

## Rendimiento de materia seca y concentración de fósforo de una asociación *Brachiaria humidicola-Stylosanthes guianensis*\*

### Dry matter yield and phosphorus concentration of an association *Brachiaria humidicola-Stylosanthes guianensis*

Félix Daniel Domínguez-Pérez<sup>1</sup>, Eduardo Daniel Bolaños-Aguilar<sup>2§</sup>, Luz del Carmen Lagues-Espinoza<sup>1</sup>, Sergio Salgado-García<sup>1</sup>, Jesús Ramos-Juárez<sup>1</sup> y Juan de Dios Guerrero-Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, H. Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500. (lagues@colpos.mx; ramosj@colpos.mx; dominguez.felix@colpos.mx; salgados@colpos.mx). <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Huimanguillo. Carretera Huimanguillo-Cárdenas km 1, Huimanguillo, Tabasco, México. CP. 86600. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla km 125.5, Puebla, Puebla, México. CP. 72760. (rjuan@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor de correspondencia: bolanos.eduardo@inifap.gob.mx.

## Resumen

El estudio se realizó en una pradera de Huimanguillo, Tabasco, establecida en un suelo con pH ácido y bajos contenidos de N, P y K, de octubre 2014 a julio 2015 comprendiendo las épocas de nortes, seca y lluvias. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización fosfatada en el rendimiento de materia seca (RMS), distribución estacional del forraje y concentración de fósforo (P) de una pradera asociada *B. humidicola-S. guianensis* y una en monocultivo de *B. humidicola*. Las parcelas de *B. humidicola* en monocultivo sin y con fertilización fosfatada (H, HF) y de la asociación sin y con fertilización fosfatada (HS, HSF), establecidas en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, fueron analizadas en medidas repetidas. El RMS y P fueron medidos cada 35 días del 7 de octubre 2014 al 14 de julio 2015. El RMS total fue semejante entre H, HF y HSF (10.5 vs 7.07 t ha<sup>-1</sup> en HS), aunque el RMS de las praderas asociadas (HS, HSF) presentó menor variación en el tiempo. Las praderas asociadas presentaron mayor RMS en la época seca, y las praderas en monocultivo en lluvias. La concentración de fósforo en la biomasa de *S.*

## Abstract

The study was conducted in a meadow of Huimanguillo, Tabasco, established in a soil with acidic pH and low contents of N, P and K, from October 2014 to July 2015, including the northeastern, dry and rainy seasons. The objective was to evaluate the effect of phosphate fertilization on the yield of dry matter (RMS), seasonal distribution of forage and phosphorus concentration (P) of an associated meadow *B. humidicola-S. guianensis* and one in monoculture of *B. humidicola*. The plots of *B. humidicola* in monoculture without and with phosphate fertilization (H, HF) and of the association without and with phosphate fertilization (HS, HSF), established in a completely randomized design with four replications, were analyzed in repeated measurements. The RMS and P were measured every 35 days from October 7, 2014 to July 14, 2015. The total RMS was similar between H, HF and HSF (10.5 vs 7.07 t ha<sup>-1</sup> in HS), although the RMS of the associated grasslands (HS, HSF) showed less variation in time. The associated grasslands showed higher RMS in the dry season, and the prairies in monoculture in rains. The concentration of phosphorus in the biomass of *S. guianensis*

*guianensis* y en la de los tratamientos fertilizados (HF, HSF) fue más alta que en la de los tratamientos sin fertilizar (H, HS). El número de nódulos por planta se incrementó por la fertilización fosfatada (18.8 en HSF vs 13.9 HS, promedio de las tres épocas), pero no el RMS en raíces.

**Palabras clave:** distribución estacional de materia seca, leguminosas forrajeras tropicales, pradera asociada gramínea-leguminosa, rendimiento de forraje.

## Introducción

Tabasco tiene una población de 1.58 millones de cabezas de ganado bovino, en una superficie de 1.7 millones de hectáreas (SIAP, 2016). Esta producción ganadera es el resultado del uso directo de las praderas por el animal durante el año. En 2010, 50.14% de esta superficie estaba formada por praderas inducidas (Bolaños-Aguilar *et al.* 2010), y principalmente localizadas en ecosistemas formados por suelos de Sabana. Estos suelos son muy ácidos (pH <5), con altas concentraciones de aluminio y bajos en fósforo (P) disponible para las plantas (Pizarro *et al.*, 1996), lo que llega a causar deficiencias en fósforo en los animales afectando su productividad. En Huimanguillo, Tabasco, estos suelos ácidos ocupan 140 000 ha, y aunque la aplicación de fósforo para incrementar la producción de biomasa de los pastos, es recomendada (Gweii-Onyango *et al.*, 2011), pocos estudios se han realizado al respecto en el estado.

Entre las gramíneas adaptadas a estos suelos está *Brachiaria humidicola*, especie adoptada por el ganadero por su alta capacidad de carga animal, tolerancia a la mosca pinta y a los encharcamientos prolongados (Enríquez *et al.*, 2011); sin embargo, es de bajo valor nutritivo, particularmente en proteína (Reyes *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2011). Por otro lado, existen numerosos estudios sobre el efecto positivo en el valor nutritivo de una pradera al asociarla con leguminosas, debido a la mayor concentración de proteína y minerales que presentan con respecto a las gramíneas (Gierus *et al.*, 2012; Lüscher *et al.*, 2014).

También la inserción de leguminosas incrementa el rendimiento de las praderas 21.5% en promedio (Castillo *et al.*, 2014). Por ello, el uso de asociaciones gramínea-leguminosa puede incidir en mejorar la nutrición animal, y en consecuencia su producción (Olivera *et al.*, 2012; Lüscher *et al.*, 2014). Una leguminosa con alta adaptación a los suelos

and in the one of the fertilized treatments (HF, HSF) was higher than in the one of the treatments without fertilizing (H, HS). The number of nodules per plant was increased by phosphate fertilization (18.8 in HSF vs 13.9 HS, average of the three seasons), but not the RMS in roots.

**Keywords:** forage yield, grass-legume associated pasture, seasonal distribution of dry matter, tropical forage legumes.

## Introduction

Tabasco has a population of 1.58 million heads of cattle, in an area of 1.7 million hectares (SIAP, 2016). This livestock production is the result of the direct use of pastures by the animal during the year. In 2010, 50.14% of this area was formed by induced meadows (Bolaños-Aguilar *et al.* 2010), and mainly located in ecosystems formed by savanna soils. These soils are very acidic (pH <5), with high concentrations of aluminum and low in phosphorus (P) available to plants (Pizarro *et al.*, 1996), which causes deficiencies in phosphorus in animals, affecting their productivity. In Huimanguillo, Tabasco, these acid soils occupy 140 000 ha, and although the application of phosphorus to increase the biomass production of the pastures is recommended (Gweii-Onyango *et al.*, 2011), few studies have been carried out in this regard the state.

Among the grasses adapted to these soils is *Brachiaria humidicola*, a species adopted by the farmer for his high capacity of animal load, tolerance to the pinta fly and prolonged waterlogging (Enríquez *et al.*, 2011); however, it is of low nutritional value, particularly in protein (Reyes *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2011). On the other hand, there are numerous studies on the positive effect on the nutritional value of a meadow when associated with legumes, due to the higher concentration of protein and minerals that they present with respect to grasses (Gierus *et al.*, 2012; Lüscher *et al.*, 2014).

Also the insertion of legumes increases the yield of the prairies 21.5% on average (Castillo *et al.*, 2014). For this reason, the use of grass-legume associations can have an impact on improving animal nutrition, and consequently, its production (Olivera *et al.*, 2012; Lüscher *et al.*, 2014). A legume with high adaptation to acid soils is *Stylosanthes*

ácidos es el *Stylosanthes guianensis*, especie semi-perenne (2 a 3 años) y ampliamente distribuida en zonas tropicales (Liu *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 1997). Ésta leguminosa remueve y aprovecha el P disponible en el suelo (Tomei *et al.*, 2005).

Por otra parte, los pastos presentan estacionalidad de producción de biomasa durante el año, debido a eventos climáticos, uso de especies no adaptadas o desconocimiento de prácticas de manejo adecuadas al tipo de pasto y sistema de producción (Jones y Hu, 2006). Las asociaciones gramínea-leguminosa existe mayor estabilidad y producción de biomasa durante el año, dada a la diversidad genética de la pradera, lo que mitiga la estacionalidad de producción (Prieto *et al.*, 2015). Zuppinger-Dingley *et al.* (2014), señalan que especies distintas al asociarse presentan cambios morfológicos a corto plazo, dándole a la pradera mayor estabilidad en el tiempo. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la fertilización fosfatada en el rendimiento, distribución estacional de la materia seca y concentración de fósforo en una pradera asociada de *B. humidicola*-*S. guianensis* y una de *B. humidicola* en monocultivo.

## Materiales y métodos

### Condiciones ambientales y tratamientos

El estudio se desarrolló en campo en las tres épocas del año que prevalecen en Tabasco: época de nortes (lluvias prolongadas de baja intensidad y temperaturas más bajas del año) de septiembre 2014 a febrero 2015, época seca de marzo a mayo de marzo a mayo (<90 mm/mes de lluvia) y época de Lluvias de junio a julio 2015 (>200 mm/mes de lluvia), en el Rancho KARIGA SPR de RL, con coordenadas 93°28'19.34" longitud oeste y 17°41'31.59" latitud norte. El suelo es ácido (pH= 4.7), alto en materia orgánica (5%), bajo en nitrógeno (0.17%), fósforo (5.38 mg kg<sup>-1</sup>) y potasio (0.11 cmol kg<sup>-1</sup>) y de textura franco arcillo arenoso. Este suelo se considera de transición a Sabana y se clasifica como acrisol úmbrico cutánico endoaráclico hiperdistrico férrico (Salgado-García *et al.*, 2010). Los datos de precipitación y temperatura del periodo de evaluación, fueron proporcionados por la CONAGUA Tabasco.

La pradera de *Brachiaria humidicola* fue establecida en 2005 para su pastoreo con ganado bovino. Dentro de ésta pradera se seleccionó el sitio experimental en un área homogénea, donde se formaron parcelas de 4 m de

*guianensis*, semi-perennial species (2 to 3 years old) and widely distributed in tropical areas (Liu *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 1997). This legume removes and exploits the P available in the soil (Tomei *et al.*, 2005).

On the other hand, the pastures present seasonality of biomass production during the year, due to climatic events, use of non-adapted species or ignorance of management practices appropriate to the type of pasture and production system (Jones and Hu, 2006). In the grass-legume associations there is greater stability and production of biomass during the year, given the genetic diversity of the pasture, which mitigates the seasonality of production (Prieto *et al.*, 2015). Zuppinger-Dingley *et al.* (2014), point out that different species when associated have morphological changes in the short term, giving the meadow greater stability over time. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of phosphate fertilization on yield, seasonal distribution of dry matter and phosphorus concentration in an associated meadow of *B. humidicola*-*S. guianensis* and one of *B. humidicola* in monoculture.

## Materials and methods

### Environmental conditions and treatments

The study was carried out in the field in the three seasons of the year that prevail in Tabasco: the Nortes season (prolonged low intensity rains and lowest temperatures of the year) from September 2014 to February 2015, dry season from March to May from March to May (<90 mm/month of rain) and Rainy season from June to July 2015 (>200 mm/month of rain), in the KARIGA SPR Ranch of RL, with coordinates 93°28'19.34" west longitude and 17°41'31.59" north latitude. Soil is acidic (pH= 4.7), high in organic matter (5%), low in nitrogen (0.17%), phosphorus (5.38 mg kg<sup>-1</sup>) and potassium (0.11 cmol kg<sup>-1</sup>) and sandy clay loam texture. This soil is considered to be transitional to Savanna and is classified as cutaneous hyperdistrictic cutaneous endocritic acrisol (Salgado-García *et al.*, 2010). The precipitation and temperature data of the evaluation period were provided by the CONAGUA Tabasco.

The Salgado-García *et al.*, 2010 meadow was established in 2005 for herding cattle. Within this prairie, the experimental site was selected in a homogeneous area, where plots of 4 m long x 1.5 m wide were formed. The treatments consisted

largo x 1.5 m de ancho. Los tratamientos consistieron en parcelas de humicicola en monocultivo (H), humicicola en monocultivo+fertilización (HF), humicicola+stylo (HS) y humicicola+stylo+fertilización (HSF). Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Previo al inicio del experimento, las parcelas fueron cortadas a 5 cm de altura. Posteriormente, en los tratamientos conformados por la asociación *B. humicicola* - *Stylosanthes guianensis* (stylo), la leguminosa fue sembrada, en las parcelas de humicicola, por semilla y a “chorrillo” en dosis de 6 kg ha<sup>-1</sup> y a distancias de 30 cm entre hileras. Para la fertilización fosfatada se utilizó superfosfato triple con 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> (Pastrana 1994). Dada la baja solubilidad del fósforo, la fertilización se fraccionó en dos partes iguales, aplicándose 50 kg ha<sup>-1</sup> el 20 de agosto 2014 y 50 kg restantes el 8 de febrero 2015; la fertilización fue manual.

### Fechas de corte y variables de respuesta

El corte de uniformidad en las 16 parcelas se realizó el 01 de septiembre 2014 y a partir de esta fecha los cortes, toma de muestras y obtención de datos se realizó cada 35 días. Por ello, la primera toma de muestras fue el 6 de octubre 2014 y la última el 13 de julio 2015. La parcela útil se ubicó en el centro de cada parcela y representó un área de 2 m<sup>2</sup>. Las variables de respuesta fueron: Rendimiento de materia seca (RMS; t ha<sup>-1</sup>) y concentración de fósforo (g kg<sup>-1</sup>MS). En los tratamientos formados por las asociaciones (HS y HSF), el RMS y la concentración de fósforo se determinaron también en la biomasa del humicicola y del stylo de manera individual. El RMS se determinó con el método del cuadrante con área de 1 m<sup>2</sup>. Para ello el cuadrante se colocó en el centro de cada parcela experimental y la biomasa total dentro del cuadrante se cosechó a una altura de 5 cm para los tratamientos H y HF. Para los tratamientos HS y HSF, el humicicola se cortó a una altura de 5 cm y el stylo por ser planta semi-arbustiva a una altura de 20 cm. De cada parcela se obtuvo el peso fresco de la biomasa total, y de esta biomasa se tomó una submuestra de 200 g para determinar el peso seco y realizar el análisis de P.

Las submuestras por tratamiento se depositaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa de aire forzado durante 72 h a 60 °C. Para calcular el RMS se utilizaron los datos del peso fresco del cuadrante y del peso seco de los 200 g en la fórmula:  $RMS = (PF * PS / pf) / 100$ , donde RMS: Rendimiento de materia seca (t ha<sup>-1</sup>), PF: peso fresco de la muestra del m<sup>2</sup> (g de materia verde, MV), pf: peso fresco de la submuestra (g MV) y PS: peso seco de la submuestra (g de MS). En forma paralela, se tomó una segunda submuestra de 200 g en los tratamientos de las asociaciones para separar a la gramínea

of plots of Humicicola in monoculture (H), Humicicola in monoculture+fertilization (HF), Humicicola+Stylo (HS) and Humicicola+Stylo+fertilization (HSF). Each treatment had four repetitions. Prior to the beginning of the experiment, the plots were cut to 5 cm in height. Later, in the treatments conformed by the association *B. humicicola* - *Stylosanthes guianensis* (Stylo), the legume was planted, in the plots of Humicicola, by seed and “chorrillo” in doses of 6 kg ha<sup>-1</sup> and at distances of 30 cm between rows. For phosphatic fertilization, triple superphosphate was used with 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in doses of 100 kg ha<sup>-1</sup> (Pastrana 1994). Given the low solubility of phosphorus, fertilization was divided into two equal parts, applying 50 kg ha<sup>-1</sup> on August 20, 2014 and the remaining 50 kg on February 8, 2015; fertilization was manual.

### Cut dates and response variables

The cut of uniformity in the 16 plots was made on September 1, 2014 and from this date the cuts, sampling and data collection was made every 35 days. Therefore, the first sampling was on October 6, 2014 and the last on July 13, 2015. The useful plot was located in the center of each plot and represented an area of 2 m<sup>2</sup>. The response variables were: Dry matter yield (RMS, t ha<sup>-1</sup>) and phosphorus concentration (g kg<sup>-1</sup>MS). In the treatments formed by the associations (HS and HSF), the RMS and the phosphorus concentration were also determined in the biomass of the Humicicola and the Stylo individually. The RMS was determined with the quadrant method with an area of 1 m<sup>2</sup>. For this, the quadrant was placed in the center of each experimental plot and the total biomass within the quadrant was harvested at a height of 5 cm for the H and HF treatments. For the HS and HSF treatments, the Humicicola was cut at a height of 5 cm and the Stylo for being a semi-shrub plant at a height of 20 cm. The fresh weight of the total biomass was obtained from each plot, and from this biomass a subsample of 200 g was taken to determine the dry weight and perform the P analysis.

The subsamples per treatment were placed in paper bags and dried in a forced air oven for 72 h at 60 °C. To calculate the RMS, the data of the fresh weight of the quadrant and the dry weight of the 200 g in the formula were used:  $RMS = (PF * PS / pf) / 100$ , where RMS: Dry matter yield (t ha<sup>-1</sup>), PF: fresh weight of the sample of m<sup>2</sup> (g of green matter, MV), pf: fresh weight of the subsample (g MV) and PS: dry weight of the subsample (g of MS). In parallel, a second subsample of 200 g was taken in the treatments of the associations to separate the grass from the legume, and

de la leguminosa, y análisis de P de manera individual. Los diferentes componentes se pesaron y secaron en estufa de aire forzado por 72 h a 60 °C. La determinación de fósforo (g kg<sup>-1</sup> MS) en *humidicola* y monocultivo de las asociaciones y de cada especie dentro de las asociaciones, fue por el método de Olsen, utilizando digestión húmeda con mezcla ácido nítrico-perclórico, y el extracto analizado por espectrometría (NOM-021-REC NAT (2000)).

### **Peso de raíces y número de nódulos de *Stylosanthes guianensis***

A final de cada época del año, se colectaron raíces de *S. guianensis*, en los tratamientos en asociación (HS y HSF). Las raíces fueron extraídas a lo largo de 0.3 m lineales y a una profundidad de 25 cm, con ayuda de una pala recta, cuidando no dañar los nódulos. Del total de plantas extraídas se seleccionaban al azar 10 plantas de stylo, para obtener el peso seco total de raíces y número de nódulos. El peso seco total de las raíces por tratamiento y repetición se obtuvo después de secarlas en una estufa de aire forzado, durante 72 h a 60 °C. De los datos del peso fresco y el seco de la raíz, se calculó la concentración de materia seca de raíces en g kg<sup>-1</sup> MS.

### **Diseño experimental**

El experimento se analizó como medidas repetidas mediante PROC MIXED del SAS (SAS, 2010). Se compararon los cuatro tratamientos usando una estructura unifactorial de los tratamientos, siendo la fecha de corte el factor de medida repetida. En el análisis de varianza para cada variable de respuesta, se usó un modelo que incluyó los efectos de tratamiento, fecha de corte y sus interacciones. El esquema de aleatorización de los tratamientos sobre las unidades experimentales fue mediante un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

## **Resultados y discusión**

### **Condiciones ambientales durante el periodo de estudio**

En el mes de septiembre (etapa final de la época de lluvias) e inicios del otoño, se registró una temperatura promedio de 28.5 °C y 208 mm de precipitación pluvial. Posteriormente, de octubre a febrero (época de nortes) que incluye el otoño e invierno, se tuvo un descenso de la temperatura promedio, pasando de 28.5 a 22 °C, registrándose las más

análisis of P individually. The different components were weighed and dried in a forced air oven for 72 h at 60 °C. The determination of phosphorus (g kg<sup>-1</sup> MS) in *Humidicola* in monoculture, of the associations, and of each species within the associations, was by the Olsen method, using wet digestion with nitric-perchloric acid mixture, and the extract analyzed by spectrometry (NOM-021-REC NAT (2000)).

### **Root weight and number of nodules of *Stylosanthes guianensis***

At the end of each season of the year, roots of *S. guianensis* were collected in the treatments in association (HS and HSF). The roots were extracted along linear 0.3 m and at a depth of 25 cm, with the help of a straight shovel, taking care not to damage the nodules. From the total of extracted plants, 10 plants of Stylo were selected at random, to obtain the total dry weight of roots and number of nodules. The total dry weight of the roots by treatment and repetition was obtained after drying them in a forced air oven, for 72 h at 60 °C. From the fresh weight and dry root data, the dry matter concentration of roots was calculated in g kg<sup>-1</sup> MS.

### **Experimental design**

The experiment was analyzed as repeated measures by PROC MIXED of the SAS (SAS, 2010). The four treatments were compared using a unifactorial structure of the treatments, with the cutoff date being the repeated measurement factor. In the analysis of variance for each response variable, a model was used that included the effects of treatment, cutoff date and their interactions. The randomization scheme of the treatments on the experimental units was through a completely randomized design with four repetitions.

## **Results and discussion**

### **Environmental conditions during the study period**

In September (the final stage of the rainy season) and the beginning of autumn, an average temperature of 28.5 °C and 208 mm of rainfall was recorded. Subsequently, from October to February (Nortes season), which includes autumn and winter, there was a decrease in the average temperature, from 28.5 to 22 °C, registering the highest

altas precipitaciones del período de estudio en los meses de octubre (476 mm) y enero (335 mm), siendo diciembre el menos lluvioso (26 mm). En ésta época de nortes (oct-feb), la precipitación pluvial acumulada fue de 1 300 mm. En primavera, durante marzo, abril y mayo (época seca) la temperatura promedio tuvo un ascenso, de 22 °C (época de nortes) a 30 °C. La precipitación pluvial acumulada fue de 220 mm, siendo marzo donde se registró la mayor precipitación (148 mm) y abril menos lluvioso (15.9 mm). Estas variaciones climáticas afectarán el crecimiento de las especies forrajeras en estudio, dando la estacionalidad de la producción de materia seca señalada por Jones y Hu (2006) y observándose el efecto positivo de la complementariedad de la asociación gramínea-leguminosa mostrada en otros estudios (Zuppinge-Dingley *et al.*, 2014; Prieto *et al.*, 2015).

### Rendimiento de materia seca (RMS)

Diferencias en RMS ocurrieron entre fechas de corte y entre tratamientos y la interacción tratamiento x corte fue altamente significativa (Cuadro 1). El patrón cronológico del RMS fue similar entre tratamientos y disminuyó del 7 de octubre al 16 de diciembre en todos los tratamientos. Esta disminución fue mayor en humídicola en monocultivo (H y HF), 1.16 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en este mismo período las asociaciones (HS y HSF), disminuyeron solo en 0.63 y 0.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Lo anterior significó una tasa de reducción del RMS de 16.47 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, promedio de los dos tratamientos de humídicola en monocultivo, y de 9 kg y 7 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para HS y HSF, respectivamente. La disminución del RMS coincidió con el descenso promedio de temperatura en 5 °C sucedido durante este período de nortes.

El RMS tampoco fue diferente entre tratamientos dentro de cada fecha de corte (Cuadro 1). El RMS promedio de los cuatro tratamientos en este período fue de 0.805 t ha<sup>-1</sup>. Del 24 de febrero al 31 de marzo, todos los tratamientos incrementaron su RMS (lo que coincidió con un aumento de 3 °C en la temperatura ambiental), excepto humídicola en monocultivo sin fertilizar (H) el cual se mantuvo estable. Estos incrementos fueron del orden de 0.6, 0.462 y 0.625 t ha<sup>-1</sup>, con respecto a HF, HS y HSF (Cuadro 1). Posteriormente, durante la época seca del año (abril y mayo), todos los tratamientos disminuyen nuevamente sus RMS al pasar de 1.3 t ha<sup>-1</sup> del mes de marzo (promedio de los cuatro tratamientos) a 0.77, 1.05, 0.66 y 1.17 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS y HSF, respectivamente) (Cuadro 1), siendo HSF el tratamiento con el mayor RMS en este periodo.

rainfall in the study period in the months of October (476 mm) and January (335 mm), being the month of December the least rainy (26 mm). In this northern season (Oct-Feb), the accumulated rainfall was 1 300 mm. In spring, during the months of March, April and May (dry season) the average temperature rose, going from 22 °C (Nortes time) to 30 °C. The cumulative rainfall was 220 mm, with the highest rainfall (148 mm) and the least rainy month (15.9 mm) in March. These climatic variations will affect the growth of the forage species under study, giving the seasonality of the dry matter production indicated by Jones and Hu (2006) and observing the positive effect of the complementarity of the grass-legume association shown in other studies (Zuppinge-Dingley *et al.*, 2014; Prieto *et al.*, 2015).

### Dry matter yield (RMS)

Differences in RMS occurred between cut-off dates and between treatments and the interaction treatment x cut was highly significant (Table 1). The chronological pattern of RMS was similar between treatments and decreased from October 7 to December 16 in all treatments. This decrease was greater in Humidicola in monoculture (H and HF), 1.16 t ha<sup>-1</sup>, whereas in this same period the associations (HS and HSF), decreased only in 0.63 and 0.5 t ha<sup>-1</sup>, respectively. This meant a reduction rate of the RMS of 16.47 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, average of the two treatments of Humidicola in monoculture, and of 9 kg and 7 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> for HS and HSF, respectively. The decrease in RMS coincided with the average temperature decrease of 5 °C during this period of Nortes.

The RMS was also not different between treatments within each cutoff date (Table 1). The average RMS of the four treatments in this period was 0.805 t ha<sup>-1</sup>. From February 24 to March 31, all treatments increased their RMS (which coincided with an increase of 3 °C in the ambient temperature), except Humidicola in monoculture without fertilization (H) which remained stable. These increases were of the order of 0.6, 0.462 and 0.625 t ha<sup>-1</sup>, with respect to HF, HS and HSF (Table 1). Subsequently, during the dry season of the year (April and May), all treatments again decrease their RMS, going from 1.3 t ha<sup>-1</sup> in March (average of the four treatments) to 0.77, 1.05, 0.66 and 1.17 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS and HSF, respectively) (Table 1), with HSF being the treatment with the highest RMS in this period.

**Cuadro 1. Rendimiento de materia seca y concentración de fósforo de humidicola en monocultivo, humidicola en monocultivo + fertilización, humidicola+stylo y humidicola+stylo+fertilización, durante períodos de crecimiento de 35 días.**  
**Table 1. Yield of dry matter and phosphorus concentration of humidicola in monoculture, humidicola in monoculture+fertilization, humidicola+stylo and humidicola+stylo+fertilization, during growth periods of 35 days.**

Cosechas	Humidicola en monocultivo(H)	Humidicola en monocultivo+fertilización con fósforo (HF)	Humidicola+Stylo (HS)	Humidicola+Stylo+fertilización con fósforo (HSF)
Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )				
07 - octubre 2014	2.028 aA	1.839 aAB	1.299 aB	1.428 abB
11 - noviembre 2014	1.046 bA	1.171 abA	0.657 bcB	1.117 abcA
16 - diciembre 2014	0.731 bcA	0.804 bA	0.668 bcA	0.923 cA
20 - enero 2015	0.532 cA	0.63 bA	0.588 cA	0.884 cA
24 - febrero 2015	0.945 bcA	0.908 bA	0.671 bcA	0.887 cA
31 - marzo 2015	1.032 bA	1.511 abA	1.133 abA	1.512 aA
05 - mayo 2015	0.751 bcB	0.917 bB	0.752 bcB	1.333 abcA
09 - junio 2015	0.797 bcBC	1.192 abA	0.563 cC	1.015 bcAB
14 - julio 2015	2.081 aA	1.958 aA	0.868 bcB	1.438 abAB
Media	1.105	1.215	0.786	1.18
Concentración de P (g kg <sup>-1</sup> MS)				
07 - octubre 2014	0.65 dB	1.05 dA	0.633 eB	1.1 eA
11 - noviembre 2014	0.975 bcB	1.525 bcdA	0.95 bcdB	1.325 cdeA
16 - diciembre 2014	1.15 abB	1.9 abcA	1.325 aB	1.725 bA
20 - enero 2015	1.325 aB	2.05 abA	1.175 abB	1.75 bA
24 - febrero 2015	1.025 bcC	2.075 aA	1 bcdC	1.65 bB
31 - marzo 2015	1.16 abB	2 abA	1 abcB	2.113 aA
05 - mayo 2015	0.837 bcdB	1.635 abcA	0.871 cdeB	1.482 bcdA
09 - junio 2015	0.876 bcdB	1.492 bcdA	0.746 deB	1.583 bcA
14 - julio 2015	0.718 cdB	1.436 cdA	0.832 cdeB	1.275 deA
Media	0.968	1.676	0.968	1.55
Nivel de significancia				
Tratamiento (T)	***			
Corte (C)	***			
T*C	***			

\*\*\*  $p < 0.0001$ , promedios con letras minúsculas distintas difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) entre fechas de cosechas dentro de un tratamiento. Promedios con letras mayúsculas distintas difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos dentro de una misma fecha de cosecha; dosis de fósforo= 100 kg ha<sup>-1</sup>.

Las asociaciones (HS, HSF), fueron los que mostraron mayor estabilidad en el RMS, lo que coincide con Prieto *et al.* (2015). Estos autores demostraron que la diversidad de especies en una pradera regula su productividad y estabilidad por la inducción de efectos complementarios. Posteriormente, del 16 de diciembre al 24 de febrero, los cuatro tratamientos registraron los RMS más bajos de ésta época de nortes, con valores promedio de 0.74, 0.78, 0.65 y 0.9 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS y HSF, respectivamente).

The associations (HS, HSF) were the ones that showed greater stability in the RMS, which coincides with Prieto *et al.* (2015). These authors demonstrated that the diversity of species in a meadow regulates their productivity and stability by the induction of complementary effects. Subsequently, from December 16 to February 24, the four treatments recorded the lowest RMS of this time of Nortes, with average values of 0.74, 0.78, 0.65 and 0.9 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS and HSF, respectively).

El RMS tampoco fue diferente entre tratamientos dentro de cada fecha de corte (Cuadro 1). El RMS promedio de los cuatro tratamientos en este período fue de 0.805 t ha<sup>-1</sup>. Del 24 de febrero al 31 de marzo, todos los tratamientos incrementaron su RMS (lo que coincidió con un aumento de 3 °C en la temperatura ambiental), excepto humídicola en monocultivo sin fertilizar (H) el cual se mantuvo estable. Estos incrementos fueron del orden de 0.6, 0.462 y 0.625 t ha<sup>-1</sup>, con respecto a HF, HS y HSF (Cuadro 1). Posteriormente, durante la época seca del año (abril y mayo), todos los tratamientos disminuyen nuevamente sus RMS al pasar de 1.3 t ha<sup>-1</sup> del mes de marzo (promedio de los cuatro tratamientos) a 0.77, 1.05, 0.66 y 1.17 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS y HSF, respectivamente) (Cuadro 1), siendo HSF el tratamiento con el mayor RMS en este periodo.

De esta manera, en el mes más seco (abril), HSF registró 0.52 t ha<sup>-1</sup> más de RMS con respecto al promedio de los tres tratamientos restantes. El mayor RMS de la asociación HSF en períodos de estrés ambiental, coincidió con el mayor RMS de la leguminosa en este periodo (Cuadro 2).

The RMS was also not different between treatments within each cutoff date (Table 1). The average RMS of the four treatments in this period was 0.805 t ha<sup>-1</sup>. From February 24 to March 31, all treatments increased their RMS (which coincided with an increase of 3 °C in the ambient temperature), except Humidicola in monoculture without fertilization (H) which remained stable. These increases were of the order of 0.6, 0.462 and 0.625 t ha<sup>-1</sup>, with respect to HF, HS and HSF (Table 1). Subsequently, during the dry season of the year (April and May), all treatments again decrease their RMS, going from 1.3 t ha<sup>-1</sup> in March (average of the four treatments) to 0.77, 1.05, 0.66 and 1.17 t ha<sup>-1</sup> (H, HF, HS and HSF, respectively) (Table 1), with HSF being the treatment with the highest RMS in this period.

In this way, in the driest month (April), HSF registered 0.52 t ha<sup>-1</sup> more than RMS with respect to the average of the three remaining treatments. The highest RMS of the HSF association in periods of environmental stress coincided with the highest RMS of the legume in this period (Table 2).

**Cuadro 2. Rendimiento de materia seca (t ha<sup>-1</sup>) de *Brachiaria humidicola* y de *Stylosanthes guianensis* creciendo en asociación con y sin fertilización fosfatada (100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) de octubre 2014 a julio 2015.**

**Table 2. Dry matter yield (t ha<sup>-1</sup>) of *Brachiaria humidicola* and *Stylosanthes guianensis* growing in association with and without phosphate fertilization (100 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) from October 2014 to July 2015.**

Especie	Cortes									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Humidicola (H)-Stylo (S)										
Gramínea (H-HS)	0.58 a	0.34 abc	0.257 bc	0.191 bc	0.059 c	0.436 ab	0.3 abc	0.36 abc	0.491 ab	3.025
Leguminosa (S-HS)	0.718 a	0.347 ab	0.453 ab	0.484 ab	0.623 a	0.696 a	0.451 ab	0.199 b	0.377 ab	4.348
H-S Fertilizados										
Gramínea (H-HSF)	0.413 bc	0.452 bc	0.16 c	0.241 c	0.202 c	0.312 bc	0.441 bc	0.606 ab	0.761 a	3.588
Leguminosa (S-HSF)	1.015 ab	0.66 abc	0.82 abc	0.586 bc	0.565 bc	1.199 a	0.89 abc	0.409 c	0.67 abc	6.825

Promedios con letras distintas sobre la misma hilera indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). 1= 7 de octubre, 2= 11 de noviembre, 3= 16 de diciembre, 4= 20 de enero, 5= 24 de febrero, 6= 31 de marzo, 7= 5 de mayo, 8= 9 de junio, 9= 14 de julio. H-HS= humidicola en la asociación HS; S-HS= stylo en la asociación HS; H-HSF= humidicola en la asociación HSF; S-HSF= stylo en la asociación HSF.

Estos resultados indican que la fertilización fosfatada tuvo mayor efecto en la leguminosa que en la gramínea, incluso stylo ha sido reportada con alta adaptación a suelos ácidos y habilidad para aprovechar el fósforo en estos suelos (Yang y Yan, 1998; Du *et al.*, 2009). En general, en la época seca del año (31 de marzo al 9 de junio), los tratamientos fertilizados HF y HSF, tuvieron mayor RMS promedio con 1.05 y 1.18 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que en los tratamientos sin fertilizar (H y HS), fue de 0.77 y 0.66 t ha<sup>-1</sup>, en su orden. En la época de lluvias, por mejorarse las condiciones de humedad

These results indicate that phosphate fertilization had a greater effect in the legume than in the grass, even Stylo has been reported with high adaptation to acid soils and ability to take advantage of phosphorus in these soils (Yang and Yan, 1998; Du *et al.*, 2009). In general, in the dry season of the year (March 31 to June 9), the fertilized treatments HF and HSF, had higher average RMS with 1.05 and 1.18 t ha<sup>-1</sup>, respectively, while in the treatments without fertilizing (H and HS), was 0.77 and 0.66 t ha<sup>-1</sup>, in order. In the rainy season, due to improved environmental humidity



ambiental, todos los tratamientos incrementaron su RMS. Los tratamientos de humidicola en monocultivo (H, HF) registraron mayor RMS, promediando  $2.01 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en las asociaciones los registros fueron de  $0.87$  y  $1.44 \text{ t ha}^{-1}$  con respecto a HS y HSF (Cuadro 2). En otros estudios, se ha observado esta rápida recuperación del humidicola en monocultivo (H, HF) al situarlo en condiciones ambientales favorables para su crecimiento (Saito, 2004). El RMS total de los 280 días de estudio fue semejante entre los tratamientos H, HF y HSF con un valor promedio de  $10.5$ , lo que contrasta con las  $7.07 \text{ t ha}^{-1}$  del tratamiento HS.

El menor rendimiento promedio de HS ( $0.78 \text{ t ha}^{-1}$ ) respecto al monocultivo ( $1.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), difiere de otros estudios (Sleugh *et al.*, 2000; Gierus *et al.* 2012; Rasmussen *et al.*, 2012; Albayrak y Turk, 2013) en los que se ha observado que las asociaciones gramínea-leguminosa presentan un mayor RMS, con respecto a gramíneas en monocultivo. En nuestro estudio el bajo RMS de HS se debió a las diferencias en alturas de corte aplicadas a las especies dentro de las asociaciones, lo que representó una ventaja para la leguminosa en la captación de luz y de nutrientes, y un sombreado en el humidicola ocasionando un menor RMS del humidicola asociado (Cuadro 3) y en consecuencia un menor RMS de la parcela (Cuadro 1). Gierus *et al.* (2012) indican que la estabilidad de la composición de las especies en praderas asociadas gramínea-leguminosa y su resultado en términos de RMS, son producto de la competencia por los recursos entre la gramínea y la leguminosa; es decir, de su habilidad para coexistir.

Los tratamientos HS y HSF, la leguminosa mantiene una mayor proporción a lo largo de los cortes, excepto en las dos últimos del 9 de junio y 14 de julio (Cuadro 2). En HS, la proporción de la leguminosa es superior a 50% del RMS en la mayoría de los cortes, y superior a 70% en HSF. En la asociación HS, la leguminosa mantiene su estabilidad de rendimiento a lo largo de todo el período de evaluación, excepto el 9 de junio donde registra menor RMS. Por el contrario, humidicola, dentro de la asociación humidicola-stylo, presenta mayor variación al disminuir su RMS del 16 de diciembre al 24 de febrero (época de nortes), para después volver a incrementarlo.

En HSF, la leguminosa tiene menor RMS del 20 de enero y 24 de febrero y el 9 de junio; sin embargo, en siete de los nueve cortes (excepto el 9 de junio y 14 de julio), registra más de 70% de RMS con respecto al humidicola. Por ello, el stylo registró  $3.23$  y  $1.32 \text{ t ha}^{-1}$  más de RMS acumulado, al término del período de evaluación, que humidicola dentro de las asociaciones HSF y HS, respectivamente. La

conditions, all treatments increased their RMS. The Humidicola treatments in monoculture (H, HF) registered higher RMS, averaging  $2.01 \text{ t ha}^{-1}$ , while in the associations the records were  $0.87$  and  $1.44 \text{ t ha}^{-1}$  with respect to HS and HSF (Table 2). In other studies, this rapid recovery of Humidicola in monoculture (H, HF) has been observed by placing it in favorable environmental conditions for its growth (Saito, 2004). The total RMS of the 280 study days was similar between treatments H, HF and HSF with an average value of  $10.5$ , which contrasts with the  $7.07 \text{ t ha}^{-1}$  of the HS treatment.

The lower average yield of HS ( $0.78 \text{ t ha}^{-1}$ ) compared to monoculture ( $1.1 \text{ t ha}^{-1}$ ), differs from other studies (Sleugh *et al.*, 2000; Gierus *et al.* 2012; Rasmussen *et al.*, 2012; Albayrak and Turk, 2013) in which it has been observed that the grass-legume associations present a higher RMS, with respect to grasses in monoculture. In our study, the low RMS of HS could be due to the differences in cutting heights applied to the species within the associations, which should have represented an advantage for the legume in the collection of light and nutrients, and a shade in the Humidicola causing a lower RMS of the associated Humidicola (Table 3) and consequently a lower RMS of the plot (Table 1). Gierus *et al.* (2012) indicate that the stability of the composition of the species in grass-legume associated grasslands and their result in terms of RMS, are a product of the competition for the resources between the grass and the legume; that is, of their ability to coexist.

In the HS and HSF treatments, the legume maintains a greater proportion throughout the cuts, except in the last two of June 9 and July 14 (Table 2). In HS, the proportion of the legume is higher than 50% of the RMS in most of the cuts, and higher than 70% in HSF. In the HS association, the legume maintains its yield stability throughout the evaluation period, except on June 9 where it records its lowest RMS. On the other hand, Humidicola, within the association Humidicola-Stylo, shows greater variation by decreasing its RMS from December 16 to February 24 (Nortes time), to subsequently increase it again.

In HSF, the legume has lower RMS from January 20 and February 24 and June 9; however, in seven of the nine courts (except June 9 and July 14), it records more than 70% of RMS with respect to Humidicola. Therefore, the Stylo recorded  $3.23$  and  $1.32 \text{ t ha}^{-1}$  more accumulated RMS, at the end of the evaluation period, which Humidicola within HSF and HS associations, respectively. The greater stability

mayor estabilidad de producción de la leguminosa entre las tres épocas del año (Cuadro 2) conlleva a un efecto complementario del RMS de la gramínea dentro de una asociación, principalmente en épocas de difícil crecimiento de la planta, como ha sido observado en otros estudios (Sleugh *et al.*, 2000; Tilman *et al.*, 2006; Prieto *et al.*, 2015).

El RMS de stylo dentro de la asociación HSF fue 2.47 t ha<sup>-1</sup> superior a su RMS registrado en HS (Cuadro 2). Sin embargo, el número de nódulos por planta varió por efecto de la fertilización, con 18.8 en el tratamiento HSF y 13.9 en HS, en promedio de las tres épocas del año. Por lo anterior, la mayor vigorosidad del stylo fertilizado, expresada a través de su alto RMS, pudiera deberse al mayor número de nódulos registrados, con respecto al stylo sin fertilizar, lo que coincide con resultados de Lopes *et al.* (2011). Por épocas, el mayor número de nódulos se registró en nortes (28.1 nódulos pl<sup>-1</sup>), disminuyendo en la época seca (13.6 nódulos pl<sup>-1</sup>) y de lluvias (7.8 nódulos pl<sup>-1</sup>).

### Concentración de fósforo (P)

Hubo diferencias en concentración de P entre tratamientos y entre cortes, y la interacción tratamiento x corte fue significativa (Cuadro 1). El patrón cronológico de la concentración de fósforo durante el período de evaluación fue similar entre tratamientos. Como promedio de los nueve cortes, los niveles de concentración de fósforo se separaron en dos grupos: los tratamientos fertilizados con mayor concentración de P y los tratamientos sin fertilizar con menor concentración. Dentro de cada grupo los tratamientos no difirieron. HF y HSF tuvieron mayor concentración de fósforo promediando 1.62 g kg<sup>-1</sup>MS, seguidos por H y HS con 0.96 g kg<sup>-1</sup> MS en promedio. El incremento de P en los tratamientos fertilizados, deriva de un aumento en la disponibilidad de P en el suelo consecuencia de la aplicación de este elemento, dado que la absorción de un nutriente por la planta es proporcional con la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Kulik, 2009). La mayor concentración de P en leguminosas que en gramíneas, ha sido reportada en otros estudios (Ramírez-Orduna *et al.*, 2005; Dasci *et al.*, 2010).

Fluctuaciones en la concentración de P en la planta fueron evidentes a través de los cortes, manteniendo mayores concentraciones HF y HSF en todos y cada uno de los cortes (Cuadro 1), con un incremento en los cuatro tratamientos a partir del 16 de diciembre al 31 de marzo, para posteriormente disminuir y mantener una concentración semejante a los meses de octubre y noviembre. En nortes, la concentración promedio

of production of the legume between the three seasons of the year (Table 2) leads to a complementary effect of the RMS of the grass within an association, mainly in times of difficult growth of the plant, as has been observed in other studies. (Sleugh *et al.*, 2000; Tilman *et al.*, 2006; Prieto *et al.*, 2015).

The Stylo RMS within the HSF association was 2.47 t ha<sup>-1</sup> higher than its RMS registered in HS (Table 2). However, the number of nodules per plant varied due to fertilization, with 18.8 in HSF treatment and 13.9 in HS, on average for the three seasons. Therefore, the greater vigorousness of the fertilized Stylo, expressed through its high RMS, could be due to the greater number of registered nodules, with respect to the Stylo without fertilizing, which coincides with the results of Lopes *et al.* (2011). At times, the greatest number of nodules was registered in Nortes (28.1 nodules pl<sup>-1</sup>), decreasing in the dry season (13.6 nodules pl<sup>-1</sup>) and rainfall (7.8 nodules pl<sup>-1</sup>).

### Phosphorus concentration (P)

There were differences in concentration of P between treatments and between cuts, and the interaction treatment x cut was significant (Table 1). The chronological pattern of the phosphorus concentration during the evaluation period was similar between treatments. As an average of the nine cuts, the phosphorus concentration levels were separated into two groups: the fertilized treatments with the highest concentration of P and the unfertilized treatments with the lowest concentration. Within each group the treatments did not differ. HF and HSF had higher phosphorus concentration averaging 1.62 g kg<sup>-1</sup>MS, followed by H and HS with 0.96 g kg<sup>-1</sup>MS on average. The increase of P in the fertilized treatments, derives from an increase in the availability of P in the soil as a result of the application of this element, given that the absorption of a nutrient by the plant is proportional with the availability of this nutrient in the soil (Kulik, 2009). The higher concentration of P in legumes than in grasses, has been reported in other studies (Ramírez-Orduna *et al.*, 2005; Dasci *et al.*, 2010).

Fluctuations in the concentration of P in the plant were evident through the cuts, maintaining higher concentrations HF and HSF in each and every one of the cuts (Table 1), with an increase in the four treatments from December 16 to March 31, to subsequently decrease and maintain a concentration similar to the months of October and November. In Nortes, the average concentration of P

de P en los tratamientos HF y HSF fue de 1.9 vs 1.38 g kg<sup>-1</sup>MS de épocas seca y de lluvias, respectivamente. Los tratamientos sin fertilizar (H, HS), registraron una concentración de 1.2 g kg<sup>-1</sup>MS en nortes vs 0.8 g en seca y lluvias, en promedio.

En el presente estudio, se registra mayor concentración de P en stylo que en humidicola (Cuadro 3). Esta diferencia aumenta al haber fertilización fosfatada, mostrando stylo 0.43 g kg<sup>-1</sup> MS más de fósforo que el humidicola fertilizado (Cuadro 3), mientras que la diferencia entre stylo y humidicola sin fertilizar es de 0.12 g kg<sup>-1</sup>MS. Lo anterior indica que stylo es más eficiente en la toma del fósforo que el humidicola al haber fertilización fosfatada. Resultados semejantes presentaron Tomei *et al.* (2005), quienes observaron que el *Stylosanthes guianensis* incrementó su concentración de P con fertilización fosfatada, con mayor a mayor dosis de fertilización. Sin embargo, aun cuando se incrementa la concentración de P en tratamientos fertilizados, la más alta concentración de P fue de 1.62 g kg<sup>-1</sup> MS, en promedio, la cual no supe los niveles críticos de mantenimiento de P para rumiantes que son de 2.1 g kg<sup>-1</sup> MS, según NRC (2000). Por ello, suplementar al ganado con sales minerales ricas en P en esta zona, seguirá siendo necesario aún con el uso de praderas asociadas fertilizadas con este elemento.

in the HF and HSF treatments was 1.9 vs 1.38 g kg<sup>-1</sup> MS of the dry and rainy seasons, respectively. The treatments without fertilizing (H, HS) registered a concentration of 1.2 g kg<sup>-1</sup> MS in Nortes vs 0.8 g in dry and rain, on average.

In the present study, a higher concentration of P is always registered in Stylo than in Humidicola (Table 3). This difference increases with phosphate fertilization, showing Stylo 0.43 g kg<sup>-1</sup> MS more than phosphorus fertilized Humidicola (Table 3), while the difference between Stylo and Humidicola unfertilized is 0.12 g kg<sup>-1</sup> MS. The above indicates that Stylo is more efficient in taking phosphorus than the Humidicola because of phosphate fertilization. Similar results were presented by Tomei *et al.* (2005), who observed that *Stylosanthes guianensis* increased its concentration of P with phosphate fertilization, with higher to higher fertilization dose. However, even when the concentration of P in fertilized treatments is increased, the highest concentration of P was 1.62 g kg<sup>-1</sup> MS, on average, which does not replace the critical maintenance levels of P for ruminants that are 2.1 g kg<sup>-1</sup> MS, according to NRC (2000). Therefore, supplement livestock with P-rich mineral salts in this area, will still be necessary with the use of associated meadows fertilized with this element.

**Cuadro 3. Concentración de fósforo (g kg<sup>-1</sup> MS) de *B. humidicola* y de *S. guianensis* creciendo en asociación con y sin fertilización fosfatada (100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), en períodos de crecimiento de 35 días de octubre 2014 a julio 2015.**  
**Table 3. Phosphorus concentration (g kg<sup>-1</sup> MS) of *B. humidicola* and *S. guianensis* growing in association with and without phosphate fertilization (100 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), in 35-day growth periods from October 2014 to July 2015.**

Especie	Cortes									Media
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Humidicola (H)-stylo (S)										
Gramínea (H-HS)	0.75 c	0.85 bc	1.125 a	1.125 a	1 ab	0.95 abc	0.777 c	0.759 c	0.839 bc	0.906
Leguminosa (S-HS)	0.675 b	1.15 a	1.175 a	1.15 a	1.05 a	1.126 a	0.93 a	1.001a	1.013 a	1.03
H-S Fertilizados										
Gramínea (H-HSF)	1.05 c	1.2 abc	1.525 a	1.475 ab	1.37 abc	1.506 a	1.19 bc	1.25 abc	1.13 bc	1.3
Leguminosa (S-HSF)	1.375 c	1.625 bc	1.85 b	1.775 b	1.825 b	2.153 a	1.602 bc	1.708 bc	1.688 bc	1.733

Promedios con letras distintas sobre la misma hilera indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). 1= 7 de octubre, 2= 11 de noviembre, 3= 16 de diciembre, 4= 20 de enero, 5= 24 de febrero, 6= 31 de marzo, 7= 5 de mayo, 8= 9 de junio, 9= 14 de julio. H-HS= humidicola en la asociación HS; S-HS= stylo en la asociación HS; H-HSF= humidicola en la asociación HSF; S-HSF= stylo en la asociación HSF.

En general, la mayor estabilidad de producción de MS de la pradera asociada podría llevar a una estabilidad de la condición corporal del animal a través el año, lo que significaría mejorar la producción de carne, leche o becerro, además de poder reducir la cantidad de suplemento alimenticio con altos contenidos de fósforo para el ganado, por ser las leguminosas ricas en este elemento. Diferentes

In general, the greater stability of MS production of the associated meadow could lead to a stability of the animal's body condition throughout the year, which would mean improving the production of meat, milk or calf, as well as reducing the amount of food supplement with high phosphorus content for livestock, as legumes are rich in this element. Different studies including the animal should

estudios incluyendo al animal deberán realizarse para mejor comprender el impacto de la asociación gramíneas-leguminosas en la sustentabilidad de la pradera y del sistema de producción animal, en suelos ácidos en la región tropical húmeda de nuestro país.

## Conclusiones

Al incluir *Stylosanthes guianensis* en praderas de *Brachiaria humidicola* y fertilizar con fósforo, se mejora la estabilidad estacional del RMS y se aumenta significativamente la concentración de fósforo de la pradera. Se incrementa también el número de nódulos de las raíces por efecto de la fertilización fosfatada, lo que puede ayudar a incrementar la fijación de nitrógeno al suelo.

## Agradecimientos

El primer autor agradece al CONACYT por la beca otorgada para la realización de sus estudios de postgrado. Al Colegio de Postgraduados por el financiamiento de la investigación (proyecto 443) y al INIFAP por permitirle trabajar en una de sus líneas de investigación en forrajes.

## Literatura citada

- Albayrak, S. and Turk, M. 2013. Changes in the forage yield and quality of legume-grass mixtures throughout a vegetation period. *Turkish J. Agric. Forestry*. 37(2):139-147.
- Bolaños, A. E. D.; Émile, J. C. and Enríquez, Q. J. F. 2010. Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche. *Fourrage*. 204(1):277-282.
- Castillo, G. E.; Rascón, C. R.; García, G. D.; Rodríguez, J. J.; Jaramillo, R. J.; Aluja, A. S. y Mannetje, L. 2014. Comportamiento ingestivo de vacas en una asociación grama nativa/*Arachis pinto* en el trópico húmedo veracruzano. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 5(4):487-504.
- Dasci, M.; Güllap, M. K.; Erkovan, H. I. and Koc, A. 2010. Effects of phosphorus fertilizer and phosphorus solubilizing bacteria applications on clover dominant meadow: II. Chemical composition. *Turkish J. Field Crops* 15(1):18-24.
- Du, Y. M.; Tian, J.; Liao, H.; Bai, C. J.; Yan, C. J. and Liu, G. 2009. Aluminium tolerance and high phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. *Annals Bot.* 103(8):1239-1247.

be carried out to better understand the impact of the grass-leguminous association on the sustainability of the grassland and the animal production system, in acid soils in the humid tropical region of our country.

## Conclusions

By including *Stylosanthes guianensis* in *Brachiaria humidicola* grasslands and fertilizing with phosphorus, the seasonal stability of the RMS is improved and the phosphorus concentration of the meadow is significantly increased. The number of root nodules is also increased by the effect of phosphate fertilization, which can help to increase nitrogen fixation to the soil.

*End of the English version*



- Enríquez, Q. J. F.; Meléndez, N. F.; Bolaños, A. E. D. y Esqueda, E. V. A. 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. Campo Experimental La Posta. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz. Libro técnico núm. 28. 404 p.
- Gierus, M.; Kleen, J.; Loges, R. and Taube, F. 2012. Forage legume species determine the nutritional quality of binary mixtures with perennial ryegrass in the first production year. *Animal Feed Sci. Technol.* 172(3):150-161.
- Gweyi, O. J. P.; Tesfamariam, T. and Neumann, G. 2011. Contrasting responses to phosphorus status by *Arachis pinto* (Krapov and W.C. Gregory): A lesson for selecting vegetables for cultivation in Kenyan Ecozones. *Asian J. Agric. Res.* 5(1):45-55.
- Jones, R. J. and Hu, F. D. 2006. Diet selection of steers grazing *Stylosanthes hamata* cv. Verano-grass pastures in north Queensland and its potential influence on botanical composition. *Trop. Grasslands*. 40(2):65-69.
- Juárez, H. J.; Bolaños, A. E. D.; Vargas, L. M.; Medina, S. y Martínez, H. P. A. 2011. Curvas de la dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 45(3):321-331.
- Kulik, M. 2009. Effect of different factors on chemical composition of grass-legumes sward. *J. Elementol.* 14(1):91-100.
- Liu, G. D.; Phaikaew, C. and Stur, W. W. 1997. Status of *Stylosanthes* development in other countries. II. *Stylosanthes* development and utilization in China and south-east Asia. *Trop. Grassland*. 31(5):460-466.
- Lopes, J.; Evangelista, R. A.; Fortes, A. C.; Pinto, C. J.; Neto, F. A. E. and Souza, M. R. 2011. Nodulation and root production of *Stylosanthes* Mineirao under the effect of lime, silicate and phosphorus. *Ciencia e Agrotecnologia Lavras*. 35(1):99-107.

- Lüscher, A.; Mueller-Harver, I.; Soussana, J. F.; Rees, R. M. and Peyraud, J. L. 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Sci.* 69(2):206-228.
- Miller, C. P.; Rains, J. P.; Shaw, K. A. and Middleton, C. H. 1997. Commercial development of *Stylosanthes* pastures in Northern Australia. II. *Stylosanthes* in the northern Australian beef industry. *Trop. Grasslands.* 31(5):509-514.
- NRC (National Research Council). 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, D. C. 248 p.
- Olivera, Y.; Machado, R.; Ramírez, J. F. and Castañeda, L. 2012. Evaluación del establecimiento de una colección de accesiones de *Brachiaria brizantha* asociadas con *Stylosanthes guianensis* CIAT-184. *Pastos y Forrajes.* 35(2):153-164.
- Pastrana, L. 1994. Respuesta de *Brachiaria decumbens* a la aplicación de dos fuentes de fósforo en un suelo ácido. *Pasturas Tropicales.* 16(1):32-35.
- Pizarro, E. A.; do Valle, C. B.; Keller-Grein, G.; Schultz-Kraft, R. and Zimmer, A. H. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America-Savannas. In: *Brachiaria: biology, agronomy and improvement.* Miles, J. W.; Maass, B. L. and do Valle, C. B. (Eds.). CIAT Publications No. 259, Cali, Colombia. 225-243 pp.
- Prieto, I.; Violle, C.; Barre, P.; Durand, J. L.; Ghesquiere, M. and Litrico, I. 2015. Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Natura Plants.* 1(4):1-10.
- Ramírez, O. R.; Ramírez, R. G.; Rodrigues, H. G. and Haenlein, G. F. W. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Res.* 57(1): 1-10.
- Rasmussen, J.; Soegaard, K. and Pirhofer-Walzl, E. J. 2012. N<sub>2</sub>-fixation and residual N effect of four legumes species and four companion grass species. *Eur. J. Agron.* 36(1): 66-74.
- Reyes, P. Q.; Bolaños, A. E. D.; Hernández, S. D.; Aranda, I. E. M. e Izquierdo, R. F. 2009. Producción de materia seca y contenido de proteína en 21 genotipos del pasto humidicola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Univ. Cien.* 25(3):213-224.
- Rincón, J. J.; González, I. y Betancourt, M. 1997. Evaluación radicular y distribución de nódulos en *Stylosanthes hamate* bajo condiciones de bosque muy seco tropical. *Archivos Latinom. Producción Animal.* 5(3):57-59.
- Saito, Y. 2004. Compatibility of mixed seedings of tropical legumes and grasses on a South American tropical savanna. *Jarq-Japan Agric. Res. Quarterly.* 38(1):61-67.
- Salgado, G. S.; Palma, L. D. J.; Castelán, E. M.; Lagunes, E. L. C. y Ortiz, L. H. 2010. Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.
- SAS Institute. 2010. User's Guide: Statistics, version 9.3. Cary, N.C. USA.
- SIAP. 2016. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. <http://www.gob.mx/SIAP/documento/población-ganadera>.
- Sleugh, B.; Moore, K. J.; George, R. and Brummer, E. C. 2000. Binary legume-grass mixture improve forage yield, quality and seasonal distribution. *Agron. J.* 92(1):24-29.
- Tilman, D.; Reich, P. B. and Knops, J. M. H. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature.* 441(7093):629-632.
- Tomei, C. E.; Brito, M. N.; Hack, C. M., Castelán, M. E. y Ciotti, E. M. 2005. Efecto del agregado de fósforo sobre el rendimiento de *Stylosanthes guianensis* C.V. CIAT 184. INTA, Argentina. *RIA.* 34(1):19-27.
- Yang, M. and Yan, X. L. 1998. Preliminary studies on morphological and physiological mechanisms of *Stylosanthes* for P efficiency on acid soils. *Acta Agrestia Sinica.* 6(6):212-220.
- Zuppinger, D. D.; Schmid, B.; Petermann, J. S.; Yadav, V.; De Deyn, G. B. and Flynn, D. F. B. 2014. Selection for niche differentiation in plant communities increases biodiversity effects. *Nature.* 515(7525):108-111.