

## Nota Técnica

# Composición morfológica del forraje ryegrass anual (*Lolium multiflorum*) cv. jumbo en respuesta a tres fórmulas nitrogenadas

Luis A Navarro-Zamora<sup>1</sup>, Luis A Villalobos-Villalobos<sup>1,2</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del pasto ryegrass anual cv. Jumbo a tres fórmulas de nitrógeno (urea, nitrato de amonio y urea protegida) a dos altitudes en condiciones tropicales de Costa Rica. El estudio se realizó entre el periodo de 15 de junio del 2017 y el 15 de febrero del 2018 en dos zonas de la provincia de Cartago, cantón de Oreamuno (09°57.442' N, 083°49.951' O, finca A [2.800 m.s.n.m.] y 09°54.839' N, 083°50.058' O, finca B [2.000 m.s.n.m.]). Se evaluó tres tratamientos (urea, nitrato de amonio y urea protegida) en parcelas experimentales a un equivalente de 200 kg N/ha/año y se aplicó una misma dosis de azufre a un equivalente de 13,49 kg S/ha/año en todas las parcelas. El forraje fue cosechado cada 60 días aproximadamente. Se analizó el número de rebrotes, cantidad de hojas vivas y la composición estructural (porcentajes hoja, tallo y senescencia) en la pastura. La cantidad de rebrotes y hojas vivas fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el mes de agosto en comparación con el mes de febrero. La proporción de hoja fue mayor en el mes de febrero con respecto a agosto ( $p < 0.05$ ) mientras que las proporciones de tallo y senescencia se mantuvieron estables durante el período de estudio. No se encontraron efectos significativos en las variables evaluadas como resultado de la fuente de fertilizante nitrogenado utilizado.

**Palabras clave:** abonos nitrogenados, abonos de acción retardada, morfología, fenología, estructura de la planta.

---

<sup>1</sup>Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, San José, Costa Rica. luis.navarrozamora@ucr.ac.cr

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, San José, Costa Rica. luis.villalobosvillalobos@ucr.ac.cr

Recibido:                      Aceptado:

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



## ABSTRACT

**Morphological characteristics of the annual ryegrass forage (*Lolium multiflorum*) cv. Jumbo with three nitrogen formulas.** The objective of this study was to evaluate the response of annual ryegrass cv. Jumbo with three nitrogen formulas (urea, ammonium nitrate and coated urea) at two altitudes in the tropical conditions of Costa Rica. The study was carried out from June 15, 2017 through February 15, 2018 in two areas of the province of Cartago, county Oreamuno (09°57,442 'N, 083°49,951' W, farm A [2.800 m.a.s.l.] and 09°54.839 'N, 083°50.058' W, farm B [2.000 m.a.s.l.]). Three treatments (urea, ammonium nitrate and protected urea) were evaluated in experimental plots at an equivalent of 200 kg N/ha/yr and sulfur was applied to all plots at an equivalent of 13.49 kg S/ha/yr. Samples were analyzed by the number of shoots, green leaves per shoot and structural components (percentage of leaves, stems and senescence) within the pasture. Both the number of shoots and green leaves per shoot were significantly higher ( $p < 0.05$ ) in August with respect to February. The percentage of leaf was higher in February compared to August ( $p < 0.05$ ) while the percentages of stem and senescence remained constant thorough the study period. No significant differences were found for any variable evaluated as a result of the nitrogen fertilizer used.

**Keywords:** nitrogen fertilizers, slow release fertilizers, morphology, phenology, plant structure.

## INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la principal fuente de alimentación para todo sistema productivo con rumiantes. Para obtener una producción óptima de forraje se requiere una adecuada nutrición, siendo el nitrógeno el principal nutriente para el correcto funcionamiento y desarrollo en cultivos forrajeros (Pérez-Urria, 2009; Kraiser et al., 2011). La fertilización

nitrogenada influye en la productividad de la pastura, en términos de: biomasa, composición botánica, composición nutricional, fenología, y componentes estructurales (Liu et al., 2011; Freitas et al., 2012; Kering et al., 2012; Wang y Tang, 2019).

Existen diferentes tecnologías para incrementar la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Los fertilizantes de liberación controlada y lenta liberación son una de ellas (Timilsena et al., 2015). La urea de lenta liberación está protegida por una capa de azufre (Liang y Liu, 2006). El uso de urea protegida influye en la productividad de la pastura (Chalk et al., 2015). Schmidt y Monteiro (2015) encontraron que el aporte de azufre influye en la morfología de pasturas como *Panicum maximum*.

Las características morfológicas de una pastura determinan su adaptabilidad, calidad nutricional, persistencia y productividad (Nelson y Moore, 2020). Factores climáticos como propiedades del suelo, precipitación y temperatura afectan la morfología de la pastura (Nelson y Moore, 2020). Indicadores como la cantidad de rebrotes, el número de hojas vivas y las proporciones de hoja, tallo y material senescente, afectan directamente la biomasa y calidad nutricional de la misma (Nave et al., 2010; Zaman et al., 2016; Radonjic et al., 2019). Da Silva et al. (2013) establecieron que la morfología de la pastura puede verse afectada por la frecuencia de la cosecha. El estudio de la morfología es de vital importancia para establecer un adecuado manejo en términos de edades de cosecha, obteniendo la mayor cantidad de biomasa digestible, optimizando la productividad y el número de cosechas por año. En este estudio se evaluó el efecto de diferentes fuentes de fertilización nitrogenada sobre las características morfológicas de una pastura anual de ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) cv. Jumbo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio y especies evaluadas

El estudio se realizó entre el periodo de 15 de junio del 2017 y el 15 de febrero del 2018 en dos zonas con una diferencia de 800 m de elevación, ubicadas en la provincia de Cartago en el cantón de Oreamuno. La finca A se ubica en el distrito de Potrero Cerrado, el poblado San Juan de Chicué a 2.800 m.s.n.m., 09°57.442' N, 083°49.951' O y la finca B en el distrito de Santa Rosa a 2.000 m.s.n.m., 09°54.839' N, 083°50.058' O. Ambas localidades poseen un clima tropical húmedo comprendiendo las zonas de vida bosque húmedo, bosque muy húmedo y bosque pluvial, con una precipitación de 1.400-2.000 mm y una temperatura promedio de 19,2°C (INDER, 2016). Ambos suelos son catalogados como suelos volcánicos andisoles (Villalobos, 2012; Villalobos y Sánchez, 2010).

