

Comportamiento agronómico, nutricional y contenido de taninos de la leguminosa *Lotus corniculatus* como efecto de la fertilidad del suelo

Agronomic and nutritional performance, and tannin content of the legume Lotus corniculatus as an effect of soil fertility

LUZ ELENA SANTACOLOMA VARÓN
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
luz.santacoloma@unad.edu.co

JAIRO ENRIQUE GRANADOS MORENO
jgranadosm@hotmail.com

SONIA ESPERANZA AGUIRRE FORERO
saguirref@hotmail.com

RESUMEN

La fertilidad del suelo es uno de los factores que afectan significativamente la calidad de los forrajes. En la sabana de Bogotá se acondicionaron las propiedades fisicoquímicas de un suelo para evaluar el comportamiento agronómico, la producción de biomasa, el contenido de proteína, fibra, digestibilidad de la materia seca y el contenido de taninos de *Lotus corniculatus*. En un arreglo completo al azar, se evaluaron tres tratamientos representados en acondicionadores de suelos (sin acondicionamiento, arena y un biofertilizante). Se encontró que las condiciones del suelo afectan de manera significativa la producción de biomasa, la concentración de proteína, el contenido de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y la producción de taninos condensados y taninos que precipitan proteína en *L. corniculatus*. Además, se encontró asociación negativa entre nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+) y pH con la concentración de taninos que precipitan proteína, mientras que el nitrógeno nítrico (N-NO_3^-) no afectó el contenido de taninos. Se identificó asociación negativa entre capacidad de intercambio catiónico y contenido de taninos

RECIBIDO: 29 DE OCTUBRE DEL 2014. APROBADO: 13 DE MARZO DEL 2015

— Cómo citar este artículo: Santacoloma Varón, L. E., Granados Moreno, J. E. y Aguirre Forero, S. E. (2015). Comportamiento agronómico, nutricional y contenido de taninos de la leguminosa *Lotus corniculatus* como efecto de la fertilidad del suelo. *Revista Ciencia Animal*, (9), 189-208.

condensados. Los resultados muestran la importancia de las condiciones físicas y químicas del suelo para producir forraje de *L. corniculatus* en alta cantidad y calidad.

Palabras clave: nutrientes, contenido de proteína, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, taninos condensados, taninos que precipitan proteína, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal.

ABSTRACT

Soil fertility is one of the factors that significantly affect forage quality. In the savannah of Bogotá, physicochemical properties of a plot were conditioned to evaluate the agronomic performance, biomass production, protein and fiber content, dry matter digestibility, and tannin content of *Lotus corniculatus*. In a complete random arrangement, three treatments with different soil conditioners (without conditioning, sand, and a bio-fertilizer) were evaluated. It was found that soil conditions significantly affect biomass production, protein concentration, neutral and acid detergent fiber content, and the production of condensed tannins and protein-precipitating tannins in *L. corniculatus*. In addition, a negative association was found between ammoniacal nitrogen ($N-NH_4^+$) and pH with the concentration of protein-precipitating tannins, whereas the nitrate nitrogen ($N-NO_3^-$) did not affect the tannins content found. A negative association was evidenced between cation exchange capacity and the content of condensed tannins. The results show the importance of physical and chemical soil conditions to produce forage of *L. corniculatus* in high quantity and quality.

Keywords: Nutrients, protein content, fiber, condensed tannins, protein-precipitating tannins.

Introducción

La alimentación de la población bovina del trópico alto es manejada en gran parte con praderas de gramíneas que presentan una serie de limitaciones nutricionales que no les permiten responder a las necesidades alimenticias de animales de alto valor genético. Por su parte, los costos de alimentación representan un porcentaje elevado cuando se asume la suplementación como la principal estrategia para la obtención de resultados productivos que busquen el retorno económico de la inversión realizada (Rodríguez, 2011). La inestabilidad

en los precios de alimentos comerciales, unida a los bajos precios de la leche, haría cada vez menos competitiva esta actividad productiva.

De otro lado, la variedad de recursos forrajeros en el trópico alto es baja (Osorio, 2011), siendo las más comunes, dentro de los pastos de bajo potencial productivo la grama nativa (*Cynodon* sp.), falsa poa (*Holcus lanatus*) y oloroso (*Anthoxanthum odoratum*), y en forrajes de alto potencial productivo el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el ryegrass (*Lolium perenne*) y el azul orchoro (*Dactylis glomerata*) (Correa, 2009). En la familia de las le-

guminosas, las especies forrajeras más comunes han sido la alfalfa (*Medicago sativa*), el trébol blanco (*Trifolium pratense*) y el trébol rojo (*Trifolium pratense*), las cuales tienen excelentes cualidades, pero no prosperan en ciertas condiciones tales como suelos de baja fertilidad, salinos o ácidos, y sus requerimientos de agua pueden ser altos (García, 2011). Entre las especies consideradas promisorias está el *Lotus corniculatus* o trébol de pájaro (Cárdenas, 2011), la cual constituye una alternativa alimenticia económica y sostenible para bovinos ubicados en ecosistemas de clima frío en Colombia.

Esta especie se adapta a suelos con intervalos de pH de 5,5 a 7,5 (Canals *et al.*, 2009) y condiciones de baja fertilidad, en las que no podrían progresar otras leguminosas de trópico alto como los tréboles (Grant, 2009). También tolera suelo con mal drenaje, debido a su raíz pivotante, profunda y ramificada (Cárdenas, 2011). Presenta una excelente calidad nutricional, con niveles de proteína entre 17,7 y 21,6% (Marley *et al.*, 2006), con menos contenido de celulosa y mayor contenido de carbohidratos no estructurales (Grant, 2009).

Entre las ventajas de la especie *Lotus corniculatus*, se destaca la presencia de taninos, por lo que es un forraje que no genera timpanismo, gracias a que estos metabolitos impiden la formación de gases y espuma en el rumen (Lagler, 2003).

El timpanismo se reduce en el pastoreo cuando el forraje contiene 5 g o más de taninos condensados por kilogramo de materia seca (Ramírez, Restrepo y Barry, 2005).

