cachingo	Hidratación de 24 horas	80	45,06
<i>Cordia alba</i>	Gomo/uvito	Hidratación de 12 horas previa eliminación del mucílago con abundante agua	80	9,25
<i>Bauhinia variegata</i>	Patevaca	Hidratación de 12 horas	80	8,13
		Hidratación de 24 horas	50	
<i>Pithecellobium dulce</i>	Payandé	Escarificación con ácido sulfúrico	80	7,91
		Hidratación de 24 horas	80	
<i>Albizia guachapele</i>	Iguá	Hidratación de 24 horas	60	3,97
		Lijado de testa, choque térmico de 2 minutos	80	
<i>Albizia niopoides</i>	Albizia/bayo	Hidratación de 12 horas	60	2,09
		Hidratación de 24 horas	50	
		Lijado de testa, choque térmico de 2 minutos	70	
<i>Clitoria fairchildiana</i>	Bohío	Hidratación de 6 horas	60	25,79
		Hidratación de 12 horas	80	
		Hidratación de 24 horas	70	
<i>Calliandra riparia</i>	Carbonero	Escarificación con ácido sulfúrico	80	8,60

Fuente: Elaboración propia



Etapa de vivero

Durante esta etapa se producen y maduran las plantas requeridas para el posterior establecimiento de las parcelas experimentales. Se recomienda producir las plantas en bolsas plásticas negras calibre 4 (de 12 cm de diámetro y 30 cm de altura). El sustrato se compone de una mezcla de 30 % de arena o cascarilla, 60 % de tierra negra de buena calidad y 10 % de relleno de materia orgánica.

Se considera que cuando las plántulas alcanzan una altura superior a 30 cm (por encima de la bolsa) o un diámetro de tallo de 0,8 a 1,3 cm, finaliza su etapa de vivero y por tanto deben ser llevadas a campo. Después de esta fase, se recomienda eliminar gradualmente la sombra en el vivero y dar paso a la entrada de mayor proporción de luz solar, para acelerar el endurecimiento de tejidos fibrosos y aumentar así la tolerancia de la plántula (figura 24). Este endurecimiento es el que permite a la plántula resistir daños mecánicos por efecto del viento, estrés por déficit hídrico, calor u otras circunstancias que se presentan en campo.



Fotos: Nelson Pérez Almarío

▲ **Figura 24.** Multiplicación de material vegetal a nivel de vivero. a. Germinación; b. Fase de crecimiento.



Establecimiento de parcelas para la evaluación agronómica de materiales forrajeros

Las evaluaciones experimentales en especies arbóreas requieren mayor área debido a sus características estructurales y de crecimiento. Por lo anterior, se propone una estructura experimental con la mínima cantidad de individuos para medición, que incluya el efecto de borde en los extremos (este efecto se crea con un cultivo transitorio o con una segunda especie).

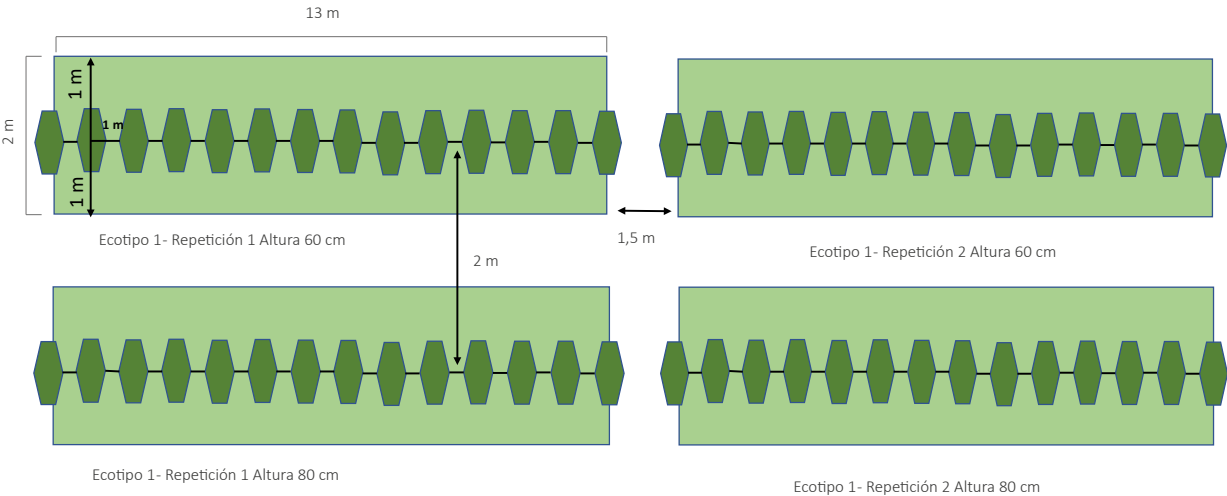
Diseño experimental

Para todos los materiales, accesiones o especies, se recomienda utilizar diseños experimentales de bloques completos al azar (DBCA) con mínimo tres repeticiones si se identifica el factor de bloque, o en caso contrario usar diseños completamente aleatorizados (DCA). Los tratamientos incluyen cortes de 60 y 80 cm de altura contando desde el suelo y frecuencias de corte o cosecha de rebrotes de 35, 42 y 49 días contados a partir de las fechas de homogeneización.