El forraje evaluado fue el ryegrass anual, *Lolium multiflorum* Lam. (Poaceae) cv. Jumbo. El mismo tuvo un periodo de establecimiento de 67 y 90 días para la finca A y B respectivamente, donde se realizó un corte de uniformización a dichas edades. La dosis de siembra fue entre 16 a 28 kg semilla/ha a una profundidad de 0,5 cm. El establecimiento de las parcelas se realizó según las prácticas culturales propias de cada finca. La dosis anual totalizada fue de 200 kg N/ha y 13,49 kg S/ha, con una edad a primer cosecha de 60 días. La edad de cosecha entre muestreos se mantuvo a 60 días aproximadamente. Se evaluaron tres fuentes nitrogenadas individualmente (urea, nitrato de amonio y urea protegida) y se agregó sulfato de amonio en la urea y nitrato de amonio para equilibrar el aporte de azufre incorporado en la urea protegida. La urea protegida contiene una cobertura de azufre junto con un inhibidor de la actividad ureásica, N-(n-butyl) triamidatofosfórica (Agrotain®) (Dawar et al., 2012).

Se realizó la aplicación del fertilizante al voleo después de cada cosecha. Con el fin de controlar el efecto del borde entre tratamientos, se dejó una franja de 20 cm sin cosechar

entre las parcelas de distintos bloques. Después de la cosecha de la biomasa, se cosecharon los bordes con el fin de uniformizar el crecimiento de la pastura para la siguiente cosecha, sin embargo, el material cosechado de los bordes no formó parte de las muestras experimentales. Antes de iniciar y una vez finalizado el experimento se realizaron análisis de suelos en cada localidad.

**Cuadro 1.** Análisis de suelo de la finca A.

Fecha	pH		Cmol(+)/L					mg/L				
	H <sub>2</sub> O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	%SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
17/02/2017	6,0	0,28	3,18	0,91	0,19	4,56	6	42	31,8	17	348	5
28/02/2018	5,9	0,29	4,36	0,75	0,13	5,53	5	66	33,2	15	225	10

CICE= Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva

%SA= Saturación de acidez

**Cuadro 2.** Análisis de suelo de la finca B.

Fecha	pH		Cmol(+)/L					mg/L				
	H <sub>2</sub> O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	%SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
17/02/2017	6,0	0,34	2,90	0,92	0,13	4,29	8	20	15,0	12	340	7
28/02/2018	5,5	0,51	2,95	1,28	0,16	4,90	10	17	14,7	12	333	13

CICE= Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva

%SA= Saturación de acidez

### Diseño experimental y análisis estadístico

La unidad experimental fue cada una de las parcelas (área= 6 m<sup>2</sup>), dispuestas en un diseño de tres bloques (fuentes de nitrógeno) completos al azar, con los tratamientos que fueron

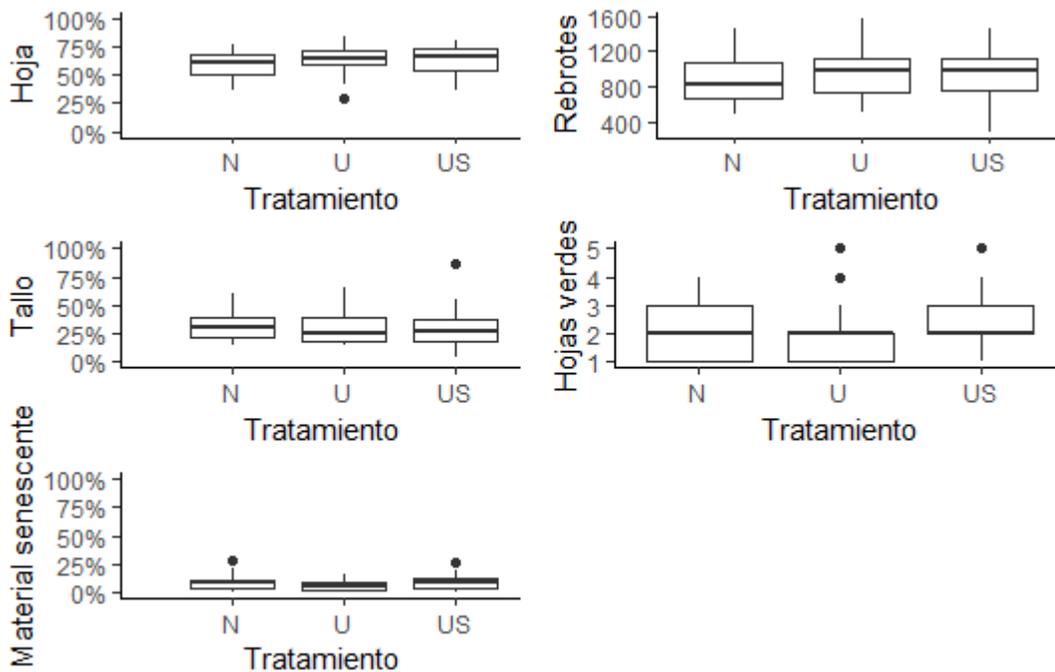
las tres fuentes de nitrógeno y el testigo, con tres réplicas por tratamiento. Los resultados se analizaron con el programa estadístico RStudio v. 1.2.1335 por medio de un ANOVA para el número de rebrotes y la prueba Tukey para separación de medias. Se utilizó un modelo lineal generalizado para analizar los componentes estructurales (hoja, tallo, material senescente) y el conteo de hojas vivas. Cuando se encontraron diferencias, se utilizó el método de mínimos cuadrados para la separación de medias. Por otra parte, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos ( $p > 0.05$ ). El valor  $p < 0.05$  fue utilizado para todas las pruebas estadísticas.

### **Recolección de muestras**

Se realizaron 10 observaciones por parcela para el conteo del número de hojas del pasto. Para ello, solo se contabilizaron las hojas vivas a lo largo de un brote de pasto aleatorio en cada uno de los puntos. Se cosechó por medio de un marco de 900 cm<sup>2</sup> una muestra en el centro de cada parcela para el conteo del número de rebrotes y su posterior separación en componentes estructurales. El forraje tenía una edad comprendida entre los 50 y 66 días (edad de cosecha que se utilizaba en las fincas) y los cuatro muestreos se realizaron en los meses de agosto (Ago), octubre (Oct) y diciembre (Dic) del 2017 y febrero (Feb) del 2018. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas y transportadas en un congelador, con el fin de preservar sus características originales. Una vez realizada la separación de los componentes estructurales (hoja, tallo, material senescente), se pesaron en fresco, se secaron en un horno gravitacional sobre rejillas metálicas dentro de una cámara interna de aluminio de doble pared con aislamiento, con una ligera ventilación de aire a 60 °C por 48 horas y se pesaron en seco para expresar cada uno como porcentaje de la materia seca. Para calcular los porcentajes se dividió el peso seco de cada componente estructural entre el peso seco total de los tres componentes.

