

## DETERMINACIÓN DE COCIENTES CRÍTICOS K/P EN PRADERAS A PARTIR DE UN ENSAYO MULTIFACTORIAL DE FERTILIZACIÓN

A.G. SINCLAIR<sup>1</sup>, M. RODRÍGUEZ<sup>2</sup>, G. BESGA<sup>2</sup> y M. OYANARTE<sup>2</sup>

(1) Ag Research, Invermay Agricultural Center, Private Bag, 50034 Mosgiel (Nueva Zelanda)

(2) Servicio de Investigación y Mejora Agraria, Gobierno Vasco, 48016 Derio, Vizcaya (España)

### RESUMEN

Se llevó a cabo una investigación para estimar la utilidad de los cocientes de nutrientes en el diagnóstico del estado nutricional de plantas pratenses. Un ensayo NPK con 6 dosis de P, 3 de K y 2 de N se estableció en una pradera de trébol blanco y raigrás inglés. En 1988 se determinó la producción de materia seca dando 4 cortes a la pradera. Para cada tratamiento se calcularon las respuestas potenciales al P y K ( $RP_P$  y  $RP_K$ ) como los máximos incrementos productivos que se habrían obtenido a dosis superiores de sólo P y sólo K, respectivamente. Los valores  $RP_P$ - $RP_K$  en la hierba se representaron frente a los cocientes K/P en trébol blanco y en hierba. Así, se determinó que los valores K/P en trébol blanco superiores a 5.4 estaban asociados con valores positivos de  $RP_P$ - $RP_K$  en la hierba (es decir, P más deficiente que K), y viceversa. Por tanto, se eligió el valor del cociente K/P de 5.4 (cociente crítico) en trébol blanco como indicador del equilibrio nutricional de estos elementos en la pradera. Se sugiere que este método podría usarse para derivar las normas de cocientes en el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación.

**Palabras clave:** Equilibrio nutricional, fertilización, fósforo, potasio, trébol blanco.

### INTRODUCCIÓN

El análisis foliar ha sido ampliamente usado para diagnosticar el estado nutritivo de los cultivos y dar recomendaciones de fertilización. El uso indiscriminado del análisis foliar sólo para conocer el nivel de nutrientes es una aproximación empírica a la nutrición de las plantas y de él se puede deducir muy poca información. Se han desarrollado diversas metodologías para dar valor diagnóstico a los valores de las concentraciones de nutrientes en planta. Entre estas metodologías está la concentración y rango crítico de nutrientes (Ulrich, 1951; Dow y Roberts, 1982). Sin embargo, la naturaleza dinámica de la composición mineral de la planta o la variación en las concentraciones de nutrientes dependiendo de la parte de la planta muestreada (Melsted *et al.*, 1969) son factores de gran

importancia en cuanto que atañen a la validez de los análisis foliares como herramienta de diagnóstico. Con objeto de disminuir estas variaciones se han utilizado expresiones en forma de cocientes de nutrientes (Black, 1993). Los cocientes de nutrientes llevan implícito el concepto de equilibrio nutricional y así se han desarrollado metodologías para dar valor diagnóstico a los cocientes de nutrientes. En particular, el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) fue desarrollado por Beaufils (1971, 1973) y comprende la utilización de factores ambientales, análisis de suelo, además de los índices de nutrientes que se derivan a partir de los cocientes de nutrientes y que ordenan los nutrientes en términos de suficiencia relativa. Para obtener los cocientes de nutrientes, Beaufils representaba la producción frente al cociente de dos nutrientes determinados, encontrando que las máximas producciones estaban asociadas con un cierto cociente, que es el cociente óptimo. Para obtener este cociente óptimo, Beaufils utilizaba datos procedentes de muchos ensayos o muestras obtenidas en los campos de cultivo de los agricultores.

Si se hace referencia a las plantas de las praderas, en particular los tréboles sufren a menudo deficiencias nutricionales, y es esencial identificar las deficiencias relativas de los distintos nutrientes para poder desarrollar normas de fertilización y controlar su efectividad. En el País Vasco puede haber deficiencias tanto de fósforo como de potasio en las praderas (Rodríguez y Domingo, 1987) y las normas de fertilización deben asegurar el equilibrio nutricional de las plantas de estas praderas. El método DRIS ha sido aplicado a praderas (Jones *et al.* 1986, 1990; Rodríguez, 1990) y los resultados indican que el DRIS puede ser un método eficaz para diagnosticar las deficiencias relativas de distintos nutrientes usando el análisis químico de la planta. En este trabajo se propone una metodología alternativa para obtener cocientes óptimos de nutrientes, utilizando un ensayo multifactorial de fertilización y evitando así la necesidad de disponer de numerosos datos para derivar los cocientes óptimos de nutrientes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ensayo

Se estableció un ensayo factorial de fertilización N $\times$ P $\times$ K en Bedia (Vizcaya) a 300 m de altitud y en una parcela de orientación oeste. El suelo se clasificó como Umbric Dystrachrept (SSS, 1992), formado a partir de areniscas y con una profundidad de 76 cm. El horizonte superficial era franco arcillo-limoso, pH 4.6, contenido de P muy bajo, 0.5 mg kg<sup>-1</sup>, y bajo en K, 79 mg kg<sup>-1</sup>. Anteriormente, el terreno estaba dedicado a una plantación forestal de *Pinus radiata* y la vegetación estaba formada por matas de tojo (*Ulex* spp.), zarzas (*Rubus fruticosus*) y helechos (*Pteridium aquilinum*). Para la implantación del en-

sayo, después de la corta, se destocoó con ganchos y se dieron repetidos pases de grada hasta dejar el suelo preparado.

En Septiembre de 1987 se sembró una mezcla de raigrás inglés (var. Verna y Reveille) y trébol blanco (var. Huia) con una dosis de 12.5, 12.5 y 5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, dándose un pase de rulo a continuación. Antes de realizar los tratamientos se encaló con 3000 kg ha<sup>-1</sup> de dolomita (46-48% CaO y 26-28% MgO).

El diseño experimental fue de parcela sub-subdividida, con cuatro repeticiones, aplicando el tratamiento de N (90 y 180 kg ha<sup>-1</sup>) a la parcela principal, el K (100, 200 y 300 kg ha<sup>-1</sup>) en la subparcela y el P (0, 20, 40, 60, 80, 120 y 160 kg ha<sup>-1</sup>) en la sub-subparcela. El N se aplicó en forma de urea, el P en forma de fosfato monocálcico y el K en forma de cloruro potásico. El P y K se aplicaron en el momento de la siembra. Para el N se aplicaron 30 kg N ha<sup>-1</sup> en el establecimiento, y el resto de las dosis en tres aportaciones, dos en primavera y una en otoño.

Las parcelas elementales (2x5 m<sup>2</sup>) se cortaron, con motosegadora en el sentido longitudinal de la parcela, el 14 de Abril, 30 de Junio, 10 de Agosto y 27 de Octubre de 1988. Se tomaban dos muestras por parcela, una para la determinación del porcentaje de Materia Seca (MS), y la otra para la separación de raigrás inglés y trébol blanco. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a 70 °C. En estas muestras (hierba, raigrás inglés y trébol blanco) se determinaba el N por el método Macro Kjeldahl (AOAC, 1980), y el P y K mediante oxidación por vía húmeda con nítrico y perclórico en bloque de digestión de aluminio (Zasoski y Burau, 1977), con las modificaciones en los tiempos de digestión propuestas por el MAFF (1981). El P se determinaba por colorimetría con el método del fosfo-molibdo-vanadato (MAFF, 1981) y el K por emisión de llama.

### **Cálculo de la “respuesta potencial”**

Para un tratamiento concreto se define la respuesta potencial,  $RP_P$  y  $RP_K$ , como el máximo incremento productivo que podría obtenerse a dosis superiores de sólo P o sólo K, respectivamente. De forma ideal, para calcular  $RP_P$  se deberían usar las curvas de respuesta con el mejor ajuste para las distintas dosis de P a una dosis dada de K, y de forma similar para  $RP_K$ . La respuesta productiva de la pradera estaba fuertemente relacionada con la concentración de P en trébol blanco y en raigrás inglés mediante ecuaciones exponenciales (Rodríguez *et al.*, 1993). Esto no ocurría tan claramente en el caso del K puesto que los niveles de K en el suelo eran más altos que los de P. Por esta razón, se hizo difícil la utilización y el ajuste de curvas de respuesta para el P y K, y se decidió utilizar como criterio las producciones máximas en vez de los máximos calculados a través de las

curvas de ajuste. Así, en este trabajo se utilizan los datos de producción (MS) para calcular la respuesta potencial de cada tratamiento al P ( $RP_P$ ) y al K ( $RP_K$ ). El concepto se puede ilustrar en la Tabla 1 que muestra las producciones totales anuales de MS en aquellos tratamientos que recibieron  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Supongamos, por ejemplo, el tratamiento P20.K100 que produjo  $5354 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . En este caso  $RP_P$  se calcula como la producción a la dosis más alta de P,  $9393 \text{ kg MS ha}^{-1}$  menos la producción en el tratamiento P20.K100, es decir, la respuesta potencial al P era  $4039 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . De la misma forma  $RP_K$  se calcula como la diferencia entre  $6067 - 5354 = 713 \text{ kg MS ha}^{-1}$ . Cuando la producción para un tratamiento dado era menor que la obtenida para una dosis más baja de P y la misma dosis de K (p.e., tratamiento P160. K300) entonces  $RP_P$  se tomaba como cero, y de forma similar para el K.

TABLA 1

**Producción total de materia seca de hierba (suma de 4 cortes) para  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$ .**

*Total herbage dry matter production (sum of 4 cuts) with  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  N fertilizer.*

Aplicación de K $\text{kg ha}^{-1}$	Aplicación de P $\text{kg ha}^{-1}$					
	0	20	40	80	120	160
	$\text{kg MS ha}^{-1}$					
100	243	5354	7771	9140	9266	9393
200	317	6067	8903	9372	10032	10460
300	297	5920	10527	11026	10026	10501

El siguiente paso consiste en representar gráficamente las diferencias en las respuestas potenciales al P y K ( $RP_P - RP_K$ ) y los cocientes de las concentraciones minerales, K/P. En estas gráficas cabría esperar una respuesta teórica de forma sinusoidal (Rodríguez *et al.*, 1993) en donde las diferencias de respuestas potenciales al P y K se distribuyen a ambos lados del punto de equilibrio nutricional para el P y K, punto que se define como cociente crítico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de los tratamientos sobre la producción y el equilibrio raigrás-trébol blanco ha sido publicado anteriormente (Rodríguez, 1990; Rodríguez *et al.*, 1991). La respuesta productiva potencial en kg MS ha<sup>-1</sup> cuantifica el grado de deficiencia nutricional y, por tanto, permite la comparación cuantitativa entre las deficiencias debidas a distintos nutrientes. Si  $RP_P$  es mayor que  $RP_K$ , entonces P es más deficiente que K, y viceversa. Cuando  $RP_P$  y  $RP_K$  son iguales, ambos elementos tienen el mismo grado de deficiencia y, por tanto, se puede considerar que están en equilibrio.

En la Figura 1 (a-d) se representa la diferencia  $RP_P - RP_K$  frente a los cocientes K/P en la hierba en todos los tratamientos individuales para los distintos cortes. Los cocientes K/P en la hierba se representan en una escala logarítmica porque así se comprimen los datos en el eje de las X y de esta manera la figura se asemeja más a la curva teórica que relaciona la respuesta con los cocientes de nutrientes (Rodríguez *et al.*, 1993). Valores positivos de  $RP_P - RP_K$  indican que el P es más deficiente que el K, y valores negativos indican que el K es más deficiente que el P. Se observa que los cocientes de nutrientes K/P son capaces de diferenciar las deficiencias relativas de P y K entre los distintos tratamientos. Se utiliza el término "cociente crítico K/P" para el cociente de las concentraciones K y P en la hierba o en el trébol blanco en el que estos elementos están en equilibrio nutricional. En las figuras el cociente crítico se determina como el cociente que mejor separa entre valores positivos y negativos de  $RP_P - RP_K$ . El cociente crítico K/P en el primer corte fue 7.6, en el segundo, 9.3, en el tercero, 10.2 y en el cuarto 8.4. Es decir, el cociente K/P varía entre los cortes. Esto puede ser debido a cambios en la composición florística de la pradera a lo largo de la estación, así como a cambios en la composición química de las especies que componen la pradera.

Para evitar la primera de las causas de variación se puede escoger una especie como indicadora del estado nutricional. Así, en estas praderas basadas en raigrás inglés-trébol blanco, el trébol blanco al ser una leguminosa es capaz de fijar N, si bien la fijación de N requiere un gasto de energía y, por tanto, nunca fija N por encima de sus necesidades. De esta forma, es probable que el trébol blanco tienda a tener un mayor equilibrio en sus concentraciones de nutrientes que otras especies pertenecientes a las gramíneas. Así, en la Figura 2 (a-d) se observa que el cociente K/P crítico para el trébol blanco en el primer corte es 5.8, en el segundo 5.3, en el tercero 5.3 y en el cuarto 5.9. Por tanto, los cocientes críticos del trébol blanco están menos afectados por el corte que los cocientes críticos del total de la pradera.

Asimismo, en la Figura 3 se muestra la relación entre la diferencia de respuestas productivas potenciales anuales de la pradera al P y K ( $RP_P - RP_K$ ) frente al cociente K/P

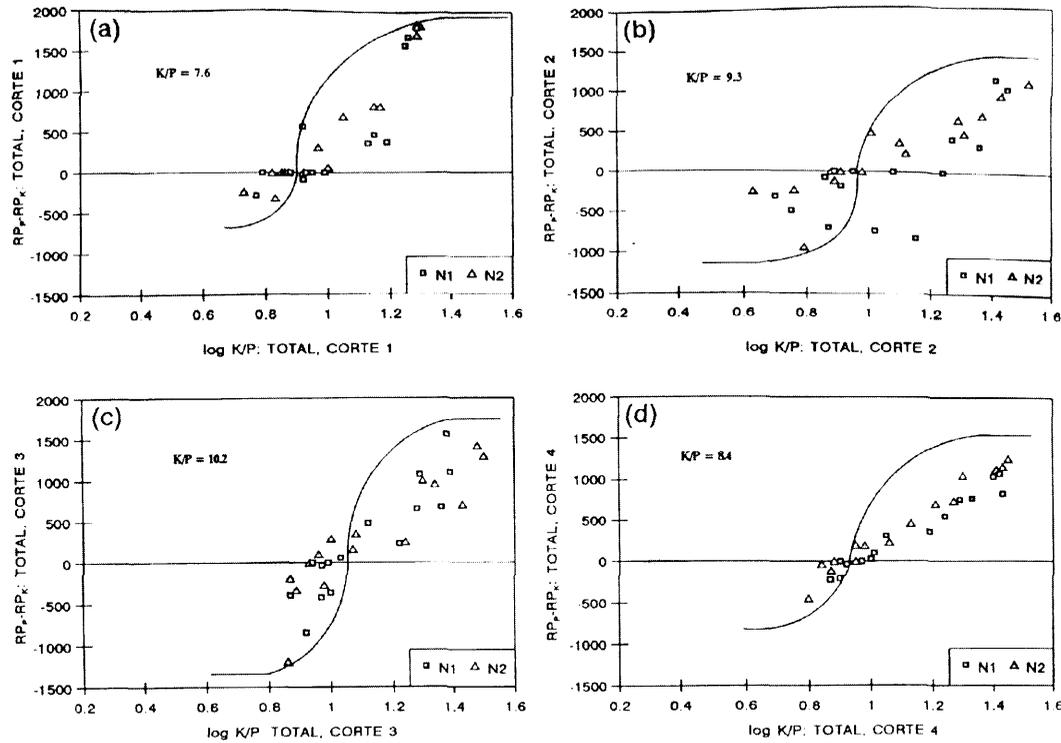


Figura 1.- Diferencia entre las respuestas productivas de la materia seca de la hierba al P y K en función de los cocientes K/P en el total de la hierba. a) corte 1, b) corte 2, c) corte 3, y d) corte 4.

Figure 1.- Difference of potential dry matter herbage yield responses to P and K as a function of the K/P ratios in total herbage. a) cut 1, b) cut 2, c) cut 3, and d) cut 4.

médico en trébol blanco. El cociente medio K/P es la media de los cocientes obtenidos en los cuatro cortes. El cociente crítico K/P resultante de la Figura 3 tiene un valor de 5.4. Finalmente, si se estudia la relación existente entre la diferencia de las respuestas potenciales anuales del trébol blanco al P y K, es decir, el aumento de producción de trébol blanco por efecto de la fertilización, y se sigue el mismo razonamiento, se obtiene un cociente crítico K/P de valor 5.5 (Figura 4). El cociente crítico K/P en trébol blanco obtenido es relativamente semejante, tanto cuando se consideran las respuestas potenciales para el trébol blanco, como para la MS total de la hierba. No obstante, si se considera que el objetivo de la fertilización es optimizar la producción de la pradera se escoge el cociente K/P de 5.4 en trébol blanco que puede ser considerado como indicador del equilibrio nutricional entre el K y el P (aunque, desde luego, ambos pueden estar a un nivel deficiente o excesivo, respecto a algún otro nutriente).

Otra característica importante referente al cociente crítico K/P es que las dosis de N no afectan a este cociente en trébol blanco cuando se obtiene con la producción total de hierba (Figura 3) o con la producción de trébol blanco (Figura 4).

Los cocientes críticos K/P eran mucho más altos en el total de la hierba (valor medio de los cuatro cortes 8.9) que en el trébol blanco (valor medio de los cuatro cortes 5.6). La causa de esta diferencia entre los cocientes críticos K/P en el trébol blanco y en el conjunto de la hierba era que el porcentaje de raigrás en la hierba era aproximadamente 70-80%, dependiendo del corte, y los contenidos medios de P y K en raigrás eran aproximadamente 2.70 y 25.6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, y en el trébol blanco, 3.33 y 20.7 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por tanto, los cocientes de nutrientes en el total de la hierba van a depender probablemente de la composición florística de la hierba que puede ser variable, tanto entre praderas como entre distintos momentos de la estación de crecimiento en la misma pradera. Casi toda la respuesta de la pradera al K se debió al componente trébol blanco de la pradera (Rodríguez *et al.*, 1991), y el alto cociente crítico K/P en la hierba total es probablemente el resultado del consumo de lujo del K por el raigrás, mientras que el trébol era todavía deficiente en K. Por tanto, es preferible analizar sólo una especie como, por ejemplo, el trébol blanco como indicadora del equilibrio nutricional de la pradera.

El método convencional DRIS, para derivar las normas, depende de la existencia de una base de datos muy grande de producciones de cultivos y los correspondientes análisis de las concentraciones minerales en planta, derivándose las normas DRIS como las medias de los cocientes de concentraciones de los cultivos con producción superior. A menudo, es difícil de encontrar una base de datos de esas características e incluso cuando existe pueden surgir problemas cuando las producciones están afectadas por otros factores distintos de la disponibilidad de nutrientes. También, el grupo de cultivos de producción alta utilizado, para obtener las normas DRIS, puede tener uno o más nutrientes

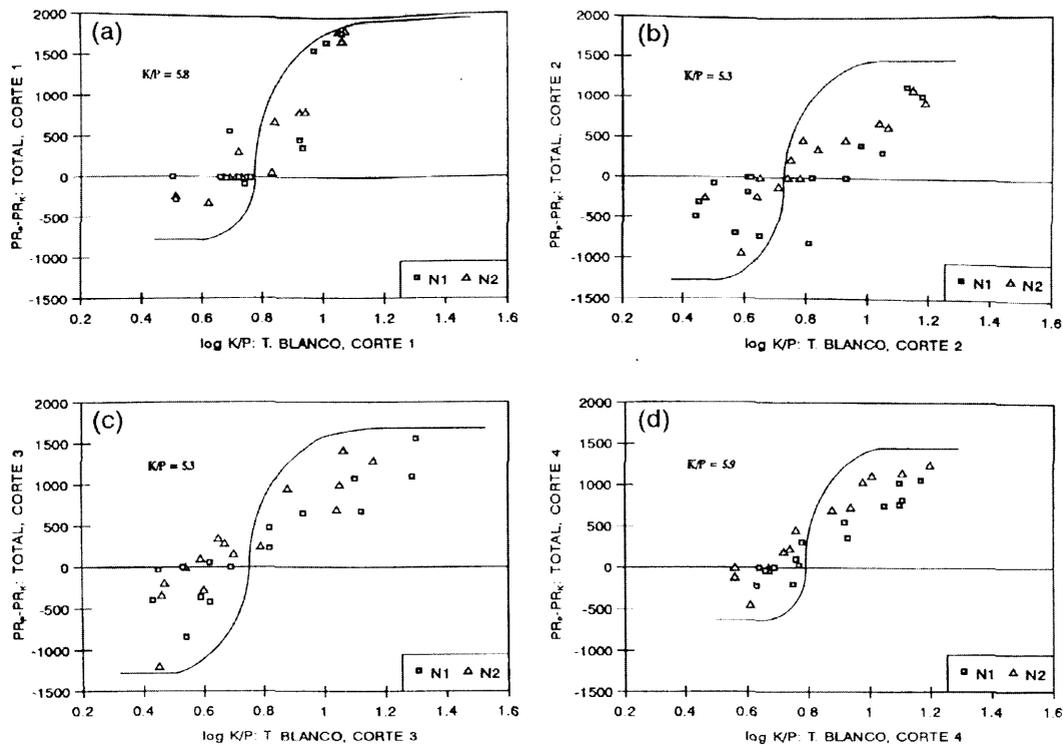


Figura 2.- Diferencia entre las respuestas productivas de la materia seca de la hierba al P y K en función de los cocientes K/P en el trébol blanco. a) corte 1, b) corte 2, c) corte 3, y d) corte 4.

Figure 2.- Difference of potential dry matter herbage yield responses to P and K as a function of the K/P ratios in white clover. a) cut 1, b) cut 2, c) cut 3, and d) cut 4.

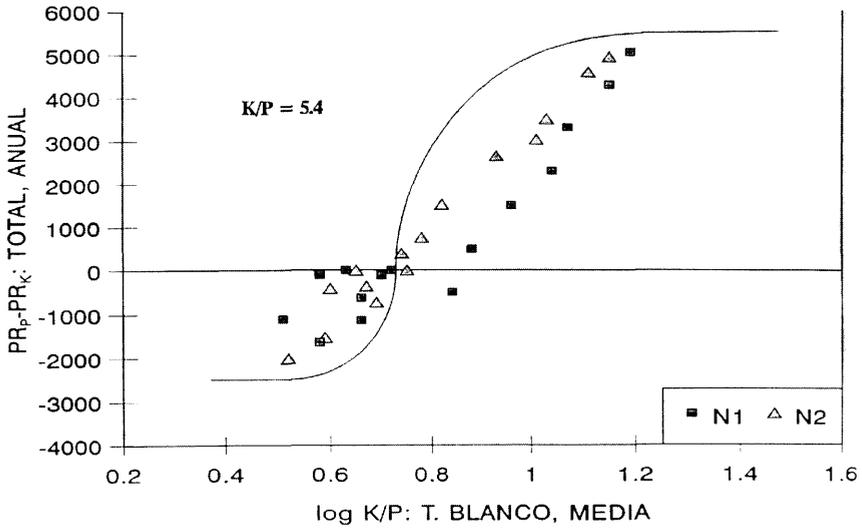


Figura 3.- Diferencia entre las respuestas productivas anuales de la materia seca de la hierba al P y K en función de los cocientes medios K/P en el trébol blanco.

Figure 3.- Difference of potential dry matter herbage yield responses to P and K as a function of the average K/P ratios in white clover.

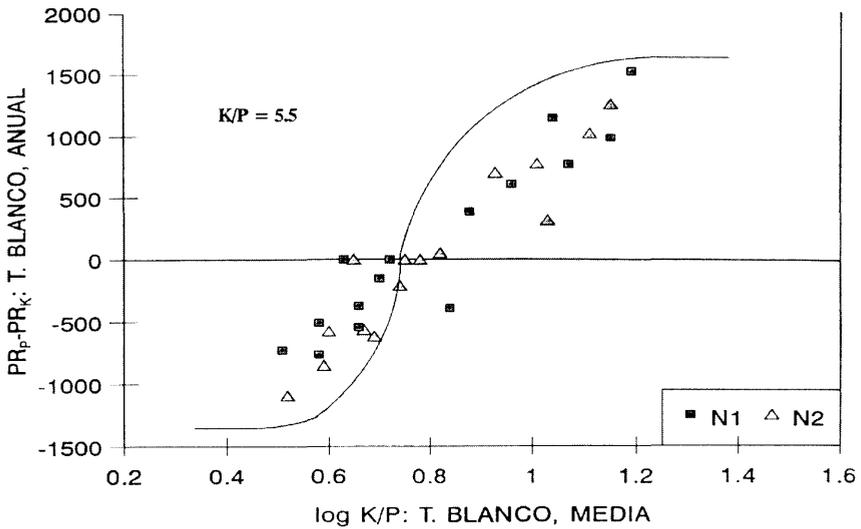


Figura 4.- Diferencia entre las respuestas productivas anuales del trébol blanco al P y K en función de los cocientes medios K/P en el trébol blanco.

Figure 4.- Difference of potential dry matter white clover yield responses to P and K as a function of the average K/P ratios in white clover

presente en concentraciones por encima de las necesarias para obtener máximas producciones, pero no tan altas que causen disminuciones de producción. En tales casos las normas para estos nutrientes serán innecesariamente altas o bajas, lo que llevaría a errores en el diagnóstico de deficiencias en muestras que contienen la cantidad adecuada de estos elementos. Cuando se encuentren tales dificultades en la obtención convencional de cocientes DRIS, ensayos multifactoriales, analizados tal como se describe en el presente trabajo, pueden proporcionar una solución.

## CONCLUSIONES

El cociente K/P en el trébol blanco de la hierba es un indicador útil de las deficiencias relativas de K y P en una pradera, correspondiendo el cociente K/P de 5.4 a una nutrición K-P equilibrada en la pradera. Cocientes más altos indican que el K es más adecuado que el P, y cocientes más bajos que el K es menos adecuado que el P.

La metodología desarrollada en este estudio para derivar cocientes críticos de nutrientes en praderas podría tener una aplicación muy amplia, y puede proporcionar un método alternativo para obtener las normas de cocientes de nutrientes en la metodología DRIS de la interpretación del análisis de planta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 1980. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 126-129. Association of Official Analytical Chemists, 13<sup>th</sup> ed. 1018 pp. Washington, DC. (EEUU).
- BEAUFILS, E.R., 1971. Physiological diagnosis - a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society of South Africa Journal*, **1**, 1-30.
- BEAUFILS, E.R., 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin*, **1**. University of Natal (Sudáfrica).
- BLACK, C.A., 1993. Plant testing and fertilizer requirement. En: *Soil fertility evaluation and control*, 155-270. Lewis Publishers, 746 pp. Boca Raton, Florida (EEUU).
- DOW, A.T.; ROBERTS, S., 1982. Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agron. J.*, **74**, 401-403.
- JONES, M.B.; CENTRE, D.M.; VAUGHN, C.E.; BELL, F.L., 1986. Using DRIS to assay nutrients in subclover. *Californian Agriculture*, **40** (9 y 10), 19-21
- JONES, M.B.; SINCLAIR, A.G.; FLOATE, M.J.S.; BOSWELL, C.C., 1990. Testing the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) on high country white clover-based pastures. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, **52**, 199-201.
- MAFF, 1981. *The analysis of agricultural materials (RB427)*, 156-157. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 221 pp. Londres (Reino Unido).

- MELSTED, S.W.; MOTTO, H.L.; PECK, T.R., 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.*, **61**, 17-20.
- RODRIGUEZ, M., 1990. *Desarrollo y evaluación del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para la fertilización de las praderas permanentes*. Universidad del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 255 pp. Vitoria (España).
- RODRIGUEZ, M.; BESGA, G.; OYANARTE, M., 1991. Efecto de la fertilización fosfórica y potásica en el equilibrio de una mezcla de raigrás inglés y trébol blanco. *Actas XXXI Reunión de la SEEP*, 269-273, 20-24 Mayo, Murcia (España).
- RODRIGUEZ, M.; BESGA, G.; SINCLAIR, A.G., 1993. Responses of yield and chemical concentration in perennial ryegrass-white clover to P and K fertiliser. *Proc. XVII Int. Grassland Cong.*, Sessi. 10, 8-12 February 1993, Palmerston North (Nueva Zelanda).
- RODRIGUEZ, M.; DOMINGO, M., 1987. Fertilization nitro-fosfo-potásica en praderas naturales del País Vasco. *Pastos*, **XVII** (1 y 2), 203-218.
- SOIL SURVEY STAFF, 1992. *Keys to Soil Taxonomy*, