

Evaluación de la relación suelo-planta en un sistema productivo de leche del altiplano Nariño, Colombia

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

José Edmundo Apráez-Guerrero¹, Gema Lucía Zambrano-Burbano², Jorge Fernando Navia-Estrada³

^{1,2} Departamento de Producción y Procesamiento Animal, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia..

³ Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia.

eapraez@udenar.edu.co

(Recibido: 25 de Febrero de 2014 Aprobado: 08 de Mayo de 2014 Actualizado: 19 Noviembre de 2014)

RESUMEN: La investigación se realizó en la finca Los Arrayanes, corregimiento de Catambuco, departamento de Nariño, Colombia. El objetivo fue evaluar la relación del suelo sobre la composición del pasto *Lolium hybridum* en monocultivo y la mezcla de los pastos *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp. Los indicadores edáficos del monocultivo en las zonas alta, media y baja mostraron diferencias ($P < 0,05$), la materia orgánica varió entre 19,2 y 20,7%, el pH de 5,7 a 6,18, potasio de 1,6 a 2,41 (cmol/kg^{-1}), magnesio de 3,3 a 3,67 (cmol/kg^{-1}), calcio de 9,38 a 12,38 (cmol/kg^{-1}), capacidad de intercambio catiónico de 14,27 a 18,29 (cmol/kg^{-1}). No se observaron diferencias ($P > 0,05$), cuando se realizó el análisis por época (lluviosa-seca). En los pastos en mezclas, los resultados fueron estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) para las mismas variables del monocultivo.

Los suelos tuvieron una textura Franco-Arenosa, con buena estabilidad, diámetro medio ponderado entre 3,0 y 5,0. En el monocultivo, la densidad aparente por zona mostró diferencias ($P < 0,05$); la densidad real y porosidad total no las presentaron ($P > 0,05$). Los resultados en la mezcla de pastos por zona no mostraron diferencias ($P > 0,05$) en densidad real (DR), densidad aparente (DA) y porosidad total (PT). Sin embargo, en el estudio por época si las hubo ($P < 0,05$) en DR y PT. Los valores de DA por zona y época en el monocultivo y la mezcla de pastos fueron de 0,66 a 0,71 (g/cc); DR de 2,06 a 2,32 (g/cc) y PT entre 66% a 70,9%. En el monocultivo, se observaron diferencias ($P < 0,05$), en el periodo de recuperación (PR) y producción de biomasa (PB), tanto por época como por zona. No obstante, en la mezcla de pastos el PR fue diferente ($P < 0,05$) entre épocas, pero no se observaron diferencias por zona. Los valores medios de PR por época y por zona fluctuaron entre 26 a 32 d; la PB fue de 4,4 a 4,8 (kg/m^2) en el monocultivo; mientras

que en la pradera en mezcla el PR fluctuó entre 45 a 60 d y la PB de 4,9 a 5,8 (kg/m²). En el análisis bromatológico se observaron diferencias ($P < 0,05$) únicamente por zona, para los componentes proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y nutrientes digestibles totales (NDT), tanto en la pradera en monocultivo como en mezcla. Los valores obtenidos fueron: PC 25,2%; FDN 50,6%; FDA 25,1%; NDT 64,6% y 0,22%, 0,30%, 0,14% para Ca, P y Mg, respectivamente. En la mezcla, se encontraron promedios de PC 22,5%; FDN 56,7; FDA 26,4%; NDT 61,6%; Ca 0,57%; P 0,32% y Mg 0,24%.

Palabras clave: forrajes, sistema, producción, Trópico Alto.

Evaluation of the soil-plant relationship of a milk production system from the highlands of Nariño, Colombia

ABSTRACT: The research was conducted in the Arrayanes farm, Catambuco village, Department of Nariño, Colombia. The objective was to evaluate the soil relationship on the composition of *Lolium hybridum* grass in monoculture and the mixture of *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* and *Lolium sp* grass. The monoculture soil indicators in upper, middle and lower areas showed differences ($P < 0,05$), organic matter varied between 19.2 and 20.7% , pH from 5.7 to 6.18 , Potassium from 1.6 to 2.41 (cmol/kg⁻¹), magnesium from 3.3 to 3.67 (cmol/kg⁻¹) , calcium from 9.38 to 12.38 (cmol/kg⁻¹), cation exchange capacity from 14.27 to 18.29 (cmol/kg⁻¹) . No differences ($P > 0,05$) were observed when the analysis per period (wet-dry) was performed. In pasture in mixtures, the results were statistically different ($P < 0,05$) for the same monoculture variables. The soils had a sandy loam texture, with good stability, weighted mean diameter between 3.0 and 5.0. In monoculture, the apparent density (AD) by area showed differences ($P < 0,05$); in real density (RD) and total porosity (TP) did not present differences ($P > 0,05$). The results for grass mixture, by area showed no differences ($P > 0,05$) in RD and TP. The AD values for time and zone in monoculture and mixed pastures were 0.66 to 0.71 (g/cc), RD 2.06 to 2.32 (g/cc) and TP between 66 to 70.9%. In monoculture differences ($P < 0,05$) were observed, in the recovery period (RP) and biomass production (BP), both by time and by area. However in grass mixture, the RP was different ($P < 0,05$) between periods, but no differences were observed by area. The RP values by period and area ranged from 26 to 32 d, the BP went from 4.4 to 4.8 (kg/m²) in monoculture, while in the mixed prairie RP ranged from 45 to 60 d and BP from 4.9 to 5.8 (kg/m²). In the bromatological analysis differences were observed ($P < 0,05$) only per región for the crude protein (CP), neutrall detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), calcium (Ca), phosphorous (P) , magnesium (Mg), and total digestible nutrients (TDN) were observed both in the prairie in monoculture and in the mixture. The values obtained were: PC 25,2%; FDN 50,6%; FDA 25,1%; NDT 64,6% and 0,22%, 0,30%, 0,14% for Ca, P and Mg,

respectively. In the mixture the average found were PC 22,5%; FDN 56,7; FDA 26,4%; NDT 61,6%; Ca 0,57%; P 0,32% and Mg 0,24%.

Key words: *Dactylisglomerata*, *Holcuslanatus*, *Loliumsp.* *Loliumhybridum*, production, system, high tropics.

Introducción

Colombia es un país tropical de contrastes climáticos debido a su topografía y a su posición latitudinal, comprende cinco ecorregiones entre las que se encuentra la zona andina, con una extensión cercana al 30% del total del territorio nacional, en ella se asienta el 75% de la población del país. En esta región se ubican las más grandes ciudades, las cuales demandan continuamente altos volúmenes de alimentos, los que se producen de manera intensiva, factor que ha causado deterioro de los suelos y su contaminación, principalmente por el uso de agroquímicos y por las excesivas labores tradicionales de mantenimiento de los cultivos (Viloria, 2007).

En el campo pecuario, la zona andina concentra el 52% de las lecherías especializadas del país, por lo que actualmente la presión sobre este ecosistema se hace aún mayor, debido a la creciente demanda del mercado interno. Esta actividad, ha sido un factor de mitigación de la crisis que vive el sector agropecuario, y al igual que la producción de derivados lácteos, se constituyen en una labor fundamental para la recuperación del sector pecuario, aportando al PIB agropecuario un 10% durante los últimos años (MADR, 2008).

Actualmente en el Trópico Alto de Nariño no existe un modelo de producción que articule los componentes del sistema pecuario, con el fin de establecer las relaciones entre ellos y orientar los correctivos de manera integral en la ganadería.

Bajo tales lineamientos, esta investigación evaluó la relación existente entre el suelo y la planta, como componentes del sistema de producción de leche y de esta manera contribuir a mejorar los procesos inherentes a la ganadería del trópico de altura, buscando establecer la relación entre algunos indicadores físicos y químicos del suelo y su efecto sobre las características agronómicas y bromatológicas de las praderas establecidas en la finca Los Arrayanes, ubicada en Cubijan Alto, corregimiento de Catambuco, departamento de Nariño; así mismo, valorar mediante componentes metabólicos de sangre, orina y leche, su relación con el componente edáfico y vegetal consumido por los animales.

Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la finca Los Arrayanes, ubicada en la vereda Cubijan Alto, del corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto. Coordenadas geográficas 1°09'54,89" Norte y 77°19'18,64" Oeste. Cuenta con un área total de 30 ha; altura promedio de 3000 msnm; temperatura media de 12°C y el sistema de ordeño es mecánico 100%.

De acuerdo con el IGAC (2006), los suelos de la finca son andisoles, es decir, suelos poco evolucionados, de colores oscuros húmíferos de baja densidad aparente y alto contenido de alófanos, alta capacidad de retención de fosfatos, de textura media, se desarrollan a partir de materiales provenientes de erupciones volcánicas. Son muy representativos desde el punto de vista de la tipología, ya que integran el 11% de *Hapludands*, el 5% de *Melanudands* y el conjunto de los *Melanocryands*, *Placudands*, *Fulvudands* y *Haplustands* el 0,5%.

Las praderas fueron seleccionadas teniendo en cuenta el tipo de pastos presentes en la finca. Para este estudio las praderas seleccionadas fueron la No. 1, compuesta por monocultivo de pasto Sterling (*Lolium hybridum*), en un 35%; y la No. 26 con mezcla de Azul orchoro (*Dactylis glomerata*): 10%, Falsa poa (*Holcus lanatus*): 20% y Ryegrass (*Lolium sp.*): 35%. Los muestreos de suelos y de pastos, se realizaron en los tres gradientes de fertilidad alto, medio y bajo, para lo cual se calculó el porcentaje de pendiente en cada lote, dicho cálculo se realizó con GPSmap 60 CSx; y en dos épocas, lluviosa (abril-mayo) y seca (julio-agosto) del año 2012.

Para el muestreo de componente edáfico fue necesario calcular el porcentaje de pendiente en cada lugar, dicho cálculo se realizó con GPSmap 60 CSx. De cada franja, se tomaron tres submuestras de suelo, con anillos de 5 cm. Los porcentajes de pendiente para la pradera en monocultivo *Lolium hybridum* fueron: zona alta 14%; zona media 10% y zona baja 7%, y para la pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.*, fueron: zona alta 16%; zona media 12% y zona baja 8%.

Se analizaron las propiedades físicas: textura, penetrabilidad, estabilidad de agregados, densidad real (D_r), densidad aparente (D_a) y porosidad total (PT), y las variables químicas, tales como: MO, pH, CIC, P, K, Ca y Mg. Se analizaron, de acuerdo con los procedimientos descritos en el Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Nariño y por el Manual de Métodos Químicos para el análisis de suelos (Unigarro et al., 2009). (Tabla 1).

Tabla 1. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades físicas y químicas del suelo analizado

Variables	Metodologías	REFERENCIA
Densidad aparente <i>Apparent density</i>	Volumen de cilindro conocido	IGAC (2006)
Densidad real <i>Real density</i>	Picnómetro	IGAC (2006)
Textura <i>Texture</i>	Hidrómetro Bouyoucos	IGAC (2006)
Penetrabilidad <i>Penetrability</i>	Penetrógrafo	IGAC (2006)
Estabilidad de agregados <i>Aggregate stability</i>	Yoder	IGAC (2006)
Porosidad total <i>Total porosity</i>	$(1-Da/Dr)^* 100$	IGAC (2006)
Materia orgánica <i>Organic matter</i>	Wakley-Black – Colorimetría	IGAC (2006)
P	Brayllkurtz colorimétrico	IGAC (2006)
K, Ca, Mg	Acetato de amonio 1N, pH. Absorción atómica.	IGAC (2006)
pH	Potenciómetro relación suelo-agua 1:1	IGAC (2006)
Capacidad de intercambio catiónico <i>Cation exchange capacity</i>	Acetato de amonio 1N, pH. Volumétrico.	IGAC (2006)