## RESULTADOS

Los tratamientos no tuvieron efecto en ninguna de las variables evaluadas salvo en ocasiones muy específicas (Figura 1). La cantidad de rebrotes tuvo una distribución normal ( $p > 0.05$ ) y varió a lo largo de los muestreos ( $p < 0.05$ ) de ago-dic (1,889-2,318 rebrotes/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p < 0.05$ ) y en los períodos de ago-feb, dic-feb, y oct-feb (1,370-2,318; 1,370-1,889 y 2,030-1,370 rebrotes/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p < 0.01$ ) (Cuadro 3). Se obtuvo una interacción significativa ( $p < 0.01$ ) entre el tratamiento y el mes de muestreo. Se encontró una menor densidad de rebrotes para el tratamiento de nitrato de amonio con respecto a la urea protegida en el mes de diciembre (763 y 1,194.5 rebrotes/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p < 0.05$ ). Por otra parte, no hubo diferencias entre el tratamiento de la urea (875,5 rebrotes/m<sup>2</sup>;  $p > 0.05$ ) con respecto al nitrato de amonio o urea protegida en dicho mes (763 y 1,194.5 rebrotes/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p > 0.05$ ).



**Figura 1.** Proporción de hoja, tallo, material senescente, cantidad de rebrotes y hojas verdes por tratamiento del pasto ryegrass, cv. Jumbo.

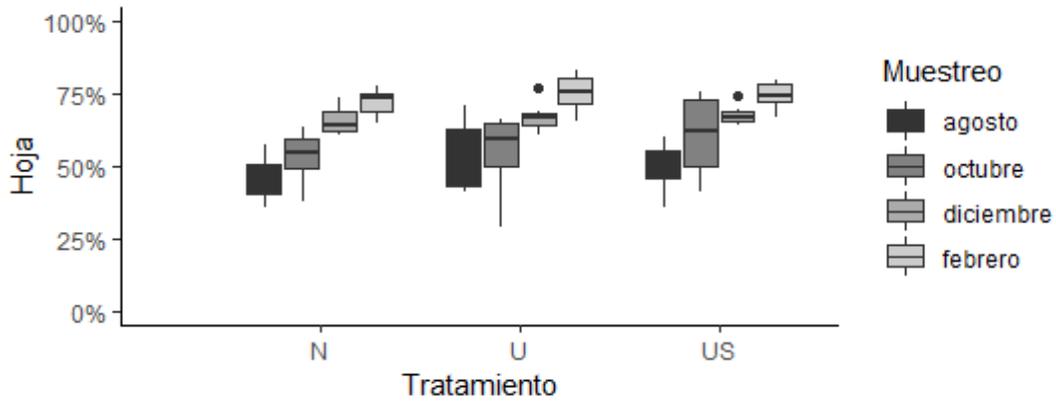
**Cuadro 3.** Rebrotos por metro cuadrado a dos altitudes del pasto ryegrass cv. Jumbo.

Tratamiento	Finca A				Finca B			
	Ago	Oct	Dic	Feb	Ago	Oct	Dic	Feb
Urea	1.256	1.052	1.007	659	1.444	919	744	781
Nitrato de amonio	1.059	941	774	722	1.152	974	752	741
Urea protegida	963	1.159	1.089	741	1.081	1.044	1.300	467
Promedio	1.093±237	1.051±230	957±213	707±113	1.226±253	979±186	932±308	663±271
Finca	n.s.							
Tratamiento	n.s.							
Muestreo	***							
Tratamiento x Muestreo	**							

Finca A= 2.800 m.s.n.m., Finca B= 2.000 m.s.n.m. Niveles de significancia: \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ ; \*\*\* =  $p < 0.001$ ; n.s. =  $p > 0.05$ .

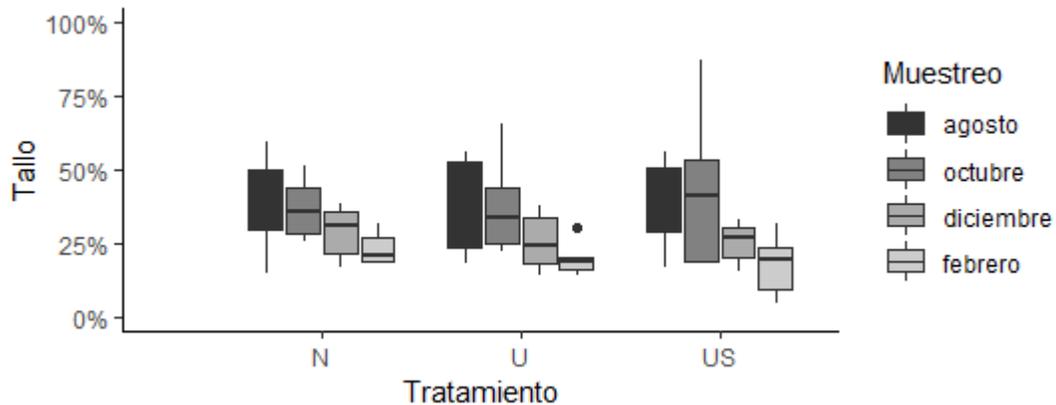
La urea presentó numéricamente más rebrotos (7,863 rebrotos/m<sup>2</sup>) en comparación con el nitrato de amonio y urea protegida (7,115 y 7,844 rebrotos/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p > 0.05$ ). En los meses lluviosos de agosto, octubre se obtuvo la mayor cantidad de rebrotos (1,159 y 1,015 rebrotos/m<sup>2</sup> respectivamente;  $p < 0.05$ ) en comparación con el mes transitorio de diciembre (944 rebrotos/m<sup>2</sup>) y el mes seco de febrero (685 rebrotos/m<sup>2</sup>). La época de transición tuvo

más rebrotes que la seca ( $p < 0.05$ ). La proporción de hoja en la finca B fue mayor que en la finca A (66,50 y 56,75% respectivamente;  $p < 0.05$ ) y fue distinta en los muestreos ago-dic y ago-feb (Figura 2;  $p < 0.05$ ).