Debido a la morfología de las especies leñosas forrajeras (arbustivas/arbóreas), se requieren parcelas de mayor tamaño que las utilizadas con especies de gramíneas. En parcelas experimentales se recomiendan dimensiones de 13 m de largo $\times$ 2 m de ancho para un área de 26 m². Cada parcela está compuesta por un surco de catorce plantas, con distancias de un metro una de la otra y un metro entre el surco y los bordes de la parcela (figura 25). La distancia entre los surcos de las repeticiones debe ser de 1,5 m y de 2 m entre calles (tabla 21).

Para eliminar el efecto de borde lateral, se recomienda disponer los experimentos en surcos paralelos. De esta manera cada experimento cumple la función de borde para los experimentos establecidos a sus costados. De lo contrario se deben establecer surcos adicionales en cada parcela experimental o surcos con cultivos transitorios entre parcelas.





Nota: Si las evaluaciones agronómicas incluyen variables de tipo genético para hacer cruzamiento, se recomienda elaborar un diseño en el que las parcelas de evaluación conserven una distancia lo suficientemente amplia para evitar la polinización cruzada.

▲ **Figura 25.** Diseño de parcelas experimentales y distancias de siembra para el establecimiento de especies leñosas forrajeras.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Aspectos para tener en cuenta en el establecimiento de experimentos de evaluación agronómica de materiales forrajeros en pequeñas parcelas

Concepto	Unidad	Leñosas forrajeras
Diseño experimental	-	DBCA o DCA
Tratamiento	-	Altura de corte o cosecha Frecuencia de corte o cosecha
Repeticiones	N.º	3 a 4
Área de cada parcela	m²	26
Largo × ancho	m	13 × 2
Distancia entre plantas	m	1
Surcos por parcela	N.º	2
Plantas por parcela	N.º	14
Distancia entre repeticiones	m	1,5
Distancia entre surcos	m	2

Fuente: Elaboración propia



Evaluación agronómica de materiales forrajeros

A continuación se exponen las metodologías para medir periódicamente variables cuantitativas y cualitativas en la fase de vivero y en la experimental en campo.

En fase de vivero

En la etapa de germinación es posible evaluar el porcentaje de emergencia de semillas sembradas. Esta evaluación se lleva a cabo 20 y 30 días después de la siembra (tabla 22).

Tabla 22. Parámetros que se evalúan en la fase de vivero para especies arbóreas y arbustivas

Parámetro por medir	Momento de evaluación
Germinación (%)	20 y 30 días después de la siembra
Altura de planta (cm)	60, 75 y 90 días después de la germinación

Fuente: Elaboración propia

En fase de establecimiento

Una vez establecidas las plantas en campo, es necesario realizar medidas periódicas con el fin de determinar el momento adecuado para iniciar el proceso de homogeneizar las plantas, de modo que las parcelas de evaluación queden a 60 y 80 cm de altura (tabla 23).

Tabla 23. Parámetros que se evalúan en la fase de establecimiento de las especies arbóreas y arbustivas

Parámetro	Momento de evaluación	Procedimiento
Supervivencia (%)	20 y 30 días después de la siembra	Número de plantas vivas dividido por número total de plantas sembradas.
Altura de crecimiento	Mensual	Medir cada planta desde el suelo hasta la punta de la copa.
Diámetro basal	Mensual	Tomar medida del tallo central a 20 cm del suelo con cinta diamétrica.

Fuente: Elaboración propia



El experimento se considera establecido cuando la planta alcanza de 1,8 a 2,0 m de altura y/o un diámetro de tallo de 2 cm, lo cual se puede alcanzar a los 120 días de la siembra (el tiempo varía según la especie evaluada) (figura 26).



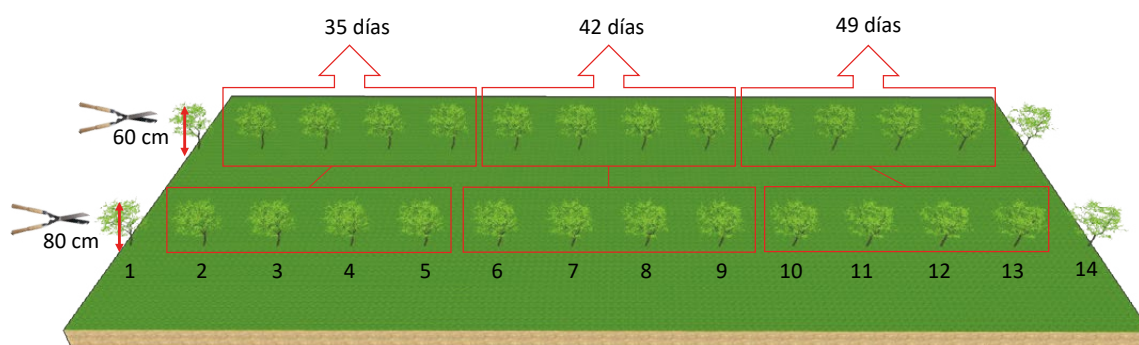
Foto: Nelson Pérez Almarío

▲ **Figura 26.** Medición del diámetro basal.

En fase de producción

Después de que las plantas alcanzan el diámetro y/o altura recomendada, se procede a practicarles el corte de uniformización (parcelas a 60 y 80 cm de altura) (figura 27), dejando una planta al inicio y otra al final del surco en cada parcela para eliminar el efecto de borde. Todas las plantas tendrán el mismo manejo de homogeneización para las alturas definidas. La medición de producción de forraje se lleva a cabo 35, 42 y 49 días después del corte de uniformización (esto último se hace en la época seca y de lluvias). Las plantas seleccionadas para evaluación de los tratamientos (altura y frecuencia de cosecha) se marcan de tal modo que se puedan indentificar y diferenciar al momento de la medición.