Asimismo, se ha determinado que los niveles de taninos condensados optimizan la utilización de proteína, sin afectar el consumo ni la digestibilidad de los carbohidratos, ante lo cual Hedqvist *et al.* (2000) expresan que la presencia de taninos condensados evita que la proteína sea degradada en el rumen, y ello permite un incremento en la producción de carne o de leche. A lo anterior, Norton (1999) añade que los taninos inhiben la degradación de la proteína dietaria en el rumen, disminuyendo las concentraciones de amonio, lo cual sugiere inhibición de las enzimas proteolíticas a este nivel. Por su parte, Márquez y Suárez (2008) exponen que cantidades moderadas de taninos condensados producen efectos benéficos sobre el metabolismo de las proteínas en rumiantes, debido a que reducen la degradación de la dieta proteínica en el rumen e incrementan la absorción de aminoácidos en el intestino delgado. Sin embargo, Waghorn *et al.* (citados en Otero e Hidalgo 2004) expresan que las altas concentraciones (5-10% de la materia seca) deprimen el consumo y la digestibilidad del forraje, en tanto que menores concentraciones (2-4% de la materia seca) podrían disminuir las pérdidas de la proteína de la

ingesta producida en la proteólisis, de los microorganismos del rumen e incrementar la absorción intestinal de las proteínas. Grant (2009), expone que los taninos condensados están relacionados negativamente con la digestibilidad de la materia seca y el nitrógeno digerido in vitro.

Por otra parte, Caviedes, Pabón y Carulla (2011) reportan que la presencia de metabolitos secundarios modifica los patrones de biohidrogenación ruminal, al incrementar la producción de precursores de ácido linoleico conjugado (ALC), lo cual confirma la tesis de que la presencia de taninos en forrajes como el *Lotus corniculatus* interviene en los procesos de fermentación ruminal. En tal sentido, Min *et al.* (2005) encontraron que los taninos tienen un efecto sobre la disminución de cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens*, una de las especies que más inciden en la biohidrogenación, y por tanto la oferta de forrajes con estos metabolitos modifica los patrones de fermentación de los lípidos, mejorando el contenido de ALC.

A este respecto, Khiaosa-Ard *et al.* (2009) reportaron que la incorporación de leguminosas taníferas como el *Lotus corniculatus* tiene un efecto benéfico sobre el contenido de ácidos grasos en la leche. No obstante, Márquez y Suárez (2008) refieren que los efectos negativos de los taninos condensados se relacionan con la disminución del consumo de alimentos,

debido probablemente a la reducción de la palatabilidad, ocasionada por los efectos astringentes de estos.

Por su parte, un factor ambiental de alta incidencia en la concentración de taninos en plantas, es la fertilidad del suelo. En este sentido, Barry y Mc Nabb (citados en Berard, 2011) reportaron concentración de taninos condensados del 8 al 11 % en *Lotus pedunculatus* creciendo en suelos ácidos sin aplicaciones de fertilizantes, mientras que en condiciones de mejor calidad evidenciaron valores tan solo de 2 a 3%. Según Norton (1999), los factores que inciden en el contenido de los taninos condensados en las plantas son: la genética de la planta, la especie, el grado de madurez, la estación climática, la humedad, el estado de crecimiento, la luminosidad, el corte y la defoliación por los herbívoros.

En el mismo sentido, Otero e Hidalgo (2004) reportan que la concentración de taninos en los forrajes presenta gran variación según las condiciones del ambiente en cuanto a temperatura, humedad y fertilidad de los suelos en los que se desarrollan, y exponen que la concentración es mayor en las especies que prosperan en suelos agrícolas pobres o de baja calidad, tal es el caso de las regiones tropicales y subtropicales.

Por tanto, el presente trabajo se propone determinar el efecto de la fertilidad del

suelo en la producción de biomasa de forraje *Lotus corniculatus*, en la concentración de proteína, contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), taninos condensados y taninos que precipitan proteína en esta leguminosa de trópico alto.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en la sabana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, Colombia (a 4° 35' 56" de latitud norte y 74° 04' 51" de longitud oeste), ubicada a 2600 msnm, dentro de la zona de confluencia intertropical, que tiene dos épocas de lluvia: en la primera mitad del año los meses de marzo, abril y mayo y en la segunda los meses de septiembre,

octubre y noviembre, precipitación que oscila entre 745 y 1941 mm/año, temperatura media de 14 °C y humedad relativa del 80% (Abril y González, 1999).

Se acondicionaron parcelas de 2 m x 2 m (figura 1), modificando sus características físicas y químicas con la incorporación de arena (20% del volumen del suelo) y un biofertilizante a razón de 1200 kg/ha, que se constituyen en los tratamientos. Se tomaron muestras de suelos utilizando el método de zig-zag, para cuantificar en ellas variables de fertilidad como textura, densidad aparente, pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, nitrógeno disponible, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica. Estas muestras fueron empacadas en

Figura 1. Aspecto de las parcelas de *Lotus corniculatus*



Fuente: elaboración propia.

bolsas negras, rotuladas y transportadas hasta un laboratorio particular ubicado en la ciudad de Bogotá D. C., donde se realizaron los respectivos análisis.

Toma de muestras vegetales

Para determinar la altura de la planta fueron seleccionadas al azar diez plantas por parcela, las cuales se midieron utilizando cinta métrica, tomando desde la base del suelo hasta su parte más alta. Para la producción de forraje (figura 2) se realizó un aforo de cada parcela a los 180 días de edad, obteniéndose valores para cada parcela. El material vegetal fue lavado con agua destilada desionizada, secado al sol, pesado y empacado en papel Kraft, para posteriormente llevarlo a un horno por veinticuatro horas a 60°C,

hasta obtener una masa constante, valor que fue extrapolado para cuantificar la producción materia seca del forraje por hectárea.

Análisis del material vegetal

La determinación de proteína cruda se realizó con el procedimiento reportado por Licitra, Hernández y Van Soest (1996), en tanto que para la FDN y la FDA se tuvo en cuenta la metodología de Van Soest, Robertson y Lewis (1991).