**Figura 2.** Proporción de hoja según tratamiento del pasto ryegrass cv. Jumbo.

La proporción de tallo fue distinta entre fincas ( $p < 0.01$ ) siendo mayor en la finca A y en los muestreos de ago-feb, oct-feb, y oct-dic (Figura 3;  $p < 0.05$ ).



**Figura 3.** Proporción de tallo según tratamiento del pasto ryegrass cv. Jumbo.

El material senescente fue diferente entre fincas, siendo mayor la finca B con respecto a la A (12 y 4 % respectivamente;  $p < 0.05$ ) y entre los tratamientos de nitrato de amonio y urea (9 y 7% respectivamente;  $p < 0.05$ ). Además, hay diferencias entre los meses de ago-dic y ago-feb (Figura 4;  $p < 0.05$ ). Las diferencias entre fincas para los componentes estructurales se observan en el Cuadro 4.

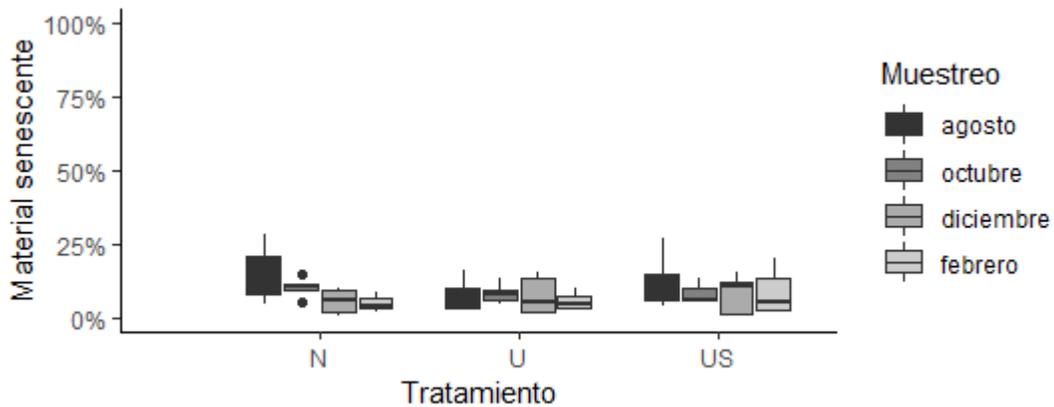


Figura 4. Proporción de material senescente según tratamiento del pasto ryegrass cv. Jumbo.

**Cuadro 4.** Porcentaje de los componentes hoja, tallo, material senescente del pasto ryegrass cv. Jumbo.

Localidad	Componente	Agosto	Octubre	Diciembre	Febrero	Promedio
Finca A	Hoja	42	45	65	76	57±15,2
	Tallo	52	48	34	22	39±13,5
	Senescente	6	7	1	3	4±3,3
Finca B	Hoja	58	67	69	73	67±7,6
	Tallo	25	31	19	18	23±12,8
	Senescente	17	10	12	10	12±5,5
	Hoja		Tallo		Senescente	
Finca	**		***		***	
Tratamiento	n.s.		n.s.		*	
Muestreo	***		**		*	
Tratamiento x Muestreo	n.s.		n.s.		n.s.	

Finca A = 2.800 m.s.n.m., Finca B = 2.000 m.s.n.m. Niveles de significancia: \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ ; \*\*\* =  $p < 0.001$ ; n.s. =  $p > 0.05$ .

La edad fenológica del pasto ryegrass cv. Jumbo (Cuadro 5) no tuvo una distribución normal según la prueba de Shapiro–Wilk ( $p < 0.05$ ), sino que se utilizó una distribución quasi-poisson. El número de hojas verdes fue distinto en todos los muestreos excepto entre ago-oct ( $p < 0.05$ ). A su vez, fue diferente entre el tratamiento de la urea y urea protegida (1,9 y 2,1 hojas verdes respectivamente;  $p < 0.05$ ).

**Cuadro 5.** Cantidad de hojas verdes por rebrote a dos altitudes del pasto ryegrass cv. Jumbo.

Tratamiento	Finca A				Finca B			
	Ago	Oct	Dic	Feb	Ago	Oct	Dic	Feb
Urea	2,6	1,9	1,8	1,5	2,5	1,9	1,5	1,6
Nitrato de amonio	2,6	2,4	2,1	1,3	2,7	2,3	1,7	1,6
Urea protegida	2,7	2,5	1,9	1,4	2,6	2,0	1,6	2,2
Promedio	2,6±0,92	2,3±0,70	1,9±0,61	1,4±0,51	2,6±0,70	2,1±0,76	1,6±0,63	1,8±0,77
Muestreo	**							
Tratamiento x Muestreo	n.s.							

Finca A = 2.800 m.s.n.m., Finca B = 2.000 m.s.n.m. Niveles de significancia: \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ ; n.s. =  $p > 0.05$ .

## DISCUSIÓN

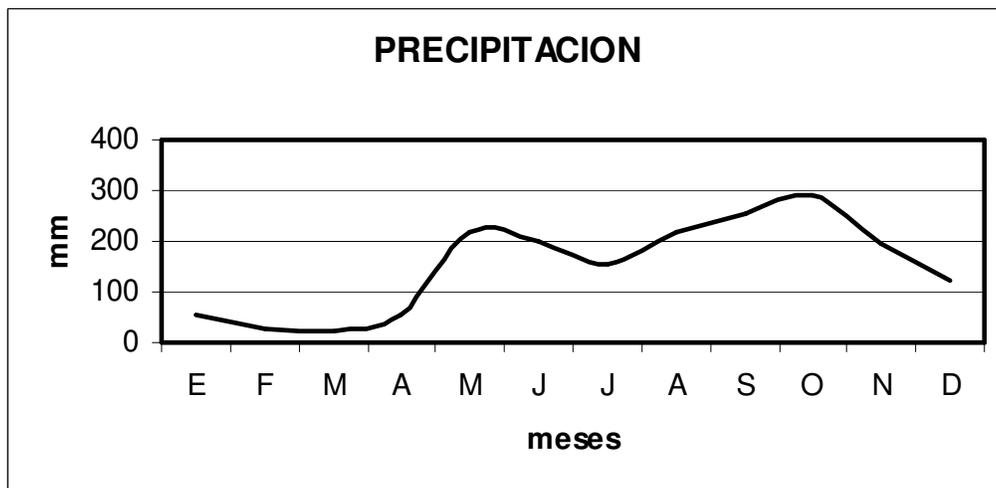
El pasto Jumbo mostró una pérdida en su capacidad de rebrote a lo largo del estudio, siendo evidente entre los meses de agosto y febrero en ambas fincas (Cuadro 3). Los pastos anuales tienden a perder capacidad de rebrote a través del tiempo debido a una menor acumulación de reservas en forma de carbohidratos no fibrosos (CNF) (Souza et al., 2010; Astudillo, 2015). La programación genética en pasturas anuales es una estrategia adaptativa y evolutiva que regula la producción de nuevos tejidos (Kebrom et al., 2013), lo cual afecta directamente la producción de rebrotes.

Durante el período del estudio ambas localidades mostraron en promedio (Cuadro 3) una disminución en el número de rebrotes como resultado de la época lluviosa (ago-oct) hacia transición (dic) y época seca (feb). La disponibilidad de agua de acuerdo a la época del año afecta la capacidad de translocar N de la raíz al rebrote de la pastura (González-Dugo et al., 2012), lo cual se evidenció principalmente en los meses de diciembre y febrero. El nitrógeno requiere de niveles adecuados de humedad en el suelo tanto para su transporte hacia las raíces a través del flujo de masas (NaNagara et al., 1976), como para su mineralización en la materia orgánica (Brown, 1971; Stanford y Epstein, 1974; Zhang et al., 2002; Paul et al., 2003).

La absorción del fósforo se beneficia de la aplicación de nitrógeno en el suelo al ser transportado de forma sinérgica (Newman et al., 2009a; Newman et al., 2009b), lo cual puede favorecer su utilización en suelos volcánicos tales como los de este estudio, caracterizados por la escasez de fósforo disponible (Montalvo et al., 2015, Vistoso et al., 2019). Esto se evidenció al no observar deficiencias nutricionales en el pasto que contaba con suficiente fósforo en el suelo (Cuadros 1 y 2). Debido a que el nitrógeno participa en diferentes procesos metabólicos (McKee, 1962), al ser absorbido por la planta, se estimula la producción de biomasa a través de la generación de rebrotes (Ávila et al., 2019).

La urea y la urea protegida tuvieron una mayor cantidad de rebrotes en el mes de diciembre en comparación con el nitrato de amonio, lo cual indica un mejor aprovechamiento del nitrógeno en forma ureica con respecto a la amoniacal. La dinámica de degradación y absorción en el suelo es distinta para ambas moléculas (Chien et al., 2011), influyendo sobre la absorción de la fuente nitrogenada de acuerdo a las condiciones agroclimatológicas (Warren, 2009; Daryanto et al., 2019). Las plantas pueden absorber la urea directamente e indirectamente como amoniaco o nitratos (Witte, 2011). No tienen preferencia en la absorción de la molécula, aún con cantidades distintas presentes de cada una (Bailey, 1998). Kuo (2015) encontró un mayor rebrote en pasturas de bermuda al aplicar urea protegida, lo cual coincide con este estudio al haber numéricamente más rebrotes con respecto a la urea convencional, lo cual se atribuye a que se logra un mayor aprovechamiento del nitrógeno como resultado de la tecnología que permite una lenta liberación.

Al ser diciembre un mes de transición entre época lluviosa y seca (Figura 5), presenta condiciones particulares de alta radiación, menor temperatura y presencia de precipitación (Retana, 2006). Dichas condiciones favorecen el aprovechamiento del nitrógeno ureico respecto al nitrato de amonio, principalmente cuando se libera lentamente en campo. En el caso de la urea convencional, al no tener protección o inhibidor de la actividad ureásica, su respuesta es limitada tal como se evidenció en esta investigación.



**Figura 5.** Precipitación mensual promedio de San Juan de Chicué, Cartago, Costa Rica. Fuente: Retana (2006).

La principal pérdida de la urea es su volatilización en época seca (Jones et al., 2013, Campana et al., 2015), mientras que la del nitrato de amonio es la lixiviación en época lluviosa (Zaman et al., 2008; Li et al., 2014). En el mes de diciembre, aún se presenta precipitación suficiente en la zona de estudio (Figura 5) para que las pérdidas por lixiviación del nitrato de amonio fuesen mayores que las de volatilización de la urea convencional y la urea protegida. Aunque el nivel de radiación es mayor en la época seca, la temperatura registra los valores mínimos del año en la zona del estudio, lo cual pudo favorecer a menores pérdidas por volatilización de la urea (Bouwmeester et al., 1985; Frame et al., 2012).

Los componentes estructurales de la pastura fueron diferentes entre los muestreos y entre fincas, mostrando una tendencia a incrementar la producción de hojas en ambas fincas. La relación hoja:tallo para la finca A varió entre 0,81 a 3,45 mientras que la finca B varió entre 2,16 a 4,06. Lo anterior se puede presentar porque al inicio de la germinación la pastura tiene una alta densidad de rebrotes y la biomasa es baja, con lo que la proporción de hoja y tallo varía rápidamente en términos relativos. Cuando las plantas están sometidas a mucha competencia, buscan estratos más altos para una mejor captación de la luz solar (Manea y Leishman, 2015), con lo cual se puede producir más tallo que hoja. A lo largo de las cosechas en este estudio se disminuyó la cantidad de rebrotes (Cuadro 3), lo cual permitió un mayor desarrollo de la pastura hacia la producción de hojas (Irving, 2015). La pastura destina sus reservas energéticas a la producción de hojas; con lo que se incrementa el aparato fotosintético (cantidad de hojas) y destina menos energía a estructuras de soporte (tallos) (Liu et al., 2018).

Las diferencias encontradas entre las dos fincas se atribuyen a condiciones específicas de la zona, siendo el material senescente un indicador entre ellas. La finca B presentó una mayor presencia de material senescente en comparación con la finca A (12 y 4%, respectivamente), esto pudo ser por el auto-sombramiento (Irving, 2015). Dicha sombra dificulta el paso de la radiación solar a estratos inferiores produciendo así su senescencia (Faithfull et al., 2012). De igual forma, conforme avanzaron los muestreos se observó una mayor cobertura en la finca B con respecto a la A, propiciando el auto-sombramiento.

A pesar de que los componentes estructurales cambiaron a través del tiempo, el hecho que la pastura destinara más recursos hacia la producción de hojas sobre la producción de tallo, no implicó una disminución en el material senescente. Esto porque este componente depende más de un estado fenológico de maduración de la planta que de los otros componentes estructurales (Gregersen et al., 2013). Otro factor determinante en la senescencia de la pastura es su densidad de siembra (Thomas, 2013). A mayor densidad de rebrotes como se mencionó anteriormente, se pueden presentar condiciones de auto-

sombramiento, disminuyendo la radiación solar en estratos inferiores y, por tanto, aumentando la senescencia en dichos estratos (Silva et al., 2015).