▲ **Figura 27.** Distribución de altura y frecuencias de corte o cosecha para la evaluación en una repetición (altura en cm y días de corte).

Fuente: Elaboración propia

Mediciones para la producción de biomasa forrajera

- ✎ Muestrear los individuos por especie de acuerdo con alturas de 60 y 80 cm, según la frecuencia de corte o cosecha (35, 42 y 49 días) de los rebrotes.
- ✎ Contar todos los rebrotes o ramas en los individuos de la medición correspondiente.
- ✎ Tomar tres rebrotes o ramas al azar de un individuo por cada altura de corte y frecuencia de cosecha para medir el diámetro basal, medial y apical (figura 28).



Fotos: Óscar Orjuela y Christian Thomas Carvajal

▲ **Figura 28.** Modelos de diámetro de ramas para practicar corte (0,5 a 0,8 mm). a. *Calliandra riparia*; b. *Albizia guachapele*.



- Realizar el corte total de ramas que a la fecha de medición ha generado cada uno de los individuos (figuras 29a, 29b).



Fotos: Nelson Pérez Almarío

▲ **Figura 29.** Cosecha y evaluación de la producción de biomasa en árboles y arbustos. a. Cosecha en la especie *Tithonia diversifolia*; b. Cosecha en la especie *Cordia alba*.

- Todas las ramas cosechadas se deshojan para obtener la biomasa por separado de hojas y tallos (se deben pesar los tallos o puntas de las ramas menores de 1 cm de diámetro, que se consideran forraje comestible).
- Una vez cuantificada la biomasa total se procede a calcular la materia seca, para lo cual se toma una porción de forraje verde, incluidos tallos con diámetro menor de 1 cm (300 g de hojas y tallos). Esta muestra se lleva a laboratorio para realizar el secado en horno a temperatura de 60 °C durante 48 o 72 horas hasta obtener un peso constante de material seco. Es importante tener en cuenta que, para la evaluación de elementos fitoquímicos, la temperatura no debe superar los 40 °C. Las variables se medirán en tres periodos o cosechas a los 35, 42 y 49 días (tabla 24).

Tabla 24. Parámetros para evaluar en fase de producción de arbóreas/arbustivas

Parámetro por medir	Momento de evaluación
Producción de biomasa	35, 42 y 49 días
Materia seca (%)	35, 42 y 49 días
Diámetro basal	35, 42 y 49 días
Longitud de ramas	35, 42 y 49 días

Fuente: Elaboración propia



Toda la información colectada se consigna en el formato de registro de cosecha de biomasa (anexo 1). Para determinar si las plantas se pueden establecer en un sistema silvopastoril, se deben evaluar sus rasgos funcionales, es decir, sus atributos de respuesta con influencia significativa en el establecimiento, la supervivencia y la capacidad de expresión de las plantas (Reich et al. 2003; Pérez-Almario et al., 2013, 2017). Este tipo de evaluación permite encontrar diferencias en la función de las plantas y predecir sus respuestas a diferentes disturbios y gradientes ambientales (Lavorel & Garnier, 2002; Westoby et al. 2002). En este sentido, se consideran importantes las leñosas con potencial forrajero, entre las cuales se destacan las integrantes de la familia Leguminosae. Otras leñosas forrajeras de importancia pertenecen a los géneros *Acacia*, *Albizia*, *Cassia*, *Cordia*, *Enterolobium*, *Erythrina*, *Gliricidia*, *Guazuma*, *Leucaena*, *Moringa*, *Pithecellobium* y *Spondias*.

Los rasgos funcionales más relevantes para determinar si una especie leñosa tiene cualidades aptas para un SSP son las siguientes:

Densidad de madera: Indica la estabilidad, defensa, arquitectura, ingeniería hidráulica, aumento de carbono y potencial crecimiento de las plantas. Existe un método para la obtención de trozos, núcleos o muestras de madera mediante barreno, cuyo protocolo ha sido ajustado por AGROSAVIA (anexo 2).

Área foliar específica: Relación entre el área de la hoja y su peso. Su medición permite conocer y predecir el comportamiento de las especies en los niveles individual y ecosistémico. Es importante indicar que este rasgo o atributo influye en la productividad primaria de los ecosistemas. Este es un protocolo ajustado por AGROSAVIA (anexo 3).

Pruebas de palatabilidad relativa o preferencia

La diversidad de especies leñosas en una pradera ofrece diferentes matices alimenticios representados en sabores, olores, tonos, contenidos nutricionales, tamaños y durezas de hojas, que inducen diferencias en la palatabilidad de las especies forrajeras (Pérez-Almario, 2011; Pérez-Almario et al., 2012).



Para identificar características de palatabilidad en los forrajes se han llevado a cabo pruebas de consumo con diferentes métodos de cafetería y observación del comportamiento de los animales, o pruebas de selectividad y palatabilidad en pastoreo, especialmente con herbívoros no domésticos, pequeños rumiantes y bovinos. Sin embargo, son pocas las pruebas desarrolladas en condiciones controladas en las que se prueben diferentes especies forrajeras disponibles para consumo *ad libitum* en las praderas, o diseñadas como pruebas de cafetería para medir consumo de las especies leñosas en experimentos controlados (Pérez-Almario et al., 2013).

La presente sección se propone aplicar la metodología diseñada por Pérez-Almario et al. (2011, 2012), denominada “pruebas de palatabilidad por consumo en tiempo real”. Esta metodología usa pruebas de cafetería con leñosas forrajeras combinadas o pareadas con tiempos controlados para determinar el orden y grado de palatabilidad en bovinos para forraje de las especies evaluadas, y permite obtener abundante información en periodos muy cortos.

Las pruebas de palatabilidad o preferencia deben hacerse después de las evaluaciones agronómicas y en lo posible para las especies preseleccionadas en una segunda fase previa a la selección, liberación y recomendación de especies arbóreas y/o arbustivas. En estos casos, se aumenta la densidad de individuos por especie para tener una buena disponibilidad de forraje que garantice el desarrollo de las pruebas. La descripción y detalles se mencionan a continuación:

Aspectos para tener en cuenta en el desarrollo de las pruebas de palatabilidad o preferencia

-  *Infraestructura:* Corrales con brete.
-  *Selección de animales:* Buscar animales dóciles con la mayor homogeneidad posible (sexo, edad, peso, estado fisiológico, etc.).
-  *Un animal adulto come hasta 1 kg de forraje en tres minutos.*
-  *Recolección de forraje:* Para garantizar homogeneidad en el forraje recolectado se aplican criterios de selección como los siguientes: si el material procede de individuos encontrados en la misma finca o fuera de



ella, se buscan y seleccionan árboles sanos, con edad, altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) similares; si procede de individuos establecidos en bancos forrajeros, se considera de igual forma la homogeneidad de los individuos para la selección.

 *Acostumbramiento de los animales:* Mínimo tres días y máximo ocho antes de la prueba, se suministra en horas de la mañana forraje verde y fresco de las especies que van a integrar las pruebas, con el fin de acostumbrar a los animales a la presencia, olor y forma de suministro de forraje.

Diseño para la combinación de leñosas en la prueba de palatabilidad

 Para esta metodología, en una prueba corta o un evento de tres minutos se utilizan dos especies, cuya combinación se dispone en atados de 1 kg de forraje verde, según lo recomendado por Pérez-Almario (2011), y se asignan n combinaciones por animal, aplicadas durante n días (en esta metodología, la duración en días de esta prueba de cafetería es igual a $n-1$ especies). Durante la prueba de tres minutos, cada combinación de forraje de las dos especies se suministra a un animal. La tabla 25 presenta un ejemplo de combinación para prueba de palatabilidad por consumo para diez especies.

Tabla 25. Combinaciones por animal para prueba de palatabilidad

Especie (Sp*)	Sp 1	Sp 2	Sp 3	Sp 4	Sp 5	Sp 6	Sp 7	Sp 8	Sp 9	Sp 10	Combinación
Sp 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9		9
Sp 2		10	11	12	13	14	15	16	17		8
Sp 3			18	19	20	21	22	23	24		7
Sp 4				25	26	27	28	29	30		6
Sp 5					31	32	33	34	35		5
Sp 6						36	37	38	39		4
Sp 7							40	41	42		3
Sp 8								43	44		2
Sp 9									45		1
Sp 10											-
Total											45

*Sp: Especie.

Fuente: Pérez-Almario (2011)



Diseño de aleatorización de leñosas para la prueba de palatabilidad

Las especies son ofrecidas a los animales por “pares o combinaciones de dos especies”, lo cual es calculado mediante un método estadístico denominado “combinatoria sin repetición”, descrito en la fórmula nC_r , donde n significa el número de especies del experimento, C es la combinatoria y r , las repeticiones.

Por ejemplo, si se toman 10 especies para el experimento con dos repeticiones aplicadas en cinco animales, se tiene $10C_2 = 90$ combinaciones o pares por animal, es decir, un total de 450 pares para los cinco animales.

Las combinaciones son aleatorizadas mediante Excel de Microsoft tal como lo describe Pérez-Almario (2011). Con este diseño metodológico se determina la palatabilidad del forraje de las especies arbóreas antes de iniciar otros experimentos de mayor complejidad. Los datos de la tabla 26 contienen un ejemplo de cómo ordenar las combinaciones de manera ascendente de uno a 45. Las combinaciones reciben un número aleatorio dado por el programa Excel que corresponde a una de las 45 posibles combinaciones. Este número se ubica en un día determinado también de manera aleatoria.

Tabla 26. Combinaciones aleatorizadas de las especies para la prueba de palatabilidad

Día	Combinaciones sin repetición, por especies					Animales	# de combinaciones
1	41	36	42	23	6	5	25
2	1	20	35	32	44	5	25
3	37	19	7	25	13	5	25
4	18	26	21	16	45	5	25
5	43	5	29	40	12	5	25
6	11	15	3	38	31	5	25
7	24	34	10	39	33	5	25
8	2	30	28	17	8	5	25
9	14	9	22	27	4	5	25

Fuente: Pérez-Almario (2011)



Desarrollo de la prueba de palatabilidad

1. Recolectar forraje diariamente (6:00 a 8:00 a. m.) de ramas delgadas con diámetro de hasta 1,0 cm de diferentes individuos seleccionados de cada especie leñosa (DAP y alturas similares).
2. Pesar en una balanza de precisión (error de 0,001) 1 kg de forraje verde fresco de cada especie leñosa.
3. Tomar una muestra de forraje verde de 300 g de cada especie ofrecida en la combinación y empacarla en bolsa de papel *kraft* debidamente rotulada para obtener el peso seco, después de someter la muestra a una temperatura de 60 °C por 48 a 72 horas.
4. Formar atados de forraje verde en pares de leñosas y ubicarlos firmemente amarrados en el brete, colgados con el follaje hacia abajo. Si los animales son dóciles, se pueden usar operarios que sostengan los atados (figura 30a).
5. Los animales se enumeran y aleatorizan diariamente para definir su orden de entrada a la prueba.
6. Ingresar a la prueba un animal a la vez y ofrecer cinco combinaciones de pares de leñosas por día (figura 30b).
7. Durante un lapso de tres minutos ofrecer los forrajes de las combinaciones de manera sistemática e independiente.
8. Pesar el forraje rechazado inmediatamente finalice la prueba o evento, para obtener la cantidad de forraje consumido.





Fotos: Nelson Pérez Almario

▲ **Figura 30.** Desarrollo de pruebas de palatabilidad con método de cafetería. a. Entrada individual de animales a la prueba; b. Forma de suministro de las combinaciones.

Variables medidas en las pruebas de palatabilidad

- 🌿 *Palatabilidad de forraje por consumo:* Cada combinación de forraje se somete a consumo animal durante tres minutos. Al final de este periodo se registra el peso del remanente para determinar el consumo por diferencia entre peso inicial y final (anexo 4).
- 🌿 *Número de bocados por especie leñosa:* Se cuentan los bocados dados por cada animal de cada una de las especies leñosas durante los tres minutos.
- 🌿 *Tiempo efectivo de consumo de forraje:* En cada evaluación se utilizan tres cronómetros; uno para medir los tres minutos de la prueba, y dos para determinar de manera independiente el tiempo efectivo que emplea cada animal para consumir cada una de las especies.
- 🌿 *Tamaño de bocados:* Se estima a partir del consumo de forraje y el número de bocados contados y registrados ($\text{Consumo de forraje (g)} / \text{Número de bocados}$).



🌱 *Diámetro de mordida en las leñosas*: Una vez finalizada cada prueba, se mide con un calibrador o pie de rey el diámetro de las cinco ramas más gruesas que hayan sido mordidas por el animal, esto con el propósito de encontrar el promedio de mordida en cada especie.

Referencias

- Arce, B., Peña, A., & Cárdenas, E. (2013). Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la selección de especies forrajeras (STDF) en función de la oferta ambiental en Colombia. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 215-229. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num2_art:483
- Benavides, J. E. (1994). *Árboles y arbustos forrajeros, una alternativa agroforestal para la ganadería*. <https://www.ces.ncsu.edu/wp-content/uploads/2017/07/Arboles-y-Arbustos-Forrajeros-Una-Alternativa-Agroforestal-para-la-Ganaderi%CC%81a.pdf?fwfwd=no>
- Caso, H. O. (1992). Juvenilidad, rejuvenecimiento y propagación vegetativa de las especies leñosas. *Agriscientia*, 9, 5-16. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/download/2255/1203/7007>
- Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the holy grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>
- Pérez-Almario, N., Ibrahim, M., Villanueva, C., Skarpe, C., & Guerin, H. (2011). *Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua* [Tesis Mag. Sc., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Pérez-Almario, N., Ibrahim, M., Villanueva, C., Skarpe, C., & Guerin, H. (2012). Uso de la diversidad forrajera tropical en combinaciones pareadas de leñosas forrajeras como indicador de palatabilidad para su inclusión en el diseño de sistemas silvopastoriles en zonas secas. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1), 79-88. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:243



- Pérez-Almario, N., Ibrahim, M., Villanueva, C., Skarpe, C., & Guerin, H. (2013). Diversidad forrajera tropical: rasgos funcionales que determinan la calidad nutricional y palatabilidad de leñosas forrajeras para su inclusión en sistemas de alimentación ganadera en zona seca. *Revista Agroforestería de las Américas*, 50, 44-52. https://www.researchgate.net/publication/302957661_Diversidad_forrajera_tropical_rasgos_funcionales_que_determinan_la_calidad_nutricional_y_preferencia_de_lenosas_forrajeras_para_su_inclusion_en_sistemas_de_alimentacion_ganadera_en_zona_seca
- Pérez-Almario, N., Medina-Ríos, E. L., Mora-Delgado, J., Criollo-Cruz, D., & Mejía, J. R. (2021). Criterios de uso y conservación de árboles en potreros basados en el conocimiento local de los ganaderos en una zona de bosque seco tropical en Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 9(3), 321-336. [https://doi.org/10.17138/tgft\(9\)321-336](https://doi.org/10.17138/tgft(9)321-336)
- Pérez, N., Ospina, S., Mora, J. R., Criollo, D., & Medina, E. L. (2017). Atributos funcionales para seleccionar especies de árboles y diseñar sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles en zonas secas. En *IX Congreso de sistemas silvopastoriles, Manizales, Colombia*.
- Quansah, E. S., & Makkar, Y. (2012). *Use of lesser-known plants and plant parts as animal feed resources in tropical regions* [Working paper 8]. FAO Animal Production and Health Working.
- Reich, P. B., Wright, I. J., Cavender-Bares., J., Craine, J., Oleksyn, J., Westoby, M., & Walters, M. (2003). The evolution of plant functional variation: Traits spectra, and strategies. *International Journal Plant Sciences*, 164(S3), S143-S164. <http://dx.doi.org/10.1086/374368>
- Wentzel, H., & Alonso, M. (2020). Factores que influyen en la utilización de especies leñosas por bovinos y ovinos en sistemas pastoriles. *Agro Sur*, 48(1), 1-9.
- Westoby, M., Falster, D. S., Moles, A. T., Vesk, P. A., & Wright, I. J. (2002). Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 125-159. www.jstor.org/stable/3069259
- Velázquez, R. (2005). *Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua* [Tesis de maestría, Agroforestería Tropical, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].