Para evaluar la productividad de las praderas, se procedió a ubicar las áreas y se recolectaron tres muestras de cada pradera de pastos, para lo cual se tuvo en cuenta la altura, el color y densidad (kg/m^2) del forraje correspondiente al estado de prefloración, al momento del corte. En cada lote experimental se realizó un corte, el cual se hizo a 15 cm del piso, con el fin de determinar el periodo de recuperación. Posteriormente, se determinó mediante análisis bromatológico, en los laboratorios de la Universidad de Nariño, nutrientes digestibles totales (NDT), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), extracto no nitrogenado (ENN) de los pastos.

El análisis de la información de los datos de las variables edáficas y bromatológicas, se realizó mediante análisis de variancia a través del procedimiento GLM del programa estadístico SAS 9.20 (Programa Megalac, 2009). Finalmente, se correlacionaron entre sí todas las variables usando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.II.

Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las propiedades químicas: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico del suelo por época y zona de muestreo del monocultivo *Lolium hybridum* y de la pradera en mezclas de *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp. en la zona de Catambuco, Nariño. (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza de algunas variables químicas (pH, MO, P, K, Ca, Mg, CIC) por época y zona de muestreo, en la zona alta andina de Catambuco, Pasto

Variables	Probabilidad por zona		Probabilidad por época	
	Lote 1	Lote 26	Lote 1	Media Lote 26
pH	0,00005**	0,00005**	0,93	0,93
MO %	0,00005**	0,00005**	0,935	0,91
P (mg/kg)	0,161	0,185	0,714	0,10
K (meq/100 g)	0,00005**	0,00005**	0,934	0,86
Ca (meq/100 g)	0,00005**	0,00005**	0,923	0,98
Mg (meq/100 g)	0,00005**	0,00005**	0,952	0,98
CIC (meq/100 g)	0,00005**	0,00005**	0,950	0,97

** Significativo (P< 0,05)

Tal como se observa en la Tabla 2, las variables químicas del suelo del monocultivo *Lolium hybridum*, en las dos épocas, no evidenciaron diferencias significativas (P>0,05) para las variables: pH, materia orgánica, P, K, Mg, Ca y CIC. Por otro lado, se obtuvieron diferencias altamente significativas (P<0,05), para el análisis realizado por zona, para las mismas variables, excepto para el fósforo (P>0,05). (Tabla 3).

Tabla 3. Variables químicas de los suelos por época y zona del monocultivo *Lolium hybridum* y pradera en mezclas de *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.*

Variable	<i>Lolium hybridum</i>						<i>Dactylis glomerata, Holcus lanatus y Lolium sp.</i>					
	Época 1			Época 2			Época 1			Época 2		
	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB
MO %	20,76	20,44	19,3	20,7	20,45	19,2	21,52	18,90	20,44	21,45	18,87	20,42
pH	5,82	5,8	6,17	5,8	5,7	6,18	5,90	6,19	6,11	5,9	6,19	6,10
CIC (meq/100 g)	16,94	14,27	18,37	16,9	14,28	18,29	23,46	20,62	33,41	23,39	20,55	33,39
P (mg/kg)	5,91	6,02	5,98	5,93	5,95	5,99	5,81	6,01	5,95	5,99	5,97	6,06
K (meq/100 g)	1,19	1,58	2,35	1,17	1,6	2,41	2,26	1,58	1,61	2,23	1,55	1,62
Ca (meq/100 g)	12,38	9,38	12,31	12,35	9,37	12,21	15,17	14,6	21,8	15,14	14,59	21,7
Mg (meq/100 g)	3,37	3,3	3,7	3,38	3,30	3,67	6,02	4,44	10,0	6,01	4,41	9,99

ZA: Zona Alta; ZM: Zona Media; ZB: Zona Baja.

Lo anterior permitió observar que los altos contenidos de materia orgánica del suelo, los cuales oscilaron entre 8-12% (Instituto Ag Research Grasslands, de Nueva Zelanda, 2010), posibilitaron un buen aporte nutricional para el *Lolium hybridum*.

Respecto al pH, los valores promedio por zona fueron similares, excepto en la zona baja (P>0,05) en las dos épocas de estudio, lo cual favoreció la solubilidad de algunos nutrientes y su disponibilidad para el pasto. Este resultado también se relacionó con la textura del suelo (FA), lo que confirma que el contenido de materia orgánica está condicionado por los niveles de acidez en los suelos (Bernal, 1994; Burbano & Cadena, 2009; Tapia & Rivera, 2010).

En la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se obtuvieron promedios similares ($P>0,05$), tanto para las épocas como por zona (Tabla 2). De acuerdo con Salamanca (1986), valores superiores a 20 meq/100 g indican una CIC alta, posiblemente debido a la alta cantidad de materia orgánica presente, ya que estas dos variables están altamente correlacionadas. Frente a esto, Gavilán (2004) sostiene que los materiales orgánicos presentan una elevada CIC, y por tanto una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de nutrientes y el pH. En consecuencia, la CIC elevada favoreció el comportamiento productivo del pasto *Lolium hybridum* en este tipo de suelos.