La cantidad de hojas vivas varió conforme avanzaron los muestreos, presentándose valores mayores a 2 hojas vivas en los primeros dos muestreos, siendo recomendada una edad entre 2,5-3,0 hojas en el pasto ryegrass (Irving, 2015). Se dio una disminución en el número de hojas vivas en los meses de dic y feb en la finca A (1,9 y 1,4) y B (1,6 y 1,8), lo cual coincide con la pérdida en capacidad de rebrote mostrada por el ryegrass Jumbo en ambas fincas.

## CONSIDERACIONES FINALES

El pasto ryegrass cv. Jumbo al ser un cultivo anual mostró una disminución en la cantidad de rebrotes y hojas vivas a lo largo del estudio. Dicha tendencia se mantuvo para ambas variables conforme se avanzó en las cosechas del cultivo.

El comportamiento de los componentes estructurales de la pastura depende de factores específicos del manejo cultural y las condiciones agroclimatológicas. Se observó una tendencia a aumentar la proporción de hoja conforme se estableció y desarrolló la pastura.

El aumento en el material senescente se atribuye una alta cobertura de la pastura ryegrass cv. Jumbo mostrado en la finca de menor elevación, donde se evidenció un factor de auto-sombramiento. Una posible estrategia para evitar este comportamiento es la implementación de ciclos de cosecha menores una vez se hayan realizado las primeras cosechas.

La edad de cosecha de 60 días utilizada en este estudio favoreció un desarrollo morfológico del pasto ryegrass Jumbo con altas proporciones de hoja y bajas proporciones de material senescente, lo cual puede favorecer el aporte de biomasa con mayor concentración de nutrientes por su uso común en sistemas de corte y acarreo.

La fuente nitrogenada no afectó las variables evaluadas de forma consistente. Con ello se recomienda establecer programas de fertilización que tengan el menor impacto ambiental sin comprometer el rendimiento de la pastura. En zonas con precipitación intensa en cortos periodos de tiempo se aconseja usar tecnologías de lenta liberación como la urea protegida con azufre.

## LITERATURA CITADA

- Astudillo, H. R. 2015. Determinación de la edad y la hora de corte sobre la concentración de carbohidratos solubles en el *Panicum maximum* (Pasto Guinea). Tesis Bach, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3769/1/17T1237.pdf> (consultado 2 Mar. 2021).
- Ávila, M. R., Nabinger, C., Schneider-Canny, R., y Fedrigo, J. K. 2019. Composición botánica de un pastizal natural resembrado con ryegrass anual bajo fertilización con nitrógeno (En inglés). *Scientia Agropecuaria*, 10 (2): 303-305. Doi: 10.17268/sci.agropecu.2019.02.16
- Bailey, J. 1998. Variación de la proporción de amonio marcado con  $^{15}\text{N}$  y nitrato-N suministrados al raigrás perenne: efectos sobre la absorción y asimilación de nitrógeno y el crecimiento de las plantas (En inglés). *The New Phytologist* 140(3): 505-518. Doi: 10.1046/j.1469-8137.1998.00283.x
- Bouwmeester, R. J. B., Vlek, P. L. G., y Stumpe, J. M. 1985. Efecto de los factores ambientales sobre la volatilización del amoníaco de un suelo fertilizado con urea (En inglés). *Soil Science Society of America Journal*, 49 (2): 376-381. Doi: 10.2136/sssaj1985.03615995004900020021x

- Brown, P. L. 1971. Uso del agua y agotamiento del agua del suelo por el trigo de invierno de las tierras secas afectado por la fertilización con nitrógeno (En inglés). *Agronomy Journal*, 63 (1): 43-46. Doi: 10.2134/agronj1971.00021962006300010015x
- Campana, M., Alves, A. C., Anchão de Oliveira, P. P., de Campos Bernardi, A. C., Santos, E. A., Herling, V. R., Gomes de Morais, J.P. y Barioni, W. 2015. Volatilización de amoníaco de suelo expuesto y pastos de Tanzania fertilizados con una mezcla de urea y zeolita (En inglés). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46 (8): 1024-1033. Doi: 10.1080/00103624.2015.1019080
- Chalk, P. M., Craswell, E. T., Polidoro, J. C., y Chen, D. 2015. Destino y eficiencia de los fertilizantes de liberación lenta y controlada etiquetados con 15 N (En inglés). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 102 (2): 167-178. Doi: 10.1007/s10705-015-9697-2
- Chien, S. H., Gearhart, M. M., y Villagarcía, S. 2011. Comparación del sulfato de amonio con otros fertilizantes nitrogenados y azufrados para aumentar la producción de cultivos y minimizar el impacto ambiental: una revisión (En inglés). *Soil Science*, 176 (7): 327-335. Doi: 10.1097/SS.0b013e31821f0816
- Daryanto, S., Wang, L., Gilhooly III, W. P., y Jacinthe, P. A. 2019. Preferencia de nitrógeno a través de generaciones bajo proporciones cambiantes de nitrato de amonio (En inglés). *Journal of Plant Ecology*, 12(2): 235-244. Doi: 10.1093/jpe/rty014
- Dawar, K., Zaman, M., Rowarth, J. S., y Turnbull, M. H. 2012. La aplicación de urea con inhibidor de ureasa (N- (n-butil) triamidatofosfórica) en la aplicación de partículas finas mejora la absorción de nitrógeno en el raigrás (*Lolium perenne* L.) (En inglés). *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(3): 309-318. Doi: 10.1080/00380768.2012.680050
- Faithfull, I. G., Hocking, C., y McLaren, D. A. 2012. Manejo de pastizales nativos para minimizar la invasión del pasto aguja chileno (*Nassella neesiana*). En el desarrollo de soluciones a los problemas de malezas en evolución (En inglés). 18th Australasian Weeds Conference, Melbourne, Victoria, Australia, 8-11 October 2012 (pp. 59-62).