Anexos

Anexo 1. Registro de datos de biomasa para árboles y arbustos

CAPTURA Y REGISTRO DE INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN ÁRBOLES Y ARBUSTOS														Diseño: Nelson Pérez Almario, Christian Thomas Carvajal, Óscar Orjuela Franco															
Material/especie	Fecha homogeneización	Época	# corte	Fecha corte	Altura corte/cosecha	Edad corte	Individuo	Repetición	Diámetro base árbol (cm)	# rebrotes	Rama 1			Rama 2			Rama 3			Peso hojas (gFV)	Peso tallos (gFV)	Biomasa consumible (gFV)	Submuestra hoja		% MS	Submuestra tallos		% MS	Biomasa consumible gMS
			1		60	35	1	1			D. basal (mm)	D. medio (mm)	D. apical (mm)	D. basal (mm)	D. medio (mm)	D. apical (mm)	D. basal (mm)	D. medio (mm)	D. apical (mm)				Peso verde	Peso seco		Peso verde	Peso seco		
			1		60	35	2	1																					
			1		80	35	3	1																					
			1		80	35	4	1																					
			1		60	42	5	1																					
			1		60	42	6	1																					
			1		80	42	7	1																					
			1		80	42	8	1																					
			1		60	49	9	1																					
			1		60	49	10	1																					
			1		80	49	11	1																					
			1		80	49	12	1																					
			1		60	35	1	2																					
			1		60	35	2	2																					
			1		80	35	3	2																					
			1		80	35	4	2																					
			1		60	42	5	2																					
			1		60	42	6	2																					
			1		80	42	7	2																					
			1		80	42	8	2																					
			1		60	49	9	2																					
			1		60	49	10	2																					
			1		80	49	11	2																					
			1		80	49	12	2																					

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Flujograma para medición de rasgos funcionales: densidad de la madera (ρ_M)

N.º	Flujograma	Registro
1.1 Eliminar la corteza en la parte del tronco para evaluar, posteriormente coleccionar un núcleo (tarugo o muestra de madera) con el barrenador de Pressler para cada uno de los individuos, es decir, diez tarugos de madera por especie.	<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> A[Colectar 10 tarugos de madera de 10 individuos por especie] </pre>	Registro de muestras obtenidas en campo para caracterización de rasgos funcionales.
1.2 Empacar cada tarugo de madera en un pitillo plástico, inyectarle agua desionizada, sellarlo por ambos extremos con el mechero y marcarlo con nombre de la especie y número de individuo.	<pre> graph TD A[Empacarlos en el pitillo plástico con agua desionizada] --> B[] </pre>	
1.3 Transportar los pitillos rotulados en bolsas herméticas dentro de una nevera de icopor u otro material sin hielo.	<pre> graph TD B[Transportar en nevera sin hielo] --> C[] </pre>	
1.4 Colocar en refrigeración (nunca en congelador) hasta su procesamiento en laboratorio.	<pre> graph TD C[Colocar en refrigeración hasta su procesamiento en laboratorio] --> D[] </pre>	
1.5 Someter los tarugos de madera a rehidratación entre 12 y 24 horas en un recipiente de manera individual, manteniéndolas refrigeradas, hasta la toma del volumen.	<pre> graph TD D[Someter a rehidratación entre 12 y 24 horas] --> E[] </pre>	

(Continúa)



(Continuación anexo 2)

N.º	Flujograma	Registro
1.6 Para realizar las mediciones, se utiliza una balanza electrónica de alta sensibilidad (0,001 g); sobre ella se ubica un <i>beaker</i> con agua para calcular la masa del tarugo de madera.	Ubicar en el <i>beaker</i> el tarugo de madera ↓	
1.7 Se determina el volumen utilizando el método de desplazamiento de agua (principio de Arquímedes); el peso del tarugo genera variación en el volumen del agua y esto permite registrar la variación de la masa de empuje (ME).	Registrar el peso del tarugo y la diferencia de volumen	Registro de datos.
1.8 Introducir en bolsas de papel <i>kraft</i> los tarugos de madera, rotularlos por especie y número de individuo y llevar al horno a 60 °C por un lapso de 48 a 72 horas.	Se llevan al horno a 60 °C por 48 a 72 horas ↓	
1.9 Inmediatamente después se llevan a balanza y se mide su masa seca.	Pesar en balanza de precisión ↓	Registro de datos.
1.10. Ingresar los datos de masa seca y volumen de cada núcleo a la base de datos y calcular la densidad de madera (DM en g/cm ³), dividiendo la masa (g) por el volumen (cm ³).	Se calcula la DM, dividiendo la masa (g) por el volumen (cm³) ↓ FIN	Registro de datos.