Para los análisis fitoquímicos las muestras fueron empacadas en bolsas negras, rotuladas adecuadamente para ser transportadas hasta el laboratorio de nutrición de la sede nacional José Celestino Mutis de la Universidad Nacional Abierta y

Figura 2. Recolección de la muestra de forrajes para pesaje



Fuente: elaboración propia.

a Distancia Colombia (UNAD), en la ciudad de Bogotá. Una vez ingresadas, fueron sometidas a proceso de secado al horno, a una temperatura de 105°C durante seis horas para el posterior tamizaje fitoquímico y determinación de taninos condensados por el método de Terril *et al.* (1997) y taninos que precipitan proteínas por el método propuesto por Makkar en 1997.

Diseño experimental

Para determinar el efecto de la fertilidad del suelo sobre las variables estudiadas, se empleó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y diez repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental una parcela de 2 m × 2 m.

El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

μ = Media general.

τ_j = Efecto del tratamiento i (T_1 : parcela testigo en la cual no se realizó ningún proceso de fertilización. T_2 representa la parcela 2, correspondiente al suelo con adición de are-

na, y T_3 la parcela con fertilización biológica (lombricompost).

E_{ij} = Error aleatorio.

Análisis estadístico

Las posibles diferencias estadísticas entre tratamientos se evaluaron utilizando elementos de la estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación y límites de confianza de la media) e inferencial (análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey), además de la correlación de Pearson para determinar la asociación entre las diferentes variables evaluadas.

En el caso específico de la producción de forraje, donde los datos no cumplieron el supuesto de normalidad, se recurrió al empleo de la prueba de Kruskal-Wallis como método no paramétrico para el análisis de varianza. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente usando el *software* estadísticos R (R Core Team, 2013), SPSS y Microsoft Excel.

Resultados

Análisis de suelo

Los resultados obtenidos en el análisis de suelos posteriormente al acondicionamiento se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. **Análisis de suelo realizado a los tratamientos**

<i>Propiedad/Tratamiento</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
pH	6,64	7,18	6,95
Conductividad eléctrica	0,3	0,52	0,86
Textura	F	FAr	F
Capacidad de intercambio catiónico cmol (+).kg ⁻¹	19	17	21
Potasio K ⁺ cmol (+) kg ⁻¹	0,81	0,5	1,07
Calcio Ca ⁺² cmol (+) kg ⁻¹	14,35	12,93	15,61
Magnesio Mg ⁺² cmol (+) kg ⁻¹	0,98	0,65	1,29
Sodio Na ⁺ cmol (+) kg ⁻¹	0,78	0,81	1,24
Aluminio Al ⁺³ cmol (+) kg ⁻¹	0,1	0,1	0,1
Fósforo P (mg kg ⁻¹)	77	85	133
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	12	9	9
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	10	40	70
Hierro Fe ⁺² (mg kg ⁻¹)	582	382	392
Manganeso Mn ⁺² (mg kg ⁻¹)	45	28	42
Zinc Zn ⁺² (mg kg ⁻¹)	27	29,9	33,5
Materia orgánica (%)	2,26	1,43	6,19
Carbono orgánico (%)	1,31	0,83	3,59
Saturación de bases (%)	85,12	83,01	85,83
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1,06	1,26	1,21

Fuente: elaboración propia.

En términos generales, se observan pH desde ligeramente ácido (T1 y T2) hasta cercano a la neutralidad (T3), lo que lo sitúa dentro del rango agronómico aceptable, texturas francas, CIC de media a alta, altos contenidos de K⁺, Ca²⁺ (catión dominante en el complejo de cambio), P, Fe⁺², Mn⁺² y Zn⁺², medios a bajos

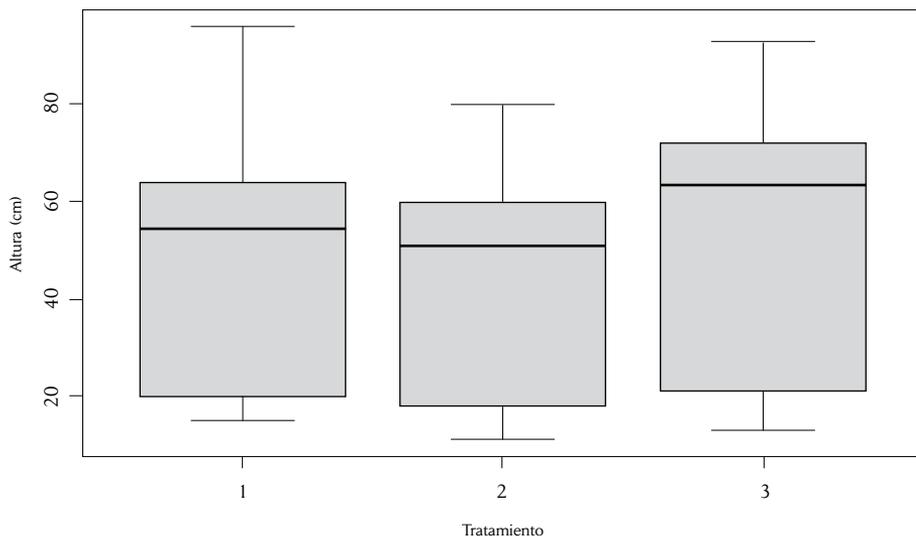
tenores de materia orgánica y densidad aparente dentro de límites normales para los suelos minerales. Los muy bajos contenidos de N pueden afectar significativamente los procesos de división celular en la planta, siendo el elemento nutriente más limitante. Se evidencian desbalances nutricionales, principalmente entre las bases. El alto contenido de Ca²⁺ puede favorecer la fijación del P en forma de fosfato de calcio, la precipitación de carbonatos de Ca²⁺ o Mg²⁺ e incrementar la volatilización de elementos como el nitrógeno.

Los datos reportados permitieron verificar el cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo, siendo el T3 el que presenta mayores valores para todas las propiedades analizadas, a excepción de la densidad aparente.