- Weed Science Society of Victoria Inc. <https://www.cabi.org/ISC/abstract/20123367541> (consultado el 5 abr. 2021)
- Frame, W. H., Alley, M. M., Whitehurst, G. B., Whitehurst, B. M., y Campbell, R. 2012. Evaluación in vitro de recubrimientos para controlar la volatilización del amoníaco de la urea aplicada en la superficie (En inglés). *Agronomy Journal*, 104(5): 1201-1207. Doi: 10.2134/agronj2012.0009
- Freitas, F. P. D., Fonseca, D. M. D., Braz, T. G. D. S., Martuscello, J. A., y Santos, M. E. R. 2012. Rendimiento de forraje y valor nutritivo de la hierba de Tanzania con suministros de nitrógeno y densidades de plantas (En inglés). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(4): 864-872. Doi: 10.1590/S1516-35982012000400006
- Gonzalez-Dugo, V., Durand, J. L., Gastal, F., Bariac, T., y Poincheval, J. 2012. La translocación restringida de raíz a brote y la disminución del tamaño del sumidero son responsables de la absorción limitada de nitrógeno en tres especies de gramíneas con déficit hídrico (En inglés). *Environmental and Experimental Botany*, 75: 258-267. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2011.07.009
- Gregersen, P. L., Culetic, A., Boschian, L., y Krupinska, K. 2013. Senescencia de la planta y productividad de los cultivos (En inglés). *Plant molecular biology*, 82(6), 603-622. Doi: 10.1007/s11103-013-0013-8
- INDER (Instituto de Desarrollo Rural, Costa Rica). 2016. Región Central Caracterización del territorio Cartago-Oreamuno-El Guarco-La Unión. San José, Costa Rica. 38 p.
- Irving, L. J. 2015. Asimilación de carbono, reparto de biomasa y productividad en pastos (En inglés). *Agriculture*, 5(4): 1116-1134. Doi: 10.3390/agriculture5041116
- Jones, C., Brown, B. D., Engel, R., Horneck, D., y Olson-Rutz, K. 2013. Volatilización de fertilizantes nitrogenados (En inglés). *Montana State University Extension*, EBO208. <https://www.landresources.montana.edu/soilfertility/documents/PDF/pub/Urea%20vol%20factors%20BMP%20combo.pdf> (consultado el 13 Mar. 2021)

- Kebrom, T. H., Spielmeyer, W., y Finnegan, E. J. 2013. Los pastos proporcionan nuevos conocimientos sobre la regulación de la ramificación de los brotes (En inglés). *Trends in Plant Science*, 18 (1): 41-48. Doi: 10.1016/j.tplants.2012.07.001
- Kering, M. K., Butler, T. J., Biermacher, J. T., y Guretzky, J. A. 2012. Rendimiento de biomasa y tasas de eliminación de nutrientes de pastos perennes bajo fertilización con nitrógeno (En inglés). *BioEnergy Research*, 5 (1): 61-70. Doi: 10.1007/s12155-011-9167-x
- Kraiser, T., Gras, D. E., Gutiérrez, A. G., González, B., y Gutiérrez, R. A. 2011. Una visión holística de la adquisición de nitrógeno en plantas (En inglés). *Journal of Experimental Botany*, 62 (4): 1455-1466. Doi: 10.1093/jxb/erq425
- Kuo, Y. J. 2015. Efectos del tipo de fertilizante sobre el contenido de clorofila y la biomasa vegetal en el pasto Bermuda común (En inglés). *African Journal of Agricultural Research*, 10 (42), 3997-4000. Doi: 10.5897/AJAR2015.10226
- Liang, R., y Liu, M. 2006. Preparación y propiedades de un fertilizante de urea de doble capa de liberación lenta y retención de agua (En inglés). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54 (4): 1392-1398. Doi: 10.1021/jf052582f
- Li, J., Li, F., Liu, Q., y Suzuki, Y. 2014. Contaminación por nitratos y su transferencia en aguas superficiales y subterráneas en áreas irrigadas: un estudio de caso del Piamonte de las montañas del sur de Taihang, China (En inglés). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16 (12): 2764-2773. Doi: 10.1039/C4EM00200H
- Liu, J., Wang, L., Wang, D., Bonser, S. P., Sun, F., Zhou, Y., Gao, Y. y Teng, X. 2012. Las plantas pueden beneficiarse de la herbivoría: efectos estimulantes de la saliva de las ovejas sobre el crecimiento de *Leymus chinensis* (En inglés). *PloSone*, 7 (1). Doi: 10.1371/journal.pone.0029259
- Liu, K., Sollenberger, L. E., Silveira, M. L., Newman, Y. C., y Vendramini, J. M. 2011. La intensidad del pastoreo y la fertilización con nitrógeno afectan la respuesta de la hojarasca en

- los pastos de bermuda grass 'Tifton 85': I. Masa, tasa de deposición y composición química (En inglés). *Agronomy journal*, 103 (1): 156-162. Doi: 10.2134/agronj2010.0320
- Liu, Y., Yang, X., Tian, D., Cong, R., Zhang, X., Pan, Q., y Shi, Z. 2018. Reasignación de recursos de dos especies de gramíneas durante el rebrote después de la defoliación (En inglés). *Frontiers in Plant Science*, 9: 1767. Doi: 10.3389/fpls.2018.01767
- Manea, A., yLeishman, M. R. 2015. Las interacciones competitivas entre pastos establecidos y plántulas de plantas leñosas bajo niveles elevados de CO<sub>2</sub> están mediadas por la disponibilidad de agua del suelo (En inglés). *Oecologia*, 177 (2): 499-506. Doi: 10.1007/s00442-014-3143-z
- McKee, H. S. 1962. *Metabolismo del nitrógeno en plantas* (En inglés). Oxford University Press. Nueva York, Estados Unidos. 728 pp.
- Montalvo, D., Degryse, F., y McLaughlin, M. J. 2015. Eficacia agronómica de fertilizantes granulares y fluidos de fósforo en Andisoles y Oxisoles (En inglés). *Soil Science Society of America Journal*, 79 (2): 577-584. Doi: 10.2136/sssaj2014.04.0178
- NaNagara, T., Phillips, R. E., y Leggett, J. E. 1976. Difusión y flujo másico de nitrógeno-nitrato en las raíces del maíz cultivadas en condiciones de campo (En inglés). *Agronomy Journal*, 68 (1): 67-72. Doi: 10.2134/agronj1976.00021962006800010018x
- Nave, R. L. G., Pedreira, C. G., y Pedreira, B. C. 2010. Valor nutritivo y características físicas del pasto *Xaraes palisade* grass afectado por la estrategia de pastoreo (En inglés). *South African Journal of Animal Science*, 40 (4). Doi: 10.4314/sajas.v40i4.65236
- Nelson, C. J., y Moore, K. J. 2020. *Morfología de la hierba* (En inglés). *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. John Wiley & Sons Ltd. Estados Unidos. 941 pp.
- Newman<sup>a</sup>, Y. C., Agyin-Birikorang, S., Adjei, M. B., Scholberg, J. M., Silveira, M. L., Vendramini, J. M. B., Rechcigl, J. E., y Sollenberger, L. E. 2009. Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre el potencial de remediación del fósforo de tres forrajes perennes de