Fuente: Elaboración propia



Anexo 3. Flujograma para medición de rasgos funcionales: área foliar específica (AFE)

N.º	Flujograma	Registro
1.1 Colectar 20 hojas para cada uno de los 10 individuos, es decir, 200 hojas por especie.	<pre> graph TD INICIO([INICIO]) --> A[Colectar 20 hojas de cada individuo] </pre>	Registro de muestras obtenidas en campo para caracterización de rasgos funcionales.
1.2 Empacar las hojas (unidas a la rama) en bolsas herméticas selladas con papel absorbente húmedo para mantenerlas saturadas de agua.	<pre> graph TD A --> B[Empacarlas en bolsas herméticas con toallas humedecidas en agua destilada] </pre>	
1.3 Transportar las bolsas en nevera de icopor u otro material para mantenerlas refrigeradas.	<pre> graph TD B --> C[Transportar en nevera para mantener refrigeración] </pre>	
1.4 Colocar en refrigeración (nunca en congelador) hasta su procesamiento en laboratorio.	<pre> graph TD C --> D[Colocar en refrigeración hasta su procesamiento en laboratorio] D --> E{¿El almacenamiento dura más de 12 horas?} E -- No --> F((Pasa a 1.6)) E -- Sí --> G[Almacenar a bajas temperaturas 2-6 °C] </pre>	Registro de datos.
1.5 Si el almacenamiento dura más de 24 horas, es esencial hacerlo a bajas temperaturas (2-6 °C). La medición se debe realizar durante las 48 horas siguientes al muestreo.	<pre> graph TD G --> H[Almacenar a bajas temperaturas 2-6 °C] </pre>	
1.6 Para la rehidratación, las hojas completas deben haber permanecido en inmersión en la oscuridad, durante mínimo 6 horas.	<pre> graph TD H --> I[Rehidratar en cámara oscura con agua desionizada] </pre>	

(Continúa)



(Continuación anexo 3)

N.º	Flujograma	Registro
1.7 Separar hojas del tallo incluyendo el peciolo, y frotar suavemente con papel toalla hasta que queden totalmente secas.	Remover las hojas del tallo incluyendo su peciolo y secar cualquier exceso de humedad ↓	
1.8 Tomar el peso en una balanza de precisión 0,01 a 0,001 g.	Pesar en balanza de precisión ↓	Registro de datos.
1.9 Poner la hoja con el haz sobre el escáner, preferiblemente en el centro de la pantalla, y corroborar en el monitor que toda la hoja se encuentra dentro del área de escaneo.	Montar en el escáner la hoja completa ¿Se sobreponen los folíolos en hojas compuestas? No Pasa a 1.11 Sí ↓	
1.10 En el caso de hojas compuestas en las que se sobrepongan los folíolos, estos deben separarse del raquis.	Separar los folíolos del raquis en hojas compuestas ↓	
1.11 Colocar la lámina de acetato transparente sobre la superficie del escáner, una hoja de papel blanco sobre la tapa, una escala de medición (mm o cm) y una figura geométrica de área conocida.	Colocar la lámina de acetato transparente sobre la superficie del escáner y una hoja de papel blanco sobre la tapa ↓	
1.12 Configurar las opciones de escaneo en resolución de 600 dpi y guardar la imagen en formato BMP o TIFF.	Configurar las preferencias del escáner para tomar las imágenes ↓	
1.13 Ejecutar el programa ImageJ (https://imagej.nih.gov/ij/index.html) y abrir la imagen en el menú "File".	Correr el programa ImageJ y abrir la imagen previamente escaneada ↓	

(Continúa)



(Continuación anexo 3)

N.º	Flujograma	Registro
1.14 Calibrar la escala de medición con el ícono “Straight” en la barra de trabajo, marcando una línea de distancia conocida sobre la escala que se escaneó con la imagen. En el menú “Analyze” > “Set scale”, definir en la sección “Known distance” la longitud de la línea previamente marcada en la escala de la imagen. En la sección “Unit of length”, registrar las unidades de longitud (mm o cm). Finalmente, activar la casilla “Global” para utilizar la misma escala en las imágenes subsiguientes.	Calibrar la escala de medición en ImageJ ↓	
1.15 Procesar la imagen para la medición de área foliar: “Menú Image” > “Type” > “8 bits”. Posteriormente, en el menú “Process” seleccionar “Binary” > “Make binary”.	Procesar la imagen seleccionada con el programa ImageJ ↓	
1.16 Medir el área foliar: click sobre el botón “Wand” en la barra de tareas (varita con estrella) y click + shift sobre la figura de la hoja y la forma geométrica del área conocida. En el menú “Analyze”, seleccionar “Analyze particles” > “OK”. Corroborar que los resultados arrojados del área de la figura geométrica se ajusten al área real de la misma.	Calcular el área foliar con el programa ImageJ ↓	Registro de datos.
1.17 Elaborar una base de datos con las medidas del área foliar obtenidas de cada individuo muestreado dentro de cada una de las diez especies objeto de estudio.	Base de datos que consigna las medidas del área foliar de cada individuo muestreado dentro de cada una de las diez especies. ↓	
1.18 Secar las hojas al horno a 60 °C durante 48 horas.	Secado de las muestras en el horno ↓	
1.19 Registrar su peso seco en balanza de precisión 0,01 a 0,001g.	Pesado en balanza de precisión ↓	Registro de datos.
1.20 Ingresar peso seco en la base de datos y calcular el área foliar específica (SLA).	Cálculo de SLA, dividiendo el área foliar (mm²) por el peso seco (mg) ↓ FIN	