Altura de la planta

Los resultados mostraron diferencias significativas, siendo el T3 el que presentó mayor altura, seguido del T1 y del T2 con 54,2 cm, 43,8 cm y 38,5 cm, respectivamente (figura 3). Estos datos sugieren que la adición de acondicionadores orgánicos logró incrementar en 19 y 28% la altura de la planta con respecto a T1 y T2, respectivamente, posiblemente debido a la mayor (aunque marcadamente baja) disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo.

Figura 3. Resultados obtenidos en altura de la planta en los tres tratamientos



Fuente: elaboración propia.

Producción de forraje

En el análisis de la producción promedio por corte, el T3 mostró los mayores rendimientos de forraje verde ($35\,200\text{ kg ha}^{-1}$), con diferencias significativas con respecto a T1 ($33\,600\text{ kg ha}^{-1}$) y T2 ($33\,000\text{ kg ha}^{-1}$) (figura 4). Al llevar los anteriores datos a producción de materia seca por corte, ello nos indica $5\,280\text{ kg de materia seca ha}^{-1}$ para el T3, $5\,040\text{ kg de materia seca ha}^{-1}$ para el T1 y $4\,950\text{ kg de materia seca ha}^{-1}$ para el T2.

Calidad del forraje

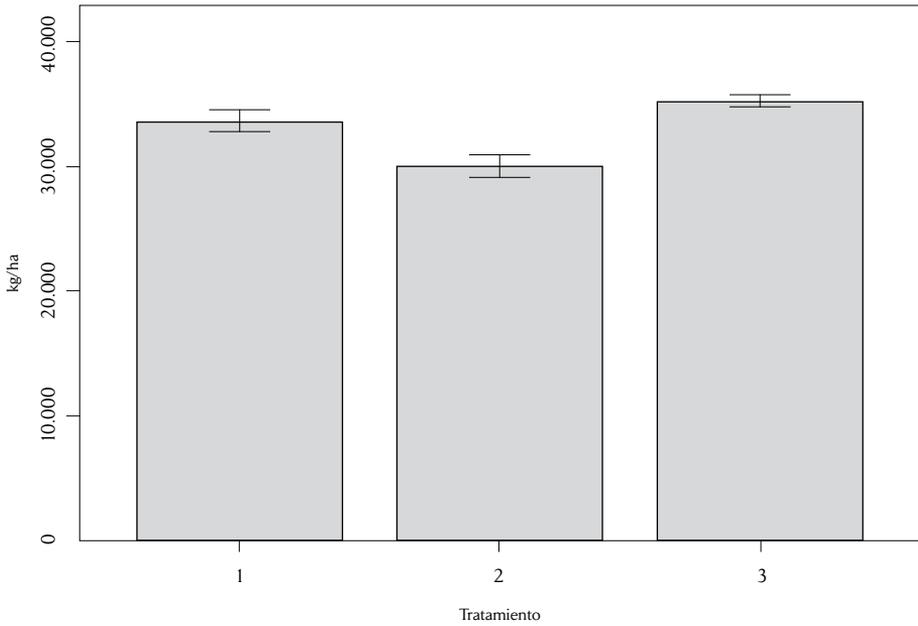
Los contenidos de FDA, FDN y proteína cruda son indicadores de la calidad del

forraje (Reijneveld, Abbink, Termorshuizen y Oenema, 2014). La FDA varió de forma significativa de $28,37\% \pm 0,5$, $29,40\% \pm 0,53$ y $28,17\% \pm 0,29$ en T1, T2 y T3, respectivamente. La FDN fue mayor en T2, con $43,83\% \pm 0,76$, con diferencias significativas respecto a T1 y T3 ($42,87\% \pm 0,35$ y $42,13\% \pm 0,23$, respectivamente) (figura 5).

Proteína

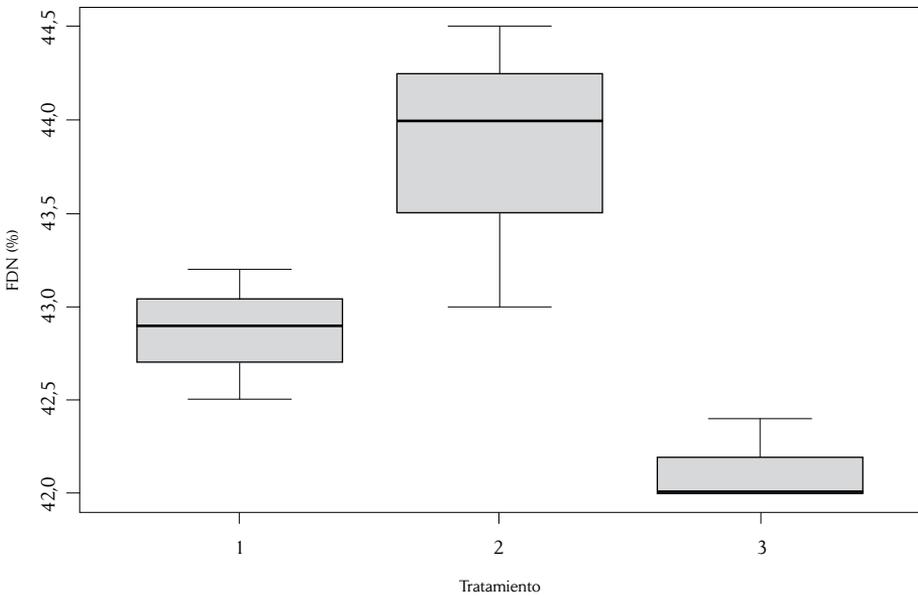
Respecto al contenido de proteína (figura 6), este fue significativamente mayor en T3 ($22,93\% \pm 1$) respecto a T1 ($21,93\% \pm 0,12$) y T2 ($20,70\% \pm 0,44$).