- estación cálida (En inglés). *Agronomy journal*, 101 (5): 1243-1248. Doi: 10.2134/agronj2009.0117
- Newman<sup>b</sup>, Y. C., Agyin-Birikorang, S., Adjei, M. B., Scholberg, J. M., Silveira, M. L., Vendramini, J. M. B., Rechcigl, J. E., Sollenberger, L. E., y Chrysostome, M. 2009. Mejora del potencial de fitorremediación de fósforo de dos pastos perennes de estación cálida con fertilización con nitrógeno (En inglés). *Agronomy Journal*, 101 (6), 1345-1351. Doi: 10.2134/agronj2009.0163
- Paul, K. I., Polglase, P. J., O'connell, A. M., Carlyle, J. C., Smethurst, P. J., y Khanna, P. K. 2003. Definición de la relación entre el contenido de agua del suelo y la mineralización neta de nitrógeno (En inglés). *European Journal of Soil Science*, 54 (1): 39-48. Doi: 10.1046/j.1365-2389.2003.00502.x
- Pérez-UrriaC, E. 2009. *Fisiología Vegetal: aspectos básicos*. REDUCA, 2 (3), 1-47. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/9233/> (consultado el 4 Dic. 2020)
- Radonjic, D., Djordjevic, N., Markovic, B., Markovic, M., Stesevic, D., yDajic-Stevanovic, Z. 2019. Efecto de la fase fenológica de los pastos secos sobre la composición de ácidos grasos de la leche de vaca (En inglés). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79 (2), 278-287. Doi: 10.4067/S0718-58392019000200278
- Retana, J. 2006. *Climatología de la región del distrito de San Juan de Chicué y el Volcán Irazú*. Informe anual del Instituto Meteorológico Nacional.
- Schmidt, F., y Monteiro, F. A. 2015. El suministro de azufre afecta la morfología, el crecimiento y el estado nutricional del pasto Guinea Tanzania y el stylo Mineirão (En inglés). *Grass and Forage Science*, 70 (3): 439-450. Doi: 10.1111/gfs.12122
- Silva, V. J., Pedreira, C. G., Sollenberger, L. E., Carvalho, M. S., Tonato, F., y Basto, D. C. 2015. Acumulación de hierbas estacionales y valor nutritivo de las gramíneas de riego "Tifton 85", Jiggs y Vaquero Bermuda en respuesta a la frecuencia de la cosecha (En inglés). *Crop Science*, 55 (6): 2886-2894. Doi: 10.2135/cropsci2015.04.0225

- Souza, A., Sandrin, C. Z., Calió, M. F. A., Meirelles, S. T., Pivello, V. R., y Figueiredo-Ribeiro, R. C. L. 2010. Variación estacional de carbohidratos solubles y almidón en *Echinochaena inflexa*, una especie de gramínea nativa de la sabana brasileña, y en la gramínea invasora *Melinis minutiflora* (En inglés). *Brazilian Journal of Biology*, 70 (2): 395-404. Doi: 10.1590/S1519-69842010000200023
- Stanford, G., y Epstein, E. 1974. Relaciones de mineralización de nitrógeno-agua en suelos (En inglés). *Soil Science Society of America Journal*, 38 (1): 103-107. Doi: 10.2136/sssaj1974.03615995003800010032x
- Thomas, H. 2013. Senescencia, envejecimiento y muerte de toda la planta (En inglés). *New Phytologist*, 197 (3): 696-711. Doi: 10.1111/nph.12047
- Timilsena, Y., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H., y Adhikari, B. 2015. Fertilizantes de mayor eficiencia: una revisión de la formulación y los patrones de liberación de nutrientes (En inglés). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (6): 1131-1142. Doi: 10.1002/jsfa.6812
- Villalobos, L. 2012. Fenología, producción y valor nutritivo del pasto alpiste (*Phalaris arundinacea*) en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 36 (1): 25-37. <http://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/13940> (consultado el 20 Nov. 2020)
- Villalobos, L., y Sánchez, J. M. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agronomía Costarricense*, 34 (1): 31-42. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v34n01\\_031.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v34n01_031.pdf) (consultado el 15 oct. 2020)
- Vistoso, E., Iraira, S., y Sandaña, P. 2019. Efectos de la solubilidad del fertilizante de fósforo sobre el rendimiento y la calidad de los pastos en andisoles (En inglés). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-11. Doi: 10.1007/s42729-019-00152-6

- Wang, C., y Tang, Y. 2019. Respuestas de la fenología de las plantas a la adición de nitrógeno: un metanálisis (En inglés). *Oikos*, 128 (9): 1243-1253. Doi: 10.1111/oik.06099
- Warren, C. R. 2009. ¿La concentración de nitrógeno afecta las tasas relativas de absorción de nitrato, amonio y glicina? (En inglés). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172 (2): 224-229. Doi: 10.1002/jpln.200800251
- Witte, C. 2011. Metabolismo de la urea en plantas (En inglés). *Plant Science*, 180 (3): 431-438. Doi: 10.1016/j.plantsci.2010.11.010
- Zaman, M., Kurepin, L. V., Catto, W., yPharis, R. P. 2016. Evaluación del uso de hormonas vegetales y bioestimuladores en pastos forrajeros para mejorar la producción de biomasa seca de brotes por el raigrás perenne (*Lolium perenne L.*) (En inglés). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (3): 715-726. Doi: 10.1002/jsfa.7238
- Zaman, M., Nguyen, M. L., Blennerhassett, J. D., y Quin, B. F. 2008. Reducir las pérdidas de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}_3^-$ -N de un suelo de pasto con ureasa o inhibidores de nitrificación y fertilizantes nitrogenados elementales enmendados con S (En inglés). *Biology and Fertility of Soils*, 44 (5): 693-705. Doi: 10.1007/s00374-007-0252-4
- Zhang, R., yWienhold, B. J. 2002. El efecto de la humedad del suelo sobre el nitrógeno mineral, la conductividad eléctrica del suelo y el pH (En inglés). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 63 (2-3): 251-254. Doi: 10.1023/A:1021115227884