Fuente: Elaboración propia



Anexo 4. Formato para registro de pruebas de preferencia

Bov.	Día	Combinación	Especies	Forraje ofrecido	Rechazo (g)	Consumo (g)	Tiempo (minutos)	Tiempo real (segundos)	# Bocados	Boc./min	Peso seco rechazo	% Materia seca
1	1	1	Ciruelo	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
1	1	2	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
1	1	3	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Botón oro	1.000			3					
1	1	4	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Ciruelo	1.000			3					
1	1	5	Gualanday	1.000			3					
			Orejero	1.000			3					
1	1	6	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Carbonero	1.000			3					
1	1	7	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			<i>Erythrina</i>	1.000			3					
1	1	8	Botón oro	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
1	1	9	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
1	1	10	Moringa	1.000			3					
			Guacimo	1.000			3					
2	1	1	Ciruelo	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
2	1	2	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
2	1	3	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Botón oro	1.000			3					

(Continúa)

(Continuación anexo 4)

Bov.	Día	Combinación	Especies	Forraje ofrecido	Rechazo (g)	Consumo (g)	Tiempo (minutos)	Tiempo real (segundos)	# Bocados	Boc./min	Peso seco rechazo	% Materia seca
2	1	4	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Ciruelo	1.000			3					
2	1	5	Gualanday	1.000			3					
			Orejero	1.000			3					
2	1	6	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Carbonero	1.000			3					
2	1	7	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			<i>Erythrina</i>	1.000			3					
2	1	8	Botón oro	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
2	1	9	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
2	1	10	Moringa	1.000			3					
			Guacimo	1.000			3					
3	1	1	Ciruelo	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
3	1	2	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
3	1	3	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Botón oro	1.000			3					
3	1	4	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Ciruelo	1.000			3					
3	1	5	Gualanday	1.000			3					
			Orejero	1.000			3					
3	1	6	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Carbonero	1.000			3					

(Continúa)

(Continuación anexo 4)

Bov.	Día	Combinación	Especies	Forraje ofrecido	Rechazo (g)	Consumo (g)	Tiempo (minutos)	Tiempo real (segundos)	# Bocados	Boc./min	Peso seco rechazo	% Materia seca
3	1	7	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			<i>Erythrina</i>	1.000			3					
3	1	8	Botón oro	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
3	1	9	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
3	1	10	Moringa	1.000			3					
			Guacimo	1.000			3					
4	1	1	Ciruelo	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
4	1	2	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
4	1	3	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Botón oro	1.000			3					
4	1	4	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Ciruelo	1.000			3					
4	1	5	Gualanday	1.000			3					
			Orejero	1.000			3					
4	1	6	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Carbonero	1.000			3					
4	1	7	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			<i>Erythrina</i>	1.000			3					
4	1	8	Botón oro	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
4	1	9	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
4	1	10	Moringa	1.000			3					
			Guacimo	1.000			3					

(Continúa)

(Continuación anexo 4)

Bov.	Día	Combinación	Especies	Forraje ofrecido	Rechazo (g)	Consumo (g)	Tiempo (minutos)	Tiempo real (segundos)	# Bocados	Boc./min	Peso seco rechazo	% Materia seca
5	1	1	Ciruelo	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
5	1	2	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
5	1	3	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Botón oro	1.000			3					
5	1	4	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Ciruelo	1.000			3					
5	1	5	Gualanday	1.000			3					
			Orejero	1.000			3					
5	1	6	<i>Spondias</i>	1.000			3					
			Carbonero	1.000			3					
5	1	7	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			<i>Erythrina</i>	1.000			3					
5	1	8	Botón oro	1.000			3					
			<i>Leucaena</i>	1.000			3					
5	1	9	<i>Albizia</i>	1.000			3					
			Iguá	1.000			3					
5	1	10	Moringa	1.000			3					
			Guacimo	1.000			3					

Terminó de diseñarse
en octubre, Bogotá, D. C., Colombia







El presente manual está constituido por cuatro capítulos que tienen el propósito de orientar a los investigadores, ganaderos y demás interesados, en las metodologías para la selección y evaluación de diferentes fuentes forrajeras para la alimentación del ganado. En el primer capítulo se presentan las metodologías para la evaluación y selección de materiales forrajeros, que incluyen la evaluación agronómica en pequeñas parcelas, la multiplicación de semilla de los materiales seleccionados, las pruebas con animales en las que se evalúa el efecto del bovino sobre el pasto y la respuesta de los nuevos forrajes seleccionados en la producción de carne o leche. Este proceso, que tiene una duración de 7 a 9 años, constituye la base para la entrega a los ganaderos de nuevas opciones forrajeras con registro ICA. En el segundo capítulo se da una orientación sobre las metodologías para la evaluación de las praderas con el fin de determinar la disponibilidad de forraje y composición botánica, variables que son la base para el buen manejo de los pastos y la reducción de su degradación. En el tercer capítulo se presentan las bases fisiológicas para un buen manejo de los forrajes tropicales, los cuales constituyen la forma más económica para la producción de carne o leche bovina, con abundante área foliar para capturar carbono y transformarlo en alimento para los animales. En el cuarto capítulo se presentan las metodologías para la evaluación de biomasa de árboles y arbustos con potencial forrajero en zonas cálidas, previa identificación y selección de los materiales más promisorios, los cuales constituyen una alternativa importante para la alimentación de rumiantes.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Centro de Investigación Motilonia.
Km 5 vía a Becerril, Agustín Codazzi, Cesar.
Código postal 202050, Colombia.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co
Distribución gratuita
Prohibida su venta



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (57 1) 422 73 00 ext. 1257 o 1274
skype: biblioteca.agropecuaria