

PRODUCCIÓN FORRAJERA DEL *Trypsacum laxum*, FERTILIZADO CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO¹

Claudio Fabián Vargas-Rodríguez², Carlos Boschini-Figueroa²

RESUMEN

Producción forrajera del *Trypsacum laxum* fertilizado con nitrógeno fósforo y potasio. El objetivo de este experimento fue determinar el efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento de *Trypsacum laxum*. En una plantación establecida en el año 2006 en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica ubicada a 1542 msnm, se inició la investigación durante la época lluviosa (mayo) del 2008, se cortó a nivel del suelo y se cosechó a una edad de 120 días de rebrote para la evaluación. El diseño experimental usado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones y quince tratamientos (cinco dosis de nitrógeno, fósforo y potasio) en un arreglo factorial de compuesto central y rotatable 5³. El rendimiento anual de materia seca y verde mostró diferencias ($P < 0,05$) entre los diferentes niveles de N, P y K aplicados. La máxima producción de materia verde se obtuvieron con 130 kg N/ha (26 869 kg/corte), con 88,6 kg de K (28 783 kg/corte) y con la adición de fósforo, la producción se comportó de manera lineal ascendente. Los valores más altos de materia seca fueron 4579 y 4588 kg/ha/corte con 105,60 y 68,35 kg/ha/año de N y K respectivamente, mientras que con el P el *Trypsacum* mostró la misma tendencia que la materia verde. Las dosis de NPK con mejores resultados fue 337 kg de N/ha/año, 90 kg de P/ha/año y 75 kg de K/ha/año.

Palabras claves: Pasto, fertilización NPK, pasto Guatemala, forraje Prodigio.

ABSTRACT

Forage yield of *Trypsacum laxum* fertilized with nitrogen, phosphorous and potassium. The purpose of this research was to evaluate the yield of *T. laxum* pasture under five doses of nitrogen (N), phosphorous (P) and potassium (K). This experiment was developed at Experimental Station "Alfredo Volio Mata" of the University of Costa Rica, located at 1542 masl during the rainy season (May), in a plantation of *Trypsacum laxum* established in 2006. The experimental material was cut at the ground level and harvested 120 days later for the evaluation. The experimental design was of randomized blocks with four repetitions and 15 treatments in a factorial response surface 5³. The dry and fresh matter yield showed important differences ($P < 0.05$) among the levels of N, P, K, and with 88.6 kg/ha/year of K (28 783 kg/ha/re-growth). The highest production of fresh material was obtained with 130 kg N/ha/year (26 869 kg/ha/re-growth), and with the addition of P the yield showed a linear increment. The highest values for dry matter were 4579 and 4588 kg/ha/re-growth, obtained with 105.6 and 68.35 kg/ha/year of N and K respectively; with P, *Trypsacum* showed the same tendency as fresh material. The NPK dose that yielded best result was 337 kg N/ha/year, 90 kg P/ha/year and 75 kg K/ha/year.

Key words: Pastures, NPK fertilization, Guatemala grass, roughage Prodigio.



¹ Recibido: 13 de abril, 2010. Aceptado: 16 mayo, 2011. Inscrito en la Vicerrectoría de Investigación, No 737-97- 006. Universidad de Costa Rica.

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. fabian.vargas@ucr.ac.cr; carlos.boschini@ucr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

El *Trypsacum laxum* (pasto Prodigioso o pasto Guatemala) reconocido también como *Trypsacum fasciculatum* o *Trypsacum andersonii* (Chen 1992), es un material forrajero vigoroso de tipo perenne que es utilizado principalmente en sistemas de corte, logrando alcanzar hasta tres metros de altura, con una gran producción de hojas, cercana a 1,20 m de largo y con una lámina de aproximadamente 9 cm de ancho (Clayton *et al.* 2006), además tiene la capacidad de mantener el valor nutritivo en estados de madurez avanzada (Tessem y Baars 2006). Se considera una especie ubicada en la misma línea filogenética del teosinte, el cual también es el pariente silvestre del maíz; además el género *Trypsacum* es el único con el cual se ha podido cruzar el maíz en condiciones experimentales y se han producido híbridos viables que crecen hasta alcanzar la madurez (Le Blanc *et al.* 1995). Esos híbridos tienen la cualidad de ofrecer apomixis y mayor resistencia a los insectos y maleza.

El pasto Prodigioso se encuentra altamente distribuido por todo Mesoamérica, Sur América y en la parte Occidental de la India (Randolph 1970), y de acuerdo con Crowder *et al.* (1959) en un estudio que se realizó en Colombia, este material se logró adaptar satisfactoriamente desde 0 hasta 1500 msnm, por encima de esa altitud mostró un desempeño moderado, mientras que por encima de los 2000 msnm su rendimiento fue pobre.

Por las características morfológicas del Prodigioso, se incluye dentro del grupo de forrajes con altos rendimientos por hectárea similares a los *Pennisetum* que tienen la capacidad de producir entre 25 y 110 t/ha/corte de forraje verde; además, se estima que su contenido de materia seca se mantiene alrededor de 20% (FAO 2009); no obstante, así como la mayoría de las forrajeras su capacidad productora está muy ligada a la disponibilidad de nutrientes en el suelo, siendo éste uno de los aspectos que limita el potencial de crecimiento de los cultivos forrajeros en general (Bertsch 1998).