Figura 4. **Resultados obtenidos en producción de forraje verde en los tres tratamientos**



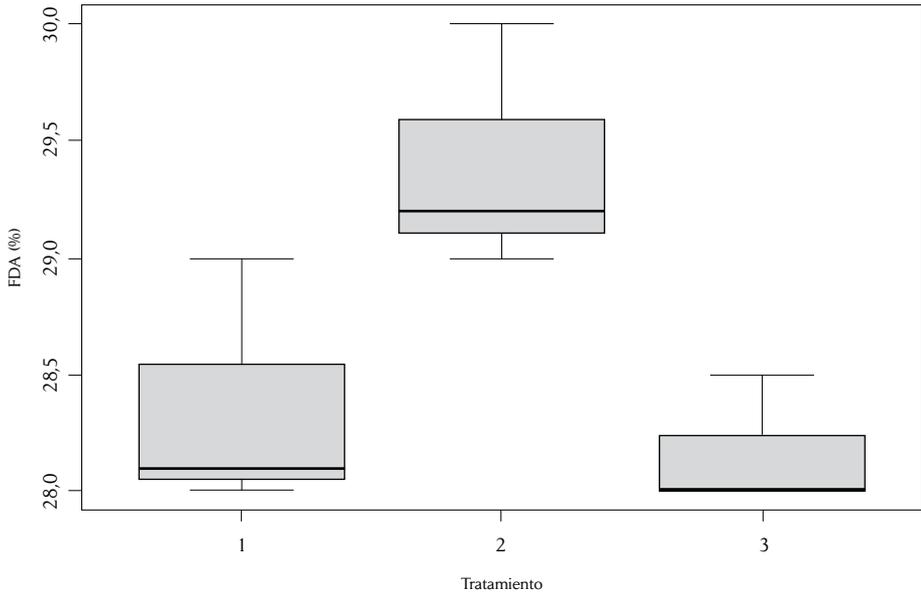
Fuente: elaboración propia.

Figura 5a. **Resultados obtenidos en contenido de FDN del forraje en los tres tratamientos**



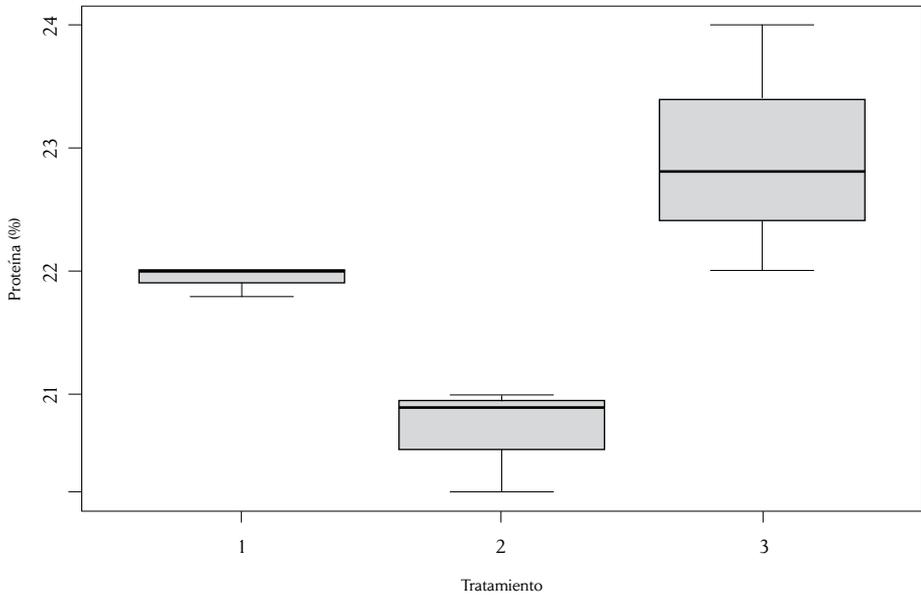
Fuente: elaboración propia.

Figura 5a. **Resultados obtenidos en contenido de FDA del forraje en los tres tratamientos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Contenido de proteína del forraje en los tres tratamientos**



Fuente: elaboración propia.

Fitometabolitos

TANINOS CONDENSADOS EN EL FORRAJE DE *LOTUS CORNICULATUS*

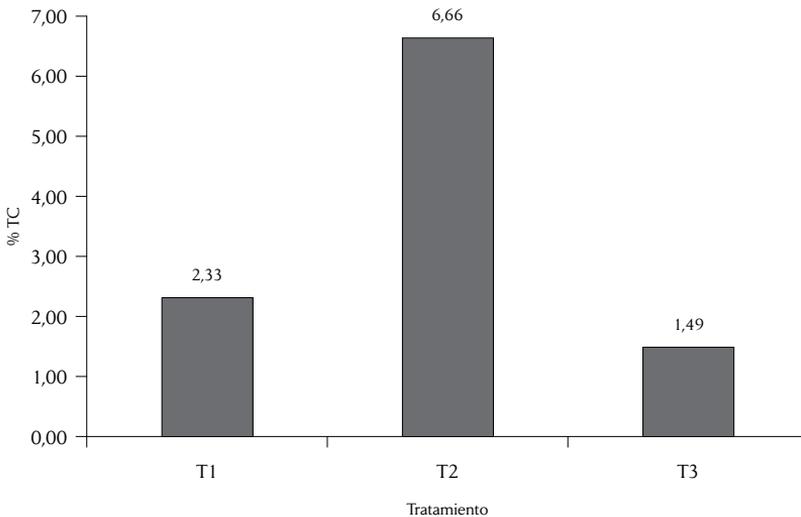
En la determinación de taninos condensados en el forraje de *Lotus corniculatus* se encontró que en el tratamiento 2, al cual se le adicionó arena al suelo, se presentó una mayor concentración de estos metabolitos, y ello nos permite inferir que la disminución de nutrientes disponibles en el suelo pudo haber generado condiciones de estrés en la planta y como consecuencia de ello una mayor producción de taninos condensados. En el tratamiento 3, el cual presenta mayores niveles de fertilidad en el suelo, se observa menor contenido de metabolitos en el

forraje estudiado. Este comportamiento se puede apreciar en la figura 7.

Otros factores ambientales también afectan el contenido de taninos condensados. A este respecto Robbins (2005) encontró que los niveles de taninos se incrementaron en hojas y tallos de *Lotus corniculatus* al duplicarse el CO₂.

Cuando se realizó el análisis de varianza simple para los promedios de taninos condensados, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$), entre los tratamientos, lo cual se puede atribuir a las diferencias de las propiedades fisicoquímicas existentes en cada parcela.

Figura 7. Concentración (%) de taninos condensados en el forraje de *Lotus corniculatus* en los tres tratamientos



Fuente: elaboración propia.

TANINOS QUE PRECIPITAN PROTEÍNA (TPP)

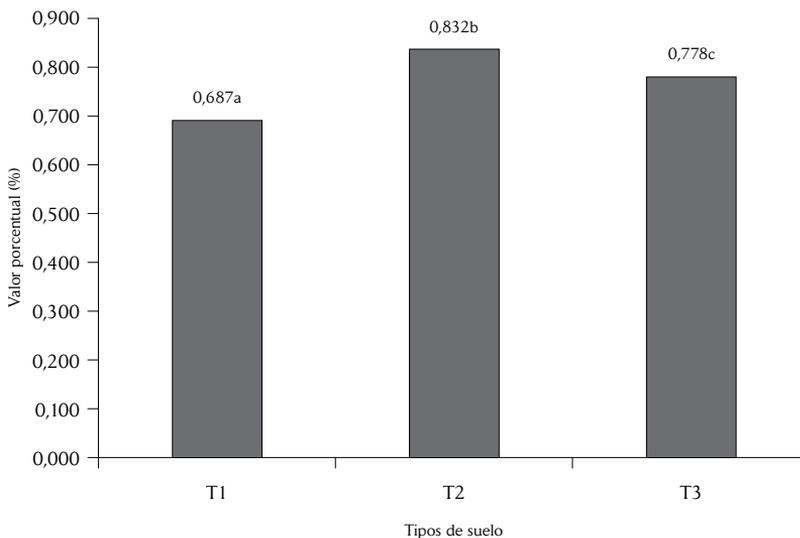
Dado que los taninos condensados tienen la capacidad para adherirse a otras moléculas, como proteínas, polisacáridos, minerales, carbohidratos, celulosa, células de las membranas bacterianas y enzimas involucradas en la digestión de los compuestos mencionados, la unión con proteínas es una de las características que presentan mayor impacto en la nutrición animal. Por lo anterior, se determinó la concentración de TPP y se encontró que en el tratamiento 2 se presenta la mayor concentración, y ello coincide con unas características fisicoquímicas en el suelo inferiores a las de los demás tratamientos. Se encontraron diferencias estadísticas

altamente significativas ($p < 0,01$), entre los tratamientos, lo cual se puede atribuir a las diferencias de las propiedades fisicoquímicas existentes en cada parcela. En la figura 8 se observa el comportamiento de los taninos que precipitan proteína en el forraje de *Lotus corniculatus* en los tres tratamientos.

Análisis de correlación entre las variables del suelo y los metabolitos secundarios

Los resultados obtenidos en el estudio de la correlación entre las variables del suelo y los taninos condensados y los TPP se pueden observar en la tabla 2.

Figura 8. Concentración de taninos que precipitan proteína (TPP) en los tres tratamientos



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. **Análisis de coeficientes de correlación-significancia estadística**

	TC	TPP	N-NH4	N-NO3	CICE	PH	CE
TC	1,000						
TPP	NS	1,000					
N-NH4	NS	**(-)	1,000				
N-NO3	NS	NS	*(_)	1,000			
CICE	** (-)	NS	NS	NS	1,000		
PH	NS	**(-)	*(_)	NS	NS	1,000	
CE	NS	NS	NS	**(+)	NS	NS	1,000

* Correlación significativa (p<0,05).

** Correlación altamente significativa (p<0,01).

NS: Correlación no significativa (p>0,05).

Valores críticos	Una cola
t 0,05	t 0,01
0,811	0,917

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2 se observa que el pH de los suelos correlacionó de manera positiva y no significativa con la producción de taninos condensados, pero presentó correlación negativa altamente significativa con los TPP. Lo anterior coincide con lo planteado por Hagerman *et al.* (1998), al exponer que los taninos no precipitan proteína a pH muy altos. A este respecto Ramos *et al.* (1998, citando a Koupai-Abyazani) expresan que los complejos tanino-proteína se forman con mayor facilidad a un pH próximo a 6,0, correspondiente a los valores medios en el rumen.

Se detectó que el nitrógeno amoniacal correlacionó de forma negativa y muy significativa con la concentración de taninos que precipitan proteína. El nitrógeno

nitrógeno no afectó de manera significativa el contenido de taninos condensados y TPP en *Lotus corniculatus*. Finalmente, se destacó la correlación negativa y de alta significancia estadística entre la capacidad de intercambio catiónica efectiva de los suelos y la producción de taninos condensados. No se encontraron correlaciones significativas entre la conductividad eléctrica y los metabolitos secundarios estudiados.

Discusión

Análisis de la producción de forraje

Los resultados obtenidos en la producción de forraje en los tratamientos T1,

T2 y T3, al considerar dos cortes por año para el primer año de establecimiento, coinciden con los obtenidos por Zarza (2007), quien registró producciones de 9200 kg de materia seca por ha⁻¹ al año y 10380 kg por ha⁻¹ al año en un experimento con dos cortes en el primer año de establecimiento de *Lotus corniculatus*. Este mismo autor reporta en 2008 producciones de 11200 kg de materia seca por ha⁻¹ al año, en condiciones de riego. Tanto los resultados reportados por este autor como los obtenidos en el presente estudio indican que existe amplia variación en la producción de forraje, de acuerdo con las condiciones del suelo. No obstante, otros autores como Marley (2006) y Pecetti *et al.* (2009) reportan producciones de 6000 y 4470 kg de materia seca por ha⁻¹ al año, respectivamente.

Análisis de la calidad del forraje

Los resultados obtenidos en el presente estudio respecto a la calidad del forraje coinciden con lo planteado por otros autores, en el sentido de que la fertilidad del suelo induce a cambios en la composición química del forraje (Barahona y Solange, 2005). A este respecto, estudios realizados por Schmidt (2000) con la especie *D. ovalifolium* mostraron que el contenido de fibra varió de acuerdo con la fertilidad del suelo y que el aumento en el contenido de FDN disminuyó significativamente la digestibilidad del forraje. Respecto al contenido de

proteína, los datos mostraron que este nutriente fue significativamente mayor en T3 (22,93% ± 1) respecto a T1 (21,93% ± 0,12) y T2 (20,70% ± 0,44). Claramente, el incremento de los contenidos de arena en el suelo afecta de manera negativa el tenor proteico del forraje, y refleja el reducido aporte de nutrientes por parte del suelo. Esto se explica por los menores valores de CIC, contenido de arcilla y de materia orgánica. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cueto *et al.* (2003), que presentan un alto contenido de proteína cruda en el *Zacate ballico* al ser fertilizado el suelo donde es cultivado con fertilizantes orgánicos.

Análisis de metabolitos secundarios

TANINOS CONDENSADOS

El comportamiento presente en los taninos condensados en el presente estudio coincide con lo planteado por Waghorn *et al.* (2003), en el sentido de que las concentraciones de taninos condensados en hojas de *Lotus corniculatus* aumentaron cuando las condiciones del suelo fueron pobres. En este mismo orden, Barry *et al.* (1999) encontraron que la concentración de taninos condensados en *Lotus pedunculatus* fue de 11,8% de la materia seca, cuando se cultivó en suelos ácidos sin aplicación de fertilizantes, y de 2,3% de materia seca cuando se cultivó en

suelos con alta fertilidad. Lo anterior se explica porque la concentración de iones en la solución, junto con las propiedades fisicoquímicas, puede afectar la movilización de nutrientes desde el suelo a la planta (Jungk, 2001).

Lo anterior también es coherente con lo expresado por Posada, Montoya y Ceballos (2005), quienes reportaron que la fertilidad del suelo es un factor interviniente en el contenido de taninos en las especies vegetales.

TANINOS QUE PRECIPITAN PROTEÍNA

La presencia de TPP, particularmente importante en la utilización del *Lotus corniculatus* como forraje para alimentación de rumiantes, obtuvo una mayor concentración en el tratamiento 2, en el cual el suelo mostraba características de menor fertilidad. Al no encontrarse correlaciones significativas entre la conductividad eléctrica y los metabolitos secundarios estudiados, no se coincide con lo reportado por Arambula *et al.* (2010), quienes habían identificado una correlación alta y positiva entre el contenido fenólico y la conductividad eléctrica en suelos de textura arcillo-arenosa. En el mismo sentido, Santacoloma y Granados (2012) hallaron alta correlación entre el valor de la conductividad eléctrica del suelo y el contenido de metabolitos secundarios en las especies *Gliricidis sepium* y *Tithonia diversifolia*.

Conclusiones

Los resultados permiten concluir que en suelos de buenas características de fertilidad se presenta alta incidencia en las condiciones de calidad del forraje de *Lotus corniculatus*, como bajo contenido de FDN y FDA, lo cual permite una mejor digestibilidad del forraje. Asimismo, se muestra una clara relación entre la fertilidad del suelo con fertilizantes orgánicos y el contenido de proteína cruda en el forraje.

Debido a que se pudo constatar que en suelos de más alta fertilidad se presenta una disminución del contenido de metabolitos en el forraje estudiado, las relaciones entre el suelo y el metabolismo secundario de las plantas (TC y TPP) constituyen un factor importante para disminuir el efecto adverso que tienen algunos forrajes sobre la digestión y absorción de nutrientes en rumiantes.

Las relaciones entre el suelo y el metabolismo secundario de las plantas constituyen un factor importante para disminuir el efecto adverso que tienen algunos forrajes sobre la digestión y absorción de nutrientes en rumiantes.

Referencias

- Abril, M. L. y González, F. (1999). *Zonificación por balance hídrico de la cuenca alta y media del río Bogotá, utilizando siste-*

- mas de información geográfica*. Recuperado el 24 de mayo del 2014, de <http://proceedings.esri.com/library/userconf/latinproc99/ponencias/ponencia26.html> Acceso.
- Arambula, J., Ibarra, B. I., González, B., Galindo, O. D. y Hernández, H. (2010). Variación estacional de compuestos fenólicos foliares en *Quercus sideroxyla* en diferentes tipos de suelos. *Madera y Bosques*, 16 (3), 49-59.
- Barahona Rosales, R., Theodoru, M., Morris, P., Owen, E. y Lascano, C. E. (1997). *Avances en la investigación de factores antinutricionales en leguminosas forrajeras tropicales*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Barry, T. N. y Mc Nabb, W. C. (1999). The effect of condensed tannins in temperate forages on animal nutrition and productivity. En J. D. Brooker (ed.), *Tannins in livestock and human nutrition* (pp. 30-35). Canberra: Australian Center for International Agricultural Research. Recuperado de <http://www.aciar.gov.au/>.
- Berard, N. C., Wang, Y., Wittenberg, K. M., Krause, D. O., Coulman, B. E., McAllister, T. A. y Ominski, K. H. (2011). Condensed tannin concentrations found in vegetative and mature forage legumes grown in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 91 (4), 669-675.
- Canals, R., Peralta, J., Zubiri E. (s. f.). *Vicia Sativa L., veza*. Recuperado el 5 de mayo del 2014, de www.unavarrarra.es/servicio/herbario/pratenses/html/vici_sati_p.html.
- Cárdenas, E. (2011). *Lotus; nueva leguminosa forrajera para los sistemas lecheros de clima frío y zonas templadas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Editorial Produmedios.
- Caviedes, J., Pabón, L. y Carulla, J. (2011). Relación entre las características de la pastura y el contenido de ácido linoleico conjugado (ALC) en la leche. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, (24), 63-73.
- Correa, H. J., Pabón, M. L. y Carulla, J. E. (2009). Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (4).
- Cueto, J. A., Quiriga, G. y Becerra, M. (2003). Efecto del nitrógeno total disponible sobre el desarrollo del ballico anual, producción y calidad de forraje y acumulación de nitratos. *Tierra*, (21).
- García Bonilla, D. V. (2011). Evaluación productiva y de calidad forrajera de 12 colectas de *Lotus corniculatus* L. y su posible utilización en regiones templadas del estado de Puebla. Recuperado el 7 de mayo del 2014, de <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/622>
- Grant, W. F. (2009). *Lotus corniculatus*. SciTopics, Canadá. Recuperado el 8 de octubre del 2013, de http://www.SciTopics.com/Lotus_corniculatus.html.
- Hagerman, A. E., Riedl, K. M., Jones, G. A., Sovik, K. N., Ritchard, N. T., Hartzfeld, P. W. y Riechel, T. L. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *Journal of*

- Agricultural and Food Chemistry*, 46 (5), 1887-1892.
- Hedqvist, H., Mueller-Harvey, I., Reed, J. D., Krueger, C. G. y Murphy, M. (2000). Characterization of tannins and in vitro protein digestibility of several *lotus corniculatus* varieties. *Animal Feed Science and Technology*, (87), 41-56.
- Jungk, A. (2001). Root hairs and the acquisition of plant nutrients from soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, (162), 9-24.
- Khiaosa-Ard, R., Bryner, D. F., Scheeder, M. R. L., Wettstein, H. R., Leiber, F., Kreuzer, M. y Soliva, C. R. (2009). Evidence for the inhibition of the terminal step of ruminal α -linolenic acid biohydrogenation by condensed tannins. *Journal of Dairy Science*, (92), 177-188.
- Koupai-Abyazani, M. R., Muir, A. D., Bohm, B. A., Towers, G. H. y Gruber, M. Y. (1993). The proanthocyanidin polymers in some species of *Onobrychis*. *Phytochemistry*, 34 (1), 113-117.
- Lagler, J. C. (2003). Lotus: un género que no acaba en dos especies. *Revista: Forrajes & Granos*, 62, 72-76.
- Licitra, G., Hernandez, T. M. y Van Soest, P. J. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 57 (4), 347-358.
- Makkar, H. P., Blümmel, M. y Becker, K. (1997). Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in vitro techniques. *British Journal of Nutrition*, (73), 897-913.
- Marley, C. L., Fychan, R. y Jones, R. (2006). Yield persistency and chemical composition of lotus species and varieties (birdsfoot trefoil and greater birdsfoot trefoil) when harvested for silage in the U.K. *Grass and Forage Science*, (61), 134-145.
- Márquez, D. y Suárez, A. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*, 16, 87-109.
- Min, B. R., Attwood, G. T., McNabb, W. C., Molan, A. L. y Barry, T. N. (2005). The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria. *Animal Feed Science and Technology*, (121), 45-58.
- Norton, B. W. (1999). The significance of tannins in tropical animal production. *CIAR Proceedings*, 92, 14-23.
- Osorio, M. M. y Segura, J. C. (2011). Sustentabilidad de los sistemas de producción bovina del trópico: mejoramiento genético. *Livestock Research for Rural Development*, 23 (8). Recuperado el 18 de noviembre del 2013, de http://www.produccion-animal.com.ar/genetica_seleccion_cruzamientos/bovinos_de_carne/89-sustentabilidad_tropico.pdf.
- Otero, M. e Hidalgo, L. (2004). Condensed tannins in temperate forages species: effects on the productivity of ruminants infected with internal parasites (a review). *Livestock Research for Rural Development*, 16 (2), 18-36.

- Pecetti, L., Annichiarico, P., Battini, F. y Cappelli, S. (2009). Adaptation of forage legume species and cultivars under grazing in two extensive livestock systems in Italy. *European Journal of Agronomy*, (30), 199-204.
- Posada, S., Montoya, G. y Ceballos, A. (2005). Efecto de los taninos sobre la digestión, el metabolismo y la producción en rumiantes. En *Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca* (pp. 181-206). Bogotá: Biogénesis.
- Ramírez-Restrepo, C. A., Barry, T. N., López-Villalobos, N., Kemp, P. D. y Harvey, T. G. (2005). Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase reproductive efficiency in ewes under commercial dryland farming conditions. *Animal Feed Science and Technology*, (121), 23-43.
- Ramos, G., Frutos, P., Giráldez, F. J. y Mantecón, Á. R. (1998). Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Archivos de Zootecnia*, (47), 597-620.
- Reijneveld, J. A., Abbink, G. W., Termorshuizen, A. J. y Oenema, O. (2014). Relationships between soil fertility, herbage quality and manure composition on grassland-based dairy farms. *European Journal of Agronomy*, (56), 9-18.
- Robbins, M. P., Bavage, A. D., Allison, G., Davies, T., Hauck, B. y Morris, P. A. (2005). Comparison of two strategies to modify the hydroxylation of condensed tannin polymers in *Lotus corniculatus* L. *Phytochemistry*, 66 (9), 991-999.
- Rodríguez, I. (2011). Estrategias de alimentación para bovinos del trópico. *Mundo Pecuario*, 7 (3), 167-170. Recuperado el 12 de abril del 2014, de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/33777/1/articulo6.pdf>.
- Santacoloma, L. y Granados, J. E. (2012). Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Revista de Investigaciones Agraria y Ambiental*, 3 (1), 53-63.
- Schmidt, A., Heider, B. y Schultze-Kraft, R. (2000). Preliminary studies on the influence of boron on forage quality of the pasture legume *Desmodium ovalifolium*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, (17), 288-294.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B. y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10), 3583-3597.
- Waghorn, G. C. y Shelton, I. D. (2003). Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* on the nutritive value of pasture for sheep. *Journal of Agricultural Science*, (128), 365-372.
- Zarza, R., Rebuffo, M. y Alzugaray, R. (2007). Colecta y caracterización de poblaciones criollas de *Lotus corniculatus* en Uruguay. *Lotus News Letter*, (37), 22-23.

Anexo 1

Análisis de varianza para taninos condensados

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	46,1200889	2	23,0600444	33,72447189	0,00054513	5,14325285	**
Dentro de los grupos	4,10266667	6	0,68377778				
Total	50,2227556	8					

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2

Análisis de varianza para taninos que precipitan proteína

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0,03217356	2	0,01608678	11,95746614	0,00806844	5,14325285	**
Dentro de los grupos	0,008072	6	0,00134533				
Total	0,04024556	8					

Fuente: elaboración propia.