



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.

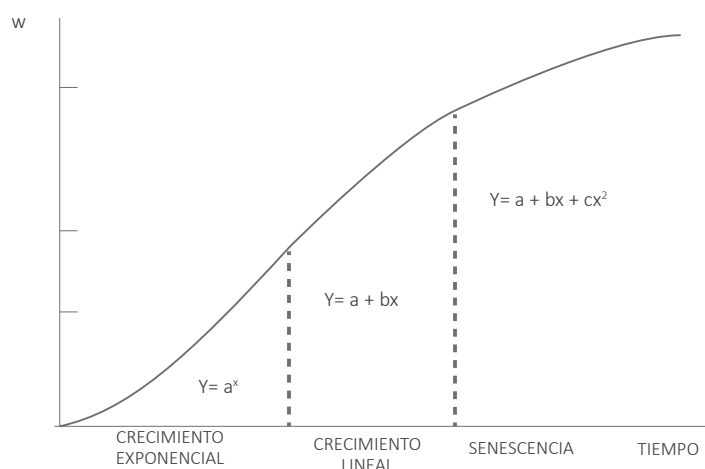
** Kilogramo de materia seca.

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

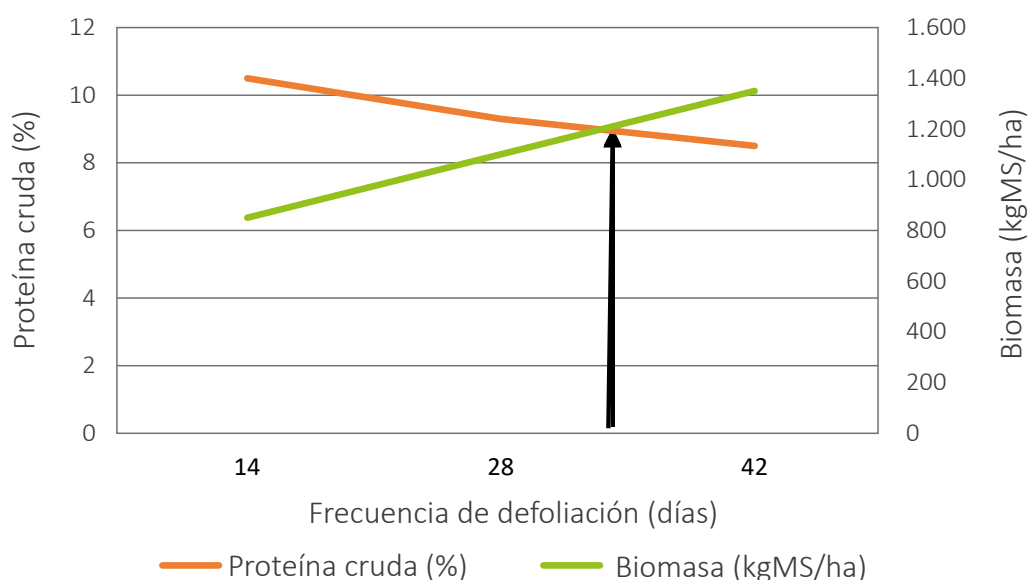
En la segunda fase, periodos iguales de tiempo corresponden a los mismos incrementos de crecimiento, es decir, el incremento de peso seco es constante durante esta fase. Las plantas tienen más hojas y su crecimiento es rápido. Su fotosíntesis es mayor, lo cual les permite almacenar carbohidratos y aumentar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