El nitrógeno es uno de los elementos que estimula el crecimiento y la calidad de las gramíneas, por lo cual su adición es un requisito para la expresión de la productividad de éstas (Marino y Agnusdei 2004, Grunow y Rabie 1985). Por otra lado, el fósforo forma parte de la molécula de ATP y por lo tanto es indispensable

en todos los procesos metabólicos que involucran el aprovechamiento y acumulación de energía (Bertsch 1998). El potasio es un catión de gran relevancia para las funciones metabólicas y fisiológicas de las plantas cuya deficiencia puede intervenir negativamente en la utilización de otros elementos como el magnesio (Monteiro y Consolmagno 2008). No obstante, a pesar de la importancia de estos elementos en el accionar de las plantas, los trabajos de investigación concernientes a los requerimientos de los forrajes son escasos y la información necesaria para establecer programas eficientes se basan en las recomendaciones de casas comerciales que se sustentan mayormente en apreciaciones visuales de campo.

Basados en la necesidad de establecer prácticas culturales acertadas para lograr los máximos rendimientos del *T. laxum*, se planteó el presente trabajo con la intención de evaluar el efecto de suministrar diferentes dosis y combinaciones de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de materia verde, materia seca y relación hoja: tallo de esta forrajera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló durante el segundo semestre del año 2008 en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata, de la Universidad de Costa Rica, la cual se encuentra localizada a 1542 msnm en Ochomogo de Cartago. La precipitación media anual es de 1502 mm, concentrada en la época de mayo a noviembre, la humedad relativa media es de 88% y la temperatura promedio anual de 17,9°C (IMN 2010³). El suelo en la zona es de origen volcánico, clasificado como Typic hapludands y se caracteriza por presentar una profundidad media, con cualidades de buen drenaje y fertilidad intermedia (pH de 6,1, 7,5% de materia orgánica, 0,48% de nitrógeno total, 12 mg/l de fósforo, 1,03 cmol/l de potasio, 8 cmol/l de calcio y 2,7 cmol/l de magnesio, 12 mg/l de cobre, 2,6 mg/l de zinc, 2,3 mg/l de manganeso y 110 mg/l de hierro), además la zona es considerada como bosque húmedo montano bajo (USDA 2010).

³ IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2010. Condiciones climatológicas. Comunicación personal.

Se utilizó un área aproximada de 5000 m², sembrada con pasto Prodigioso (*T. laxum*) durante el periodo lluvioso del 2006, a una distancia entre surco de 70 cm y con una densidad de tres tallos de semilla vegetativa, colocadas en forma de cadena las partes apical, media y basal. El lapso inicial de establecimiento fue de 365 días y la primera cosecha se realizó en el segundo semestre del 2007. Se recogió una segunda cosecha y se uniformizó el cultivo para iniciar el experimento al inicio del periodo lluvioso (mayo) del 2008. Los tratamientos de fertilización se aplicaron cuando el rebrote alcanzó una altura de 10 cm a los quince días de edad.

El terreno donde se estableció el cultivo se dividió en 76 parcelas para distribuir los tratamientos experimentales, dejando dos metros de separación alrededor de cada una de ellas. El diseño experimental desarrollado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y tratamientos en un arreglo factorial de compuesto central y rotatable 5³ (Cochran y Cox 1957, Boschini 2008). El modelo estadístico empleado es el siguiente:

$$Y_{iulw} = R_w + b_o + \sum_{i=1}^k b_i X_{iul} + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_{iul}^2 + \sum_{i<j}^k b_{ij} X_{iul} X_{jul} + e_{iulw}$$

donde:

Y_{iulw} = Observación l-ésima en w-ésimo bloque en el u-ésimo nivel del i-ésimo factor.

R_w = Bloque w-ésimo.

b_o = Valor de la intersección en la superficie de respuesta.

b_i = Pendiente lineal del i-ésimo factor.

b_{ii} = Pendiente cuadrática del i-ésimo factor.

b_{ij} = Pendiente de la interacción del i-ésimo factor por el j-ésimo factor.

X_{iul} = Observación l-ésima en el nivel u-ésimo del i-ésimo factor.

X_{jul} = Observación l-ésima en el nivel u-ésimo del j-ésimo factor.

e_{iulw} = Error experimental en la observación l-ésima en el w-ésimo bloque en el u-ésimo nivel del i-ésimo factor.

Las dosis aplicadas fueron: nitrógeno, fósforo y potasio, en los niveles de 35, 112,5, 225, 337,5 y 414,2 kg/ha/año; 9,55, 30, 60, 90 y 110,45 kg/ha/año y 23,87, 75, 150, 225 y 276,13 kg/ha/año, respectivamente. La combinación del tratamiento central tuvo veinte repeticiones y en los restantes se aplicaron cuatro. El fertilizante se aplicó de manera individual

y uniforme en cada parcela asegurando cubrir la cantidad requerida para el periodo experimental que fue de 120 días desde la uniformización hasta la cosecha. En el Cuadro 1 se muestran los tratamientos experimentales y las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio empleados en la mezcla física, y los materiales empleados para preparar dicha muestra fueron nitrato de amonio (33% N), triple superfosfato (46% P) y cloruro de potasio (60% K).

La cosecha se realizó en forma aleatoria cuando el material llegó a los 120 días tomando cuatro muestras de material desarrollado en la parcela experimental por tratamiento, las cuales fueron pesadas y posteriormente, se separaron las hojas de los tallos, se cuantificaron y además ambas fracciones fueron pesadas por separado. Luego de determinar el peso fresco, las muestras se secaron a 60°C durante 48 horas hasta alcanzar un peso constante y se realizó nuevamente una pesada en seco para determinar el contenido de materia seca a 105°C (AOAC 2002). Se estimaron los rendimientos de biomasa seca en planta entera, de hojas y tallos por separado a partir de los muestreos realizados. Los resultados se analizaron con el PROC GLM del paquete estadístico SAS (1985) con el modelo propuesto. A todas las variables que resultaron significativas en el análisis de varianza, se les hizo uno de regresión polinomial y posteriormente se determinó mediante derivadas parciales los puntos de máxima o mínima de respuesta de cada factor de fertilizante aplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la aplicación de nitrógeno, el *Trypsacum laxum*, cosechado a 120 días de edad, mostró una producción máxima de materia verde en la planta entera de 26 869 kg/ha/corte cuando la dosis fue de 129,44 kg/ha/año; no obstante, la producción de hojas se vio favorecida con una cantidad menor de 115,78 kg/ha/año. Por encima de 130 kg N/ha/año los rendimientos de la planta entera decrecieron, pero se observó un aumento de la materia verde proveniente de los tallos que se mantuvo constante hasta llegar a su punto productivo más alto de 16 670 kg/corte con 337,16 kg N/ha/año (Cuadro 1).

A pesar de los valores de materia verde obtenidos, la producción de materia seca estuvo regida por niveles más bajos de nitrógeno. Las hojas aportaron la mayor cantidad de materia seca y los mejores resultados se

Cuadro 1. Descripción de tratamientos y valores de producción de materia verde y seca en las diferentes partes de la planta del *Trypsacum laxum*. Ochoмого, Cartago, Costa Rica. 2008.

| No. | Tratamientos | | | n | Hoja | | Tallo | | | Planta entera | | |
|-----|--------------|--------|--------|----|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|
| | N | P | K | | Materia verde/ha, kg | Materia seca/ha, kg | Materia verde/ha, kg | Materia seca/ha, kg | Materia verde/ha, kg | Materia seca/ha, kg | Cantidad de hojas por tallo | Relación Hoja: Tallo |
| 1 | 35,00 | 60,00 | 150,00 | 4 | 11 900,00 | 3495,25 | 13 942,75 | 1586,68 | 25 842,75 | 5081,93 | 5,45 | 1,88 |
| 2 | 112,50 | 30,00 | 75,00 | 4 | 11 914,25 | 2776,50 | 13 843,25 | 1698,75 | 25 757,50 | 4475,25 | 5,23 | 1,64 |
| 3 | 112,50 | 30,00 | 225,00 | 4 | 12 028,50 | 2909,00 | 12 632,00 | 1459,25 | 24 660,50 | 4368,25 | 5,28 | 2,04 |
| 4 | 112,50 | 90,00 | 75,00 | 4 | 12 600,25 | 3005,79 | 15 746,50 | 1566,50 | 28 346,75 | 4572,29 | 5,03 | 1,77 |
| 5 | 112,50 | 90,00 | 225,00 | 4 | 13 218,00 | 3053,25 | 19 667,75 | 2127,25 | 32 885,75 | 5180,50 | 4,85 | 1,43 |
| 6 | 225,00 | 9,55 | 150,00 | 4 | 13 896,50 | 2506,25 | 10 453,75 | 1234,25 | 24 350,25 | 3740,50 | 4,68 | 2,06 |
| 7 | 225,00 | 60,00 | 23,87 | 4 | 13 032,00 | 3022,50 | 14 600,00 | 1670,75 | 27 632,00 | 4693,25 | 5,10 | 1,82 |
| 8 | 225,00 | 60,00 | 150,00 | 20 | 11 993,50 | 2826,50 | 15 534,30 | 1771,90 | 27 527,80 | 4598,40 | 4,98 | 1,62 |
| 9 | 225,00 | 60,00 | 276,13 | 4 | 11 586,00 | 2721,25 | 15 696,50 | 1707,75 | 27 282,50 | 4429,00 | 5,30 | 1,60 |
| 10 | 225,00 | 110,45 | 150,00 | 4 | 15 025,25 | 3615,25 | 18 457,25 | 2150,50 | 33 482,50 | 5765,75 | 4,90 | 1,80 |
| 11 | 337,50 | 30,00 | 75,00 | 4 | 15 182,25 | 2404,50 | 16 485,75 | 1660,00 | 31 668,00 | 4064,50 | 5,23 | 1,51 |
| 12 | 337,50 | 30,00 | 225,00 | 4 | 14 107,25 | 3243,75 | 17 960,75 | 2052,00 | 32 068,00 | 5295,75 | 5,45 | 1,58 |
| 13 | 337,50 | 90,00 | 75,00 | 4 | 15 503,50 | 3535,60 | 18 607,25 | 2266,36 | 34 110,75 | 5801,96 | 5,28 | 2,26 |
| 14 | 337,50 | 90,00 | 225,00 | 4 | 13 907,00 | 3184,00 | 19 064,00 | 2474,51 | 32 971,00 | 5658,51 | 5,40 | 1,71 |
| 15 | 414,20 | 60,00 | 150,00 | 4 | 12 328,75 | 2991,25 | 15 885,50 | 1911,75 | 28 214,25 | 4903,00 | 4,78 | 1,62 |

obtuvieron cuando la dosis nitrogenada fue de 93,51 kg/ha/año (Cuadro 2), la cantidad producida en ese momento fue de 3020 kg materia seca ha/corte. Por su parte, los tallos alcanzaron un máximo de materia seca de 1671,93 kg/ha/corte que representó el 36% del total producido por la planta entera cuando fue dosificada con 142,30 kg N/ha/año.

El efecto del nitrógeno sobre la proporción de hojas y tallos se comporta muy similar a la producción de materia seca, la mayor cantidad de hojas producidas por un tallo fue de 5,09 y se alcanzó con apenas 85 kg N/ha/año, aunado a esto la relación hoja: tallo máxima fue 1,76 lograda también con una dosis baja de 77,79 kg N/ha/año.

Si se comparan los datos indicados en párrafos anteriores que bajo las condiciones en las cuales se desarrolló este experimento, cantidades mayores a los 100 kg N/ha/año no generaron mayores beneficios si el objetivo de un programa de fertilización es producir materia seca; exceder ese rango genera una depresión en la producción de la misma y disminuye la producción de las hojas; en su defecto, se favorece la parte más lignificada y menos digestibles del forraje:

los tallos. Acosta (1995) advierte que en Costa Rica, exceder más de 100 kg/ha/corte de nitrógeno podría desencadenar problemas en los animales por efecto de envenenamiento con nitratos.

Los resultados de este trabajo no coinciden con lo expresado por FAO (2009) ya que recomienda 400 kg N/ha/año para el *T. laxum* como cultivo forrajero. La recomendación de Singh (1999), quien realizó un estudio de fertilización en el Prodigioso, encontró una respuesta óptima con 200 kg N/ha/año.

El efecto de dosis altas de nitrógeno sobre la producción de hojas se puede atribuir a que un excedente de este elemento, si se conjuga con alta humedad y alta densidad de población, puede producir un efecto de competencia por sombra al reducirse la intensidad de la luz entre los surcos, lo que ocasiona una disminución de los productos fotosintéticos a causa de la reducción en el tamaño y grosor de las hojas (Cothren 1999).

Con la aplicación de fósforo (P), el pasto Prodigioso reaccionó de manera positiva, la producción de materia verde de la planta entera mantuvo un crecimiento lineal conforme la dosis de este elemento se incrementó. Similar patrón se observó en los tallos,

como se indica en las ecuaciones de predicción (Cuadro 3). No obstante, con la aplicación de fósforo, la planta tuvo una producción máxima de hojas de 12 488 kg/ha/corte, cuando la dosis fue de 53,19 kg/ha/corte. Niveles menores y mayores disminuyen la producción de hojas, por lo que el uso del fósforo en cantidades no precisas podría ser crítico.

Los rendimientos de materia seca en la planta entera siguieron el mismo patrón que la producción de materia verde, se mantuvo un comportamiento de crecimiento lineal conforme se agregó P, con un incremento de 18 kg por corte al agregar un kilogramo de P/ha/año, de acuerdo a la ecuación de predicción presentada (Cuadro 3). Sin embargo, al analizar los rendimientos de hojas y tallos por separado, la producción de materia seca de las hojas no tuvo un tope máximo (Cuadro 2) como se observó en los tallos, de 2181,76 kg/ha/corte con una cantidad máxima de 134,10 kg de P/ha/año.

El rendimiento de materia seca en la planta entera está regido por el efecto del P sobre la producción de materia seca de las hojas debido a que ese elemento favorece la expansión foliar (Quintero *et al.* 1997), y la producción de ésta acumulada en los tallos logró un tope de 2181,76 kg/ha/corte con 134,10 kg de P/ha/año.

Con la fertilización potásica, el Prodigioso obtuvo un rendimiento de planta entera de 28 783,78 kg/ha. corte con 88,60 kg de K/ha/año. Al comparar la respuesta obtenida en los rendimientos de biomasa, con los aportes de nitrógeno y potasio, se observó que la producción de materia verde obtenida con el potasio superó en un 7% la cantidad máxima lograda con el aporte de nitrógeno en una dosis de potasio equivalente al 68% de la dosis nitrogenada. La producción de materia seca máxima fue de 4588,73 kg/ha/corte con 68,35 kg K/ha/año.

Las mayores producciones de biomasa verde y seca provenientes de los tallos, fueron 16 350,49 y 1709,35 kg/ha/corte, empleando 203,79 y 78,89 kg K/ha/año respectivamente; mientras que la parte foliar produjo cantidades máximas de 13 413,24 kg/ha/corte de materia verde con 98,02 kg K/ha/año y 2901,14 kg/ha/corte de materia seca con 61,21 kg K/ha/año.

Con el objetivo de lograr los rendimientos más altos de materia seca en una pastura, con cantidades inferiores a 70 kg de K/ha/año se alcanza dicho propósito, de esta manera se reduce el aporte de materia seca proveniente de los tallos; no obstante,

Cuadro 2. Valores de NPK que produjeron los rendimientos máximos de materia verde y seca del *Trypsacum laxum*. Ochoмого, Cartago, Costa Rica. 2008.

| Ítem de producción | Dosis N, P, K, kg/ha | Rendi- miento máximo, kg/ha |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Nitrógeno | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja | 115,78 | 11 889,86 |
| Tallo | 337,16 | 16 670,35 |
| Planta entera | 129,44 | 26 869,25 |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja | 93,51 | 3020,45 |
| Tallo | 142,30 | 1671,93 |
| Planta entera | 105,68 | 4579,73 |
| Cantidad de hojas por tallo | 85,87 | 5,09 |
| Relación hoja:tallo | 77,79 | 1,76 |
| Fósforo | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja | 53,19 | 12 488,77 |
| Tallo | --- Lineal --- | |
| Planta entera | --- Lineal --- | |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja | --- Lineal --- | |
| Tallo | 134,10 | 2181,76 |
| Planta entera | --- Lineal --- | |
| Cantidad de hojas por tallo | 30,25 | 5,17 |
| Relación hoja:tallo | 26,55 | 1,74 |
| Potasio | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja | 98,02 | 13 413,24 |
| Tallo | 203,79 | 16 350,49 |
| Planta entera | 88,60 | 28 783,78 |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja | 61,21 | 2901,14 |
| Tallo | 78,89 | 1709,35 |
| Planta entera | 68,35 | 4588,73 |
| Cantidad de hojas por tallo | 116,23 | 5,06 |
| Relación hoja:tallo | --- Lineal --- | |

si la intención es lograr volumen de materia verde, ésta se estimula al adicionar potasio en una dosis de 90 kg/ha/año, aunque excede el nivel referido para la

Cuadro 3. Predicción de los rendimientos de materia verde y seca del *Trypsacum laxum*, dependiendo de los niveles de NPK aplicados. Ochomogo, Cartago, Costa Rica. 2008.

| Ítem de producción | Ecuaciones de regresión polinomial | |
|-----------------------------|--|--------------|
| Nitrógeno | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 12873,35457 - 29,53699N + 0,22574N^2 - 0,00038N^3$ | $R^2 = 0,73$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 13257,67897 + 20,24336N - 0,03002N^2$ | $R^2 = 0,61$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 27363,37075 - 41,72545N + 0,37571N^2 - 0,00064N^3$ | $R^2 = 0,69$ |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 3966,542835 - 15,735463N + 0,068118N^2 - 0,000086N^3$ | $R^2 = 0,99$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 1688,056794 - 2,83394N + 0,024669N^2 - 0,000039N^3$ | $R^2 = 0,82$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 5654,605945 - 18,569654N + 0,092787N^2 - 0,000126N^3$ | $R^2 = 0,88$ |
| Cantidad de hojas por tallo | $Y = 5,965133452 - 0,016559437N + 0,000084347N^2 - 0,000000123N^3$ | $R^2 = 0,87$ |
| Relación hoja:tallo | $Y = 2,046640549 - 0,00555196N + 0,000027063N^2 - 0,00000039N^3$ | $R^2 = 0,98$ |
| Fósforo | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 14805,5509 - 87,11662P + 0,81895P^2$ | $R^2 = 0,91$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 9759,050706 - 0,663961P$ | $R^2 = 0,90$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 24233,55893 + 82,277728P$ | $R^2 = 0,87$ |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 2434,204521 + 9,692558P$ | $R^2 = 0,94$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 1161,07098 + 15,222541P - 0,056757P^2$ | $R^2 = 0,92$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 3721,388067 + 18,104199P$ | $R^2 = 0,95$ |
| Cantidad de hojas por tallo | $Y = 4,362687504 + 0,044050666P - 0,000665296P^2 + 0,000002845P^3$ | $R^2 = 0,71$ |
| Relación hoja:tallo | $Y = 2,35599623 - 0,036622227P + 0,000570556P^2 - 0,000002579P^3$ | $R^2 = 0,99$ |
| Potasio | | |
| Producción de materia verde | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 12943,68962 + 9,58057K - 0,04887K^2$ | $R^2 = 0,56$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 14330,93474 + 19,82029K - 0,04863K^2$ | $R^2 = 0,38$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 28071,57092 - 1,68231K + 0,16021K^2 - 0,00057K^3$ | $R^2 = 0,23$ |
| Producción de materia seca | | |
| Hoja, kg/ha | $Y = 3230,234359 - 10,190258K + 0,092355K^2 - 0,000224K^3$ | $R^2 = 0,92$ |
| Tallo, kg/ha | $Y = 1772,585136 - 4,019353K + 0,051439K^2 - 0,000135K^3$ | $R^2 = 0,56$ |
| Planta entera, kg/ha | $Y = 5002,833521 - 14,209741K + 0,143794K^2 - 0,000359K^3$ | $R^2 = 0,72$ |
| Cantidad de hojas por tallo | $Y = 5,195428043 - 0,002316042K + 0,000009963K^2$ | $R^2 = 0,56$ |
| Relación hoja:tallo | $Y = 1,851379538 - 0,000835864K$ | $R^2 = 0,95$ |

planta entera, pero a su vez estimula la producción de materia verde proveniente de las hojas y mantiene la producción de tallos en un nivel moderado.

Debido a la escasa información de requerimientos de NPK en forrajes, no se encontró en la literatura información que permita una comparación apropiada.

Sin embargo en un estudio realizado para la producción de soya en Venezuela, la mayor concentración de potasio en la planta se alcanzó cuando se adicionó 90 kg K/ha (Casanova 2000), lo que favorece que la planta cuente con la cantidad necesaria para regular adecuadamente su presión osmótica, actividad enzimática y favorecer la síntesis de azúcares, almidones y proteínas (Rodríguez 1992).

La mayor cantidad de hojas por tallo obtenido en el presente estudio, fue de 5,17 cuando el nivel de fósforo suministrado fue 30,25 kg/ha/año. Con la aplicación de nitrógeno a razón de 85,87 kg/ha/año la cantidad de hojas por tallos fue de 5,09 y con 116,23 kg de K/ha/año se obtuvieron 5,06 hojas por tallo.

La relación hoja:tallo del forraje se incrementó de manera lineal conforme aumentó la dosis de potasio adicionada al suelo, mientras que con fósforo y nitrógeno la relación hoja:tallo máxima se alcanzó con dosis de 26,55 y 77,79 kg/ha, respectivamente.

Por otro lado, se pueden observar los promedios de producción de biomasa bajo el efecto de los tres factores estudiados (Cuadro 1). La superficie de respuesta de la producción de materia seca entre los diferentes niveles de fósforo y potasio en cada una de las cuatro dosis de nitrógeno aplicados (Figura 1) y por último, se observa la relación de hoja: tallo en que se desglosa la materia seca bajo esos tratamientos (Figura 2). En ambas figuras se expone la respuesta de los tres

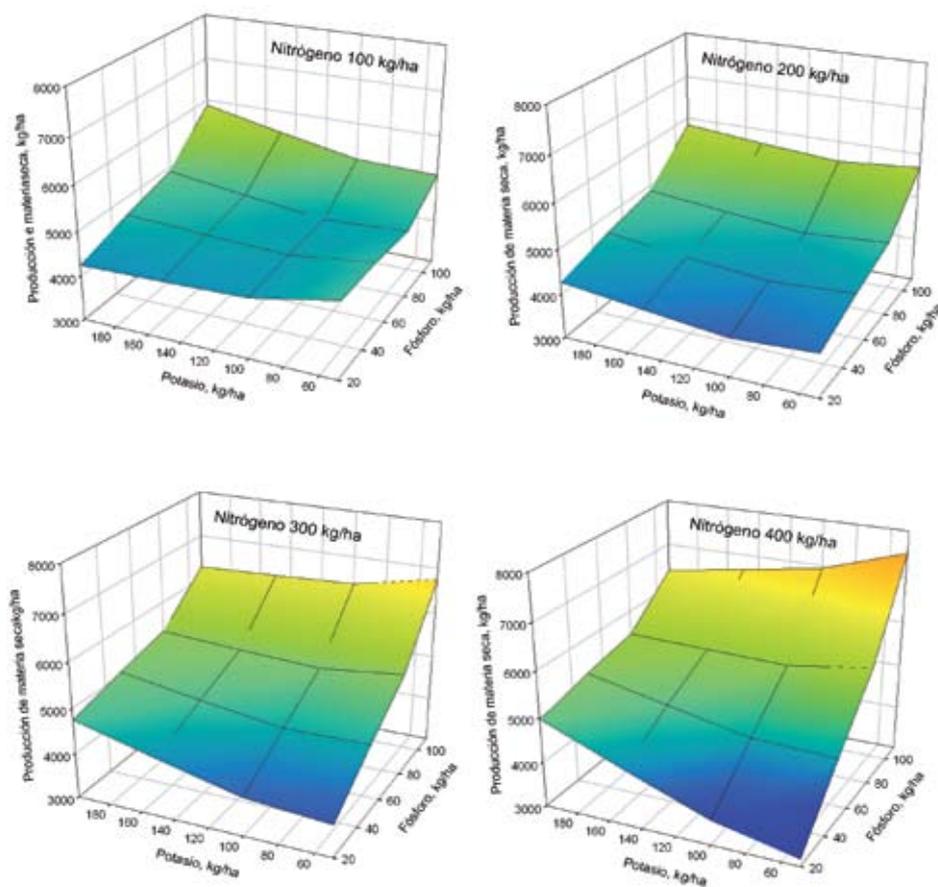


Figura 1. Respuesta de la producción de materia seca por hectárea del *Trypascum laxum* fertilizado bajo diferentes niveles de fósforo y potasio, en cuatro dosis de nitrógeno. Ochoмого, Cartago, Costa Rica. 2008.

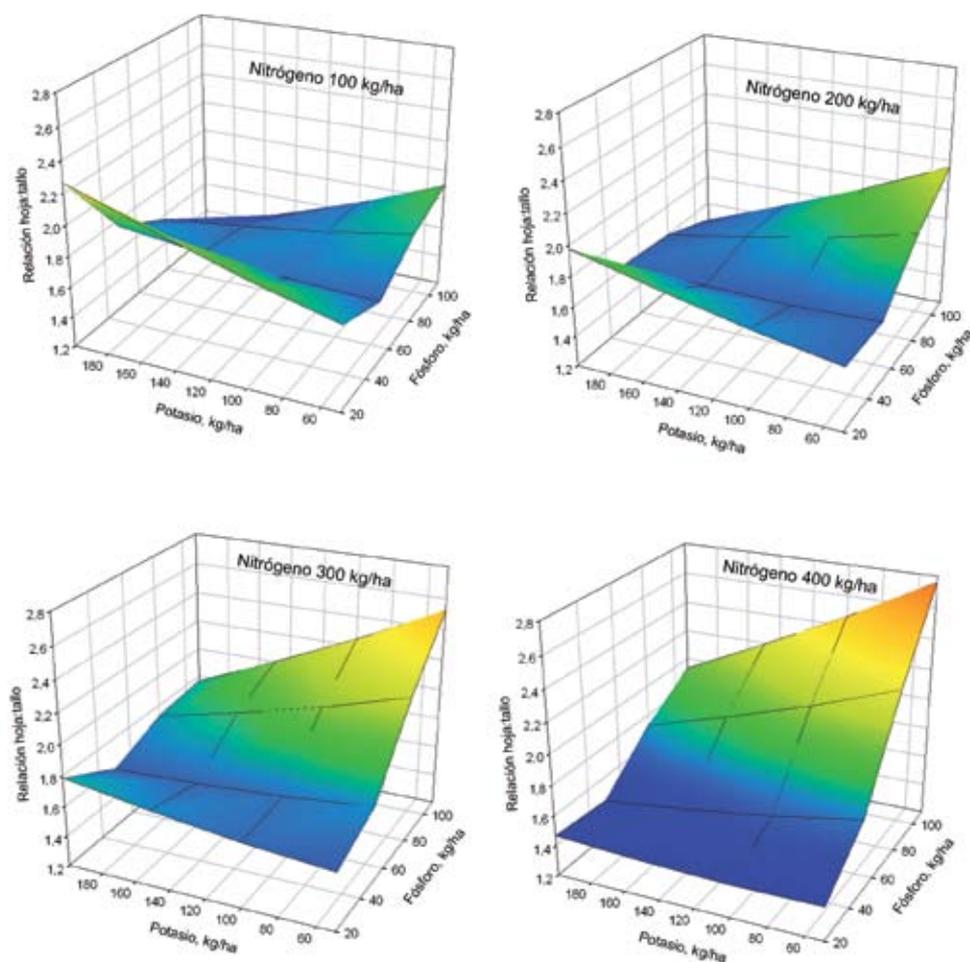


Figura 2. Respuesta de la relación hoja:tallo del *Trypsacum laxum* fertilizado con diferentes niveles de fósforo y potasio en cuatro dosis de nitrógeno. Ochomogo, Cartago, Costa Rica, 2008.

elementos y sus interacciones. Fageria (2001) recomienda que en los programas de fertilización siempre se debe tomar en cuenta tanto los efectos principales de las fuentes aplicadas como sus interacciones, con el propósito de mejorar la absorción de los elementos requeridos por las plantas.

Los mejores rendimientos de producción en la planta entera se dieron con la combinación de 337,50 kg de N/ha/año, 90 kg de P/ha/año y 75 kg de K/ha/año; con un valor de 34 110 kg/ha/corte y de 5801 kg/ha/corte de materia seca, rendimientos que se encuentran muy por debajo de lo reportado con materiales

usados en sistemas de corte y acarreo como el Taiwán (*Pennisetum purpureum cv Taiwán*) que rinde 80 548 kg/ha/corte y 13 866 kg/ha/corte de materia verde y seca respectivamente, y el king grass (*Pennisetum purpureum cv king grass*) que alcanza 86 938 kg de materia verde por ha/corte y 15 262 kg de materia seca por ha/corte pero emula al Camerún (*Pennisetum purpureum cv Camerún*) que puede producir en base fresca 35 457 kg/ha/corte y en base seca 6934 kg/ha/corte (Araya y Boschini 2005). Los resultados obtenidos se asemejan al rendimiento observado en el sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) que alcanza en promedio

33 005 kg/ha/corte y 4652 kg/ha/corte de materia verde y seca, respectivamente (Vargas 2005).

Al comparar los rendimientos obtenidos de *Tripsacum* contra el cultivo de maíz producido para forraje, se observan semejanzas con los resultados reportados por Boschini y Elizondo (2005), quienes en maíz híbrido cosechado a los 119 días obtuvieron valores de 25 714 y 4378 kg/ha de materia verde y seca, respectivamente; no obstante no concuerda con lo reportado por Elizondo y Boschini (2002), quienes obtuvieron rendimientos con maíz criollo de 62 630 kg de materia verde por ha y 8914 kg de materia seca por hectárea.

La ventaja del Prodigioso, de acuerdo con los resultados obtenidos, radicó en la mejor relación hoja: tallo observada (2,26), superando materiales como el king grass, el Taiwán y el Camerún, de los cuales se tienen reportes de relaciones hoja: tallo de 0,65 (Araya y Boschini 2005), incluso el maíz que es ligeramente superior a uno cuando se cosecha a setenta días de edad (Elizondo y Boschini 2001), y en algunos casos inferior a ese valor cuando es cosechado a más de 100 días (Elizondo y Boschini 2002).

La mezcla de 112,50, 110,45 y 150,00 kg/ha/año de N, P y K respectivamente, permitió que la forrajera estudiada produjera un máximo de 3615 kg/ha/corte de materia seca en las hojas, mientras que el rendimiento máximo de materia seca proveniente de los tallos fue de 2474 kg/ha/corte con la combinación de 337,50 kg de N, 90 kg de P y 225 kg de K/ha/año.

Los rendimientos alcanzados para planta entera con la mejor combinación no coinciden con los reportado por Tergas y Urrea (1985) quienes obtuvieron a 125 días de edad, rendimientos de *T. laxum* en el orden de 19,36 t de materia seca por ha/año cuando aplicaron 100 kg de N/ha, 50 kg de P/ha y 150 kg/ha de cal dolomítica, y 23,45 t de materia seca por ha/año con dosis de 200, 88 y 2000 kg/ha/año de N, P y cal dolomítica respectivamente.

Basados en los resultados obtenidos en el presente estudio y en las características del *T. laxum*, este material se muestra como una opción viable para implementarse en las explotaciones pecuarias donde las limitaciones de espacio hace indispensable el uso de materiales de altos rendimientos por unidad de área; sin embargo es indispensable incrementar la investigación sobre este material para conocer mas a fondo todo su potencial.

LITERATURA CITADA

- Acosta, R. 1995. Fertilizantes y pastoreo rotacional: dos técnicas para la alta producción de leche y carne CA-FESA. San José, Costa Rica. 75 p.
- AOAC (Association of Official Analysis Chemistry). 2002. Animal feeds, Chapter 4. 17 ed. Washington, D.C. USA. p. 1-6.
- Araya, M; Boschini, C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1):37-43.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José Costa Rica. 157 p.
- Boschini, C; Elizondo, J. 2005. Determinación de la calidad y la producción de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) en edades para ensilar. *Revista Agronomía Mesoamericana* 16(1):29-36.
- Boschini, C. 2008. Diseños experimentales especiales en la investigación con ganado lechero. Serie Agrotecnológica, Volumen 6. Editorial Universidad de Costa Rica. 116 p.
- Cassanova, E. 2000. Phosphorous and potassium fertilization and mineral nutrition of soybean. *Interciencia* 25(2):92-95.
- Chen, CP. 1992. *Tripsacum andersonii* J.R. Gray In 't Mannetje, L; Jones, RM. eds. Plant Resources of South-East Asia No. 4. Forages. p. 228-230.
- Clayton, WD; Harman, K.T; Williamateria Seacaon, H. 2006. GrassBase - the online world grass flora (en línea). Consultado 15 jun. 2009. Disponible en <http://www.kew.org/data/grasses-db/www/imp10551.htm>
- Cochran, WG; Cox, GM. 1957. Experimental designs. Second Edition. Wiley & Sons. New York. 611 p.
- Cothren, J. 1999. Cotton: Origin, history, technology and production: physiology of the cotton plant. Editorial Smith C. p. 207-268.
- Crowder, L; Venegas, J; Lotero, J; Michelin, A. 1959. The adaptation and production of species and selections of grasses and clover in Colombia. *Journal of range management* 12(5):225-230.
- Elizondo, J; Boschini, C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):181-187.
- Elizondo, J; Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana* 13(1):13-17.
- Fageria, V. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8):1269-1290.

- FAO (Food and Agricultural Organization) 2009. *Tripsacum laxum* Scrib and Merr. (en línea). Consultado 15 jun. 2009. Disponible en www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/DATA/PF000336.HTM
- Grunow, J; Rabie, J. 1985. Production and quality norms of certain grass species for fodder flow planning. Pretoria area. Journal Grassland Society South Africa 2 (2):23-28.
- Le Blanc, O; Grimanelli, D; González De León, D; Savidan, Y. 1995. Detection of the apomixis mode of reproduction in *maize-Tripsacum* hybrids using maize RFLP markers. Theor. Appl. Genet. 90:1198-1203.
- Marino, M; Agnusdei, M. 2004. Algunos conceptos básicos para el manejo del N en pasturas de la región pampeana. In Forrajes 2004. Seminario Técnico "Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro 2004". p. 85-89.
- Monteiro, A; Consolmagno, D. 2008. Sistema radicular do capim-tanzânia adubado com potássio e magnésio. Revista Brasileira de Zootecnia 37(5):810-818.
- Quintero, C; Boschetti, N; Benavides, R. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). Ciencia del suelo 15:1-5.
- Randolph, L. 1970. Variation among *Tripsacum* populations of Mexico and Guatemala. Brittonia 22:305-337.
- Rodríguez, SA. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 157 p.
- Tessema, Z; Baars, R. 2006. Chemical composition, dry matter production and yield dynamics of tropical grasses mixed with perennial forage legumes. Tropical Grasslands 40:150-156
- SAS (Statistical Analysis System). 1985. SAS User's Guide: Statistics (Version 5 Ed.) SAS Institute Inc. Cary, NC. 956 p.
- Sing, K. 1999. Response of promising forage grasses to nitrogen. Indian Journal of Agronomy 44(2):419-423.
- Tergas, L; Urrea, G. 1985. Effect of fertilization on the yield and nutritive value of tropical forages on an ultisol in Colombia. Tropical Animal Production 10:68-75.
- Vargas, C. 2005. Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp*) Agronomía Mesoamericana 16(2):217-225.
- USDA (United State Department of Agriculture). 2010. Key to soil taxonomy. Natural Resources Conservation Service. 11 ed. Estados Unidos. 331 p.