En relación a los elementos P, K, Ca y Mg, presentaron promedios similares ($P>0,05$), en las épocas y zonas de estudio. En el caso del Ca, los valores encontrados fueron altos, 12,38, 9,38 y 12,31 (meq/100 g) para la época lluviosa y para cada zona, respectivamente, y se correspondieron con los valores más altos de pH. Igualmente, en la época seca, en las mismas zonas fueron 12,35, 9,37 y 12,21 (meq/100 g), respectivamente. No obstante, el Ca en el suelo, estar condicionado por el grado de acidez del mismo, el contenido de este nutriente mineral en el pasto fue alto (Tabla 3), lo que permite suponer que quizá hubo otros elementos que participaron en la movilización de este mineral y su asimilación por el pasto (Donald, 2007). Los niveles de K, fueron altos, lo que confirma lo manifestado por Urbano (1992), quien sostiene que el K que se encuentra combinado con la materia orgánica, puede ser liberado en forma de K^+ mediante el proceso de mineralización de la misma, mediado por la población microbiana.

Los valores de Mg (Tabla 3) son considerados altos, comportamiento no usual, y que pudo obedecer a enmiendas o fertilizaciones realizadas a la pradera, y permite que la disponibilidad del mismo para la planta se encuentre en apropiada cantidad (Donald, 2007). Según Parra (2003), el Ca y Mg tienen un comportamiento muy similar en el suelo y estos elementos son los que se encuentran generalmente en niveles más altos dependiendo del tipo de suelo, precipitación, las plantas, etc. La concentración y la disponibilidad de ambos, están controladas generalmente por la CIC de manera directa, por lo tanto, una CIC alta permite una mayor disponibilidad de nutrientes disueltos en el suelo.

La cantidad media de fósforo obtenido en esta investigación fue baja (Tabla 3). Sin embargo, la relación 2:1 de Ca-P, resultó apropiada, posiblemente debido a que los suelos estudiados son de origen volcánico, además, los niveles altos de materia orgánica favorecen la disponibilidad de sus nutrientes (Tapia & Rivera, 2010).

Durán (2003) afirma que en clima frío valores superiores al 10% de MO se consideran altos. Por tanto, los resultados obtenidos por zona revelaron diferencias significativas ($P<0,05$). No se observaron diferencias ($P>0,05$) para el análisis por época. El alto contenido de

MO, podría explicar los altos contenidos de Ca, K y Mg y por ende una buena CIC, tanto por época como por zona.

Por otro lado, los altos contenidos de MO están explicados por la altura y temperatura de la zona de estudio, esto coincide con Charry (1987), quien menciona que a mayor altitud la materia orgánica se incrementa, debido al lento proceso de humidificación y mineralización de la misma, por la baja actividad de los microorganismos del suelo. Las anteriores variables, mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) por zona. Los análisis de varianza por época, para los componentes mencionados, no revelaron diferencias ($P > 0,05$).

Bernal (2003) afirma que el rango óptimo de pH para el crecimiento de la mayoría de las pasturas, oscila entre 5,5 y 6,5. En este sentido, el valor promedio obtenido en esta investigación, por zona y época, se encontró en dicho rango. Según estos resultados, los suelos se pueden catalogar como ligeramente ácidos, que corroboran la condición de muchos suelos en Nariño, especialmente los derivados de cenizas volcánicas. El análisis estadístico por zona de estudio, reveló diferencias ($P < 0,05$). Sin embargo, el análisis por época no mostró diferencias ($P > 0,05$).

Respecto a los análisis de las propiedades físicas del suelo, la textura corresponde a Franco-Arenosos, es decir, que la distribución de las partículas es en su mayoría de 0,05 a 2,00 mm, contiene alrededor del 60-70% de arena y 20% de arcilla. Estos resultados concuerdan con los reportados por Beltrán & Benavides (2009) y Burbano & Cadena (2009).

En cuando a la estabilidad de agregados, se puede mencionar que los suelos fueron estables, ya que el Diámetro Medio Ponderado (DMP), osciló entre 3,0 y 5,0. Es decir, que no son susceptibles a degradación estructural.

El análisis de varianza por zona del monocultivo *Lolium hybridum*, resultó altamente significativo ($P < 0,05$) para Densidad aparente (D_a); mientras que en Densidad real (D_r) y porosidad total no se evidenciaron diferencias significativas ($P > 0,05$). Los análisis estadísticos por época, no presentaron diferencias ($P > 0,05$) para ninguna de las variables mencionadas anteriormente. (Tabla 4).

Tabla 4. Variables físicas de los suelos por época y zona del monocultivo *Lolium hybridum* y la pradera en mezcla de *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp.

Variable	<i>Lolium hybridum</i>						<i>Dactylis glomerata, Holcus lanatus y Lolium sp.</i>					
	Epoca 1			Epoca 2			Epoca 1			Epoca 2		
	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB
Da (g/cc)	0,70	0,70	0,66	0,68	0,68	0,71	0,70	0,69	0,67	0,70	0,70	0,66
Dr (g/cc)	2,25	2,28	2,32	2,06	2,13	2,08	2,24	2,21	2,07	2,17	2,06	2,10
Porosidad %	68,3	69,9	70,9	66,0	68,0	66,3	68,0	68,0	67,0	67,0	66,0	68,0
Porosity												

ZA: Zona Alta; ZM: Zona Media; ZB: Zona Baja.

Los resultados de la Tabla 4, indican que la Da tuvo valores similares entre época y zona. Estas cifras, están directamente relacionadas con los altos contenidos de MO en el suelo, el cual permite que exista mayor retención de agua y por ende regula la nutrición de la planta, al estimular el crecimiento del sistema radical. Además, el tipo de suelos Franco-Arenosos, la estabilidad del mismo, combinado con el porcentaje de porosidad favorecen la nutrición de la planta, al permitir que las raíces profundicen adecuadamente (León & Zambrano, 2008; Apráez et al., 2012).

Al respecto, Thompson (1988) manifiesta que la MO hace disminuir la densidad aparente, ya que por equivalencia de volumen es mucho más ligera que la materia mineral e incrementa la estabilidad de los agregados del suelo, siendo este segundo efecto el más importante en la mayoría de los suelos. Jaramillo (2004) y Burbano & Cadena (2009), coinciden en que la densidad real varía entre 2,6 a 2,75 g/cc en todos los suelos agrícolas y cuando existen valores por debajo de los mencionados, se deben a la presencia de altos contenidos de materia orgánica en el suelo.

Los resultados de los mencionados autores son concordantes con los indicados en la Tabla 4, donde se presentan los valores de densidad real, diferentes entre épocas, observándose cifras inferiores en periodo seco. Igual comportamiento se observó al analizar los promedios por zona. Valores similares fueron encontrados por Beltrán & Benavides (2009), quienes reportan 2,34 g cm³ de densidad real, en suelos del departamento de Nariño.

Igualmente, Herrera & Amézquita (1989) encontraron una densidad real de 2,31 g/cm³, en un suelo bajo labranza mínima con dos pases de rastrillo de disco. Además, mencionan que los valores de densidad real son difíciles de alterar, ya que esta variable se relaciona con las características mineralógicas del material parental. Sin embargo, la erosión y excesiva compactación puede lograrlo en el largo plazo.

Los valores de porosidad oscilaron entre 66 a 70% y se asocian con los contenidos de materia orgánica (Tapia & Rivera, 2010). Mila (2001) y

Soriano & Pons (2004), coinciden en que la porosidad se relaciona directamente con la retención y movimiento del agua en el perfil del suelo. Es una propiedad física esencial ya que la aireación y transporte de oxígeno al sistema radical de las plantas garantizan la facilidad con que las raíces pueden anclar y sostenerse en el suelo y permitir así la rápida absorción de nutrientes de la solución del suelo. Los resultados obtenidos favorecieron el crecimiento y desarrollo del pasto neozelandés (Tabla 5), ya que permitieron que la planta disponga de los minerales presentes en el suelo y por ende alcanzar mayor productividad de biomasa.

Tabla 5. Características productivas del monocultivo *Lolium hybridum* y pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.*

Variable	<i>Lolium hybridum</i>						<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Holcus lanatus</i> y <i>Lolium sp.</i>					
	Epoca 1			Epoca 2			Epoca 1			Epoca 2		
	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB
Periodo de recuperación (días)	26	26	27	30	30	32	45	46	52	55	56	60
Recovery period												
Biomasa (kg/m ²)	4,8	4,7	4,5	4,7	4,7	4,4	5,8	5,7	5,4	5,3	5,1	4,9
Biomass												

ZA: Zona Alta; ZM: Zona Media; ZB: Zona Baja.

Para el caso de la pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus*, *Lolium sp.*, no se encontraron diferencias ($P>0,05$) por zona para las variables Da, Dr y porosidad total. Sin embargo, se encontraron diferencias ($P<0,05$) por época para las características Dr y porosidad total; mientras que la Da, no fue significativa ($P>0,05$).

En la Tabla 4, se indican los valores promedio de las características físicas del suelo Da, Dr y porosidad total, por época y zona de estudio, para la pradera en mezclas. Al evaluar estas características en conjunto, se puede afirmar que los suelos de la pradera en mezclas, presentaron buenas condiciones físicas, para la producción de *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.* (Figura 1).

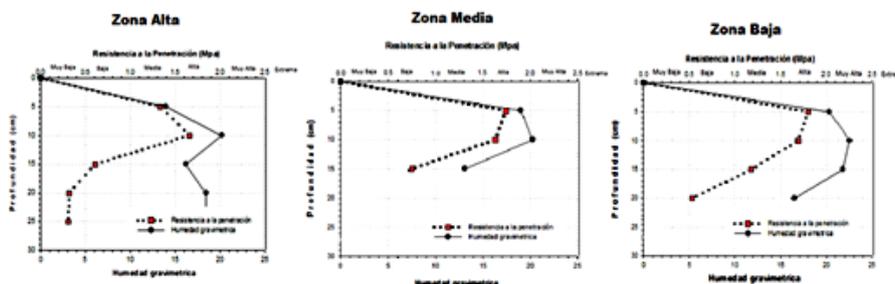


Figura 1. Resistencia a la penetración del suelo, monocultivo pasto *Lolium hybridum*.

haga click en la imagen para ampliarla

Los resultados de la resistencia a la penetración, del monocultivo pasto *Lolium hybridum*, permitieron concluir que hubo de media a alta penetrabilidad, en los primeros 15 cm, tal como se puede apreciar en la Figura 1, para las tres zonas de estudio.

El porcentaje de humedad del suelo varió entre 14 a 22 %, que resulta adecuada y por tanto favoreció el desarrollo radicular en los primeros 15 cm de profundidad. Estos resultados están relacionados con la porosidad total y la cantidad de materia orgánica del suelo.

Además, se observó que a partir de los 15 cm hubo menor resistencia a la penetración, lo cual indica mayor probabilidad de desarrollo de las raíces. En ninguno de los tratamientos se observó resistencia extrema, lo que permite suponer que las raíces, bajo esas condiciones, no encontraron obstáculo para crecer.

Estos resultados se relacionan con la producción de biomasa obtenida en el monocultivo de *Lolium hybridum* (Tabla 6), la cual se encuentra en un rango ideal de producción.

Tabla 6. Análisis bromatológico del monocultivo *Lolium hybridum* y la pradera en mezcla *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.* (% Base Seca)

Variable	<i>Lolium hybridum</i>			<i>Dactylis glomerata, Holcus lanatus</i> y <i>Lolium sp.</i>		
	ZA	ZM	ZB	ZA	ZM	ZB
Proteína <i>Protein</i>	25,01	26,2	24,5	22,8	23,4	21,4
FDN	50,2	51,1	50,5	57,6	57,8	54,8
FDA	25,3	25,4	24,7	26,5	26,2	26,5
Ca	0,21	0,26	0,19	0,58	0,63	0,51
P	0,30	0,29	0,32	0,33	0,30	0,34
Mg	0,13	0,16	0,14	0,24	0,26	0,24
NDT	64,0	66,0	64,0	62,0	63,0	60,0

ZA: Zona Alta; ZM: Zona Media; ZB: Zona Baja.

Los resultados de la resistencia a la penetración, de la pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium sp.*, permitieron concluir que hubo de media a alta penetrabilidad, en los primeros 15 cm, tal como se puede apreciar en la Figura 2, para las tres zonas de estudio.

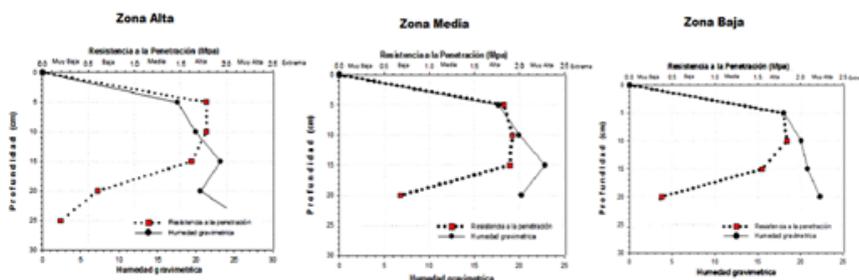


Figura 2. Resistencia a la penetración del suelo, pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp.

[haga click en la imagen para ampliarla](#)

El porcentaje de humedad en el suelo varió entre 20 a 25%, lo que resulta apropiado y por tanto las raíces se desarrollaron bien en los primeros 15 cm de profundidad. Estos resultados están relacionados con la porosidad total y la cantidad de materia orgánica del suelo.

La Figura 2, muestra que a partir de los 15 cm es menor la resistencia a la penetración, lo cual indica mayor probabilidad de crecimiento de raíces, ya que se mantuvieron los contenidos de humedad entre 20 a 22%.

El análisis de varianza para el periodo de recuperación (días), tanto por zonas y por épocas fue altamente significativos ($P < 0,05$) para el monocultivo *Lolium hybridum*. Los tiempos fluctuaron entre 26 y 32 d (Tabla 5). Dichos resultados son concordantes con los reportados por Mera & Ruales (2007) y Apráez et al. (2012). Respecto a la producción de biomasa (kg/m^2), se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0,05$), tanto entre épocas como entre zonas. Las cifras son coincidentes con las citadas en la ficha técnica del Instituto Ag Research Grasslands, de Nueva Zelanda (2010). (Tabla 5).

El periodo de recuperación (días), para la pradera en mezcla de gramíneas presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre épocas, pero no se observaron diferencias ($P > 0,05$) entre zonas. Por otro lado, la producción de biomasa reveló diferencias significativas ($P < 0,05$) por zona, mas no por época ($P > 0,05$).

Los anteriores resultados indican que tanto en el monocultivo *Lolium hybridum* como en la pradera en mezcla *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp. en la época lluviosa, tuvieron una mayor producción de biomasa. En época seca, hubo una disminución leve de la producción de pasto, como consecuencia del sistema de riego implementado en la finca Los Arrayanes.

Todos estos componentes, permitieron mantener la similitud del periodo de recuperación y por ende la disponibilidad de biomasa verde durante los dos periodos.

El análisis estadístico del monocultivo *Lolium hybridum*, reveló diferencias significativas ($P < 0,05$) por zona, para las variables productivas: proteína, Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente

Ácido (FDA), Calcio (Ca), Fósforo (P), Magnesio (Mg) y Nutrientes Digestibles Totales (NDT). No obstante, no se presentó ($P>0,05$) por época de muestreo para las mismas variables.

El contenido de proteína (Tabla 6) fue menor en la zona baja (24,5%), mientras que en la zona media y alta fue de 26,2% y 25,01%, respectivamente. Estos resultados indican que el mayor contenido proteico del pasto, se obtuvo en la zona media. En general, los contenidos nutricionales pudieron estar condicionados por el manejo, el cual estuvo relacionado con la utilización continua de biofertilizantes en la finca, que debido al menor grado de pendiente de esta zona redujo la pérdida de nutrimentos adicionados al cultivo. (Tabla 5).

Los bajos valores de FDA se tradujeron en un alto contenido de hemicelulosa, carbohidrato de mayor solubilidad y fuente energética fácilmente aprovechable. Estos resultados, son el reflejo de la edad de corte, la fertilidad del suelo, la distribución uniforme de las lluvias principalmente. Al respecto, Bernal (2003) afirma que los porcentajes de FDA y FDN, pueden variar significativamente de acuerdo con la época de corte, estación del año, fertilización y las condiciones físicas y químicas que le proveen los suelos al pasto.

El contenido de nutrientes minerales en las plantas fue similar ($P>0,05$) en las tres zonas, notándose una relación 2:1 entre Ca y P, que implica un manejo cuidadoso en la provisión de este pasto, en especial si este se suministra a animales con altas producciones. Esta relación positiva, favorece el crecimiento y mantenimiento del tejido esquelético, la actividad muscular y nerviosa, la coagulación sanguínea y la síntesis de la leche (Weiss, 2000; Castro et al., 2008).

McDowell et al. (1997) afirman que el contenido mineral de las plantas varía con la fertilidad del suelo, el clima, la especie de la planta, su estado de madurez, rendimiento y manejo. Según la NRC (1989) y Sánchez (2000), los requerimientos de Mg en los pastos para las vacas lactantes oscilan entre 0,18% y 0,21%. Por lo tanto, los valores obtenidos por zona resultaron bajos, lo que implica el riesgo de hipomagnesemia o tetania.

Finalmente, los valores promedio de energía de los pastos, mostraron el valor más alto en la zona media (66% de NDT). Los valores inferiores se observaron en la zona alta y baja, lo que conlleva a sugerir que los animales de alta producción deban suplementarse energéticamente cuando sea este el alimento base de su dieta.

El análisis bromatológico de la pradera en mezclas *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp., reveló diferencias altamente significativas ($P<0,05$) para las variables proteína, Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), Calcio (Ca), Fósforo (P), Magnesio (Mg) y Nutrientes Digestibles Totales (NDT), cuando se analizó cada

variable por zona. No se presentaron diferencias ($P>0,05$) por época de muestreo para las mismas variables.

En la Tabla 6 los niveles de proteína encontrados en la zona alta, media y baja fueron 22,8, 23,4 y 21,4, respectivamente. Para la mezcla *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp. se consideran normales y pueden obedecer a la edad en que fue cortado el pasto y al manejo dado al cultivo en la finca. Esto permite que sea más palatable para el ganado (Rodas, 2007).

Al respecto, Pirela (2007) sostiene que el contenido proteico en gramíneas tropicales es relativamente alto en los estadios iniciales de crecimiento, para luego caer marcadamente hasta antes de la floración. Esta afirmación la confirman estudios realizados en el departamento de Nariño por Beltrán & Benavides (2009), Burbano & Cadena (2009) y Tapia & Rivera (2010).

Los valores obtenidos de FDN en las tres zonas (Tabla 6) demuestran que este componente se encuentra dentro de los parámetros adecuados (Bernal, 2003).

Los resultados bajos de FDA en las tres zonas de estudio, repercutieron en un alto contenido de hemicelulosa, carbohidrato de alta solubilidad y fuente de fibra aprovechable. Estos resultados se debieron probablemente a la edad de corte y a la fertilidad del suelo (Molina et al., 1982).

Respecto a los nutrientes minerales como el Ca, presentó un rango menor en la zona baja; mientras que en la zona alta y media fueron mayores. El P registró valores similares, excepto en la zona media, donde fue menor. Sin embargo, la relación Ca:P, se considera apropiada para vacas en producción. Además, estos resultados son producto de la mineralización de la materia orgánica (Sánchez, 2007). Los contenidos de Mg fueron ligeramente superiores en la mezcla, debido a la diversidad biológica presente en esa pradera que conlleva diferencias en la capacidad de absorción de estos minerales.

Los NDT se consideran medios. Resultados que pudieron deberse principalmente a los contenidos de nitrógeno en los suelos que le permitió a la planta tener mejor reservas energéticas (Benítez, 1983; Estrada, 2001). Por lo tanto, esta mezcla de pastos puede cubrir de manera satisfactoria los requerimientos en vacas lecheras. (Tabla 6).

Tal como se aprecia en la Tabla 7, se observó alta correlación entre el contenido de proteína del pasto con el pH de suelo, lo que permite explicar el papel del pH en la solubilidad del N del suelo y su consecuente aprovechamiento por la planta. También este resultado pudo estar relacionado con el tipo de suelo (Franco-Arenoso), ya que por el tamaño de sus partículas permite obtener mejores condiciones para el cultivo de pastos.

Tabla 7. Correlaciones entre las variables suelo-planta

	Proteína del pasto %	pH	MO %	P (mg/kg)	K (meq/100 g)	Periodo recuperación (d)
pH	0,0035					
MO %	0,0013	0,0012				
P (mg/Kg)	0,7536	0,7596	0,4774			
K (meq/100 g)	0,0005	0,0010	0,0001	0,1039		
Periodo recuperación (días)	1,0000	0,5870	0,9731	0,1309	0,6993	
<i>Recovery period</i>						
Biomasa (kg/m ²)		0,6251	0,9694	0,1000	0,7071	0,0031
<i>Biomass</i>						

Igualmente, la proteína del pasto tuvo una alta correlación con el contenido de materia orgánica (MO) y potasio (K) de los suelos en estudio. Estos resultados, permiten afirmar que a mayor contenido de MO en los suelos, se obtiene mejor valor nutritivo en los pastos, pues como se sabe, el contenido de MO está condicionado por los niveles de acidez en los suelos, por ello a mayor acidez, mayores porcentajes de MO (Bernal, 1994; Burbano & Cadena, 2009; Tapia & Rivera, 2010). Por otro lado, la correlación entre MO y K, permitió que la planta asimilara de mejor forma este nutriente mineral, ya que a menor pH existe mejor disponibilidad del elemento, el cual es indispensable para el adecuado desarrollo vegetativo y calidad nutritiva del pasto (Estrada, 2001). La correlación positiva del periodo de recuperación y la producción de biomasa, favorece la mayor producción de forraje verde en menos tiempo. A estos resultados también contribuyó el riego suministrado a los pastos, durante los periodos secos del año.

Conclusiones

Los perfiles metabólicos permitieron constatar un excelente aporte nutricional de los pastos *Lolium hybridum*, *Dactylis glomerata*, *Holcus lanatus* y *Lolium* sp., lo cual favorece notablemente la condición nutricional de las vacas en producción. Además, la correlación positiva encontrada entre el periodo de recuperación y producción de biomasa, corrobora que la disponibilidad de agua y un suelo de buenas características químicas y físicas permiten mayores cosechas de forraje en menor tiempo y con buenas características nutritivas. Finalmente, el análisis holístico de los componentes de un sistema pecuario, es indispensable para revisar y orientar los programas de nutrición y alimentación del ganado lechero en el Trópico Alto de Nariño.

Referencias bibliográficas

Apráez, G.J.; Gálvez, C.A.; Tapia, C.E.; Jojoa, L.; León, J.; Zambrano, J.; Zambrano, H.R.; Obando, V.; Aux, M.Y. Determinación de los factores edafoclimáticos que influyen en la producción y calidad del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en condiciones de no intervención. **Livestock Research for Rural Development**, v.24, n.3, 2012.

Beltrán, R.; Benavides, F. **Determinación de los factores climáticos y edáficos que condicionan la producción y calidad nutritiva del pasto Saboya (*Holcus lanatus*) en suelos no intervenidos de las veredas Cualapud, Arvela y Santa Rosa del municipio de Guachucal–Nariño, con altitudes entre 3050 y 3300 msnm.** Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2009. Trabajo de grado (Zootecnista).

Benítez, C. Los pastos en Cuba. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba, Pueblo y Educación, 1983. p676.

Bernal, J. **Pastos y forrajes tropicales.** Tercera edición. Bogotá, Colombia, Banco Ganadero. 1994.

Bernal, E.J. **Pastos y Forrajes tropicales, Producción y Manejo.** Cuarta edición. Colombia: Ángel Agro, Ideagro, 2003. p.421.

Burbano, F.; Cadena, W. **Determinación de las características edafoclimáticas que garantizan la producción y calidad nutritiva del pasto brasilero (*Phalaris* sp.), en condiciones de no intervención, en un rango de altitud comprendida entre 3050 - 3300 m.s.n.m. en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño.** Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2009. Trabajo de grado, (Zootecnista).

Castro, R.E.; Mojica, R.J.E.; León, J.M.; Pabón, M.L.; Carulla, F.J.E.; Cárdenas, R.E.A. Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea y gramínea + *Lotus uliginosus* en Mosquera, Cundinamarca. **Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia**, 55, p.9-21, 2008.

Charry, J. **Naturaleza y Propiedades Físicas de los Suelos.** Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1987. p.244.

Donald, C. **Fertilidad de suelos**. México: Euned, 2007. p.16.

Durán, R.F. **Volvamos al Campo: Manual de Cultivos Orgánicos y Alelopatía**. Bogotá, Colombia: Grupo Latino Ltda., 2003. p.74.

Estrada, A.J. **Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano**. Manizales: Universidad de Caldas, 2001. p.3.

Gavilán, M. **Tratado de cultivo sin suelo**. España: Mundi-Prensa, 2004. p.122.

Herrera, P.; Amézquita, E. **Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo**. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1989. Trabajo de grado (Agrólogo).

IGAC. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**, 2006 [Internet]. Disponible en: www.igac.gov.co

Jaramillo, J. **Ciencia del suelo**. Notas de clase, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 2004. p.69.

IGAC. 2006. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá Colombia.

León, J.; Zambrano, D. **Determinación de los factores edafoclimáticos que intervienen en la producción y calidad nutritiva del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) en condiciones de no intervención en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño**. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2008. p.25. Tesis de grado (Zootecnista).

McDowell, L.R.; Velásquez P.J.; Valle, G. **Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales**. Tercera Edición. Centro de Agricultura Tropical. Gainesville, Florida: Universidad de Florida, 1997. p.84.

Mera, R.; Ruales, H. **Evaluación de la adaptación del trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus*) asociado con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo dos sistemas de reproducción y diferentes densidades de siembra en el municipio Pasto-Nariño**. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2007. p.37. Tesis de grado (Zootecnista).

Mila A. 2001. Suelos, pastos y forrajes: Producción y manejo. Bogotá: UNISUR. p.88.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente. **Consolidado Agropecuario**. 2008. Disponible en: www.minagricultura.gov.co/

Molina, C. et al. Avances de la investigación en pastizales en las zonas altas de los Andes. Mérida. **FONAIAP DIVULGA**, n.7, 1982.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. National Academy Press. Washington, D. C. p157.

Parra, M.A. **Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas**. Andalucía: Mundi-Prensa, 2003. p.45.

Pirela, M.F. **Valor nutritivo de los pastos tropicales**. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 2007. Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manualganaderia/seccion3/articulo6-s3.pdf

Programa de Mejoramiento Genético. Convenio Universidad de Nariño, Colácteos y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2009. Disponible en: <http://promegalac.udenar.edu.co>

Rodas, A. Producción Verde – Especies forrajeras de clima frío. En: Seminario de Gestión de Empresas Ganaderas. (1º: 2007 Pasto). **Memorias del I Seminario de Gestión de Empresas Ganaderas**. Pasto: Universidad de Nariño, 2007. p.58.

Salamanca, S.R. **Pastos y forrajes: producción y manejo**. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás, 1986. p.124-125.

Sánchez, J.M. Hipomagnesemia. Un desbalance metabólico subestimado en nuestros hatos de ganado lechero. **Nutrición Animal Tropical**, v.6, n.1, p.75-95, 2000.

Sánchez, J.M. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. **XI Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal**. Barquisimeto, Venezuela, 2007.

Soriano, S.M.; Pons, M.V. **Prácticas de Edafología y Climatología**. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, 2004. p.33-38.

Tapia, C.E.; Rivera, C.C. **Determinación de los factores climáticos y edáficos que intervienen en la producción y calidad nutritiva del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) en condiciones de no intervención en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño**. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2010. Trabajo de grado (Zootecnista).

Thompson, L. **Los suelos y su fertilidad**. 4^a edición, Texas: Reverté, 1988. p.80.

Unigarro, S.A.; Insuasty, B.R.; Chaves, J.G. **Manual de prácticas de laboratorios. Suelos generales**. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño, 2009. p.25-105.

Urbano, P. **Tratado de Fitotecnia General**. Zaragoza: Mundi-Prensa, 1992. p.544.

Viloria, J. **Economía del Departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico**. Cartagena, Colombia: Banco de la República, Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER), 2007. p.87.

Weiss, W.P. Update on Mineral Requirements for Dairy Cattle. In: **Course Dairy Cattle Nutrition**. Balsa, Atenas. Costa Rica. 2000. p.1-10.

Apráez-Guerrero, J.E.; Zambrano-Burbano, G.L.; Navia-Estrada, J.F. Evaluación de la relación suelo-planta en un sistema productivo de leche del altiplano Nariño, Colombia. **Veterinaria y Zootecnia**, v.8, n.1, p.66 -84, 2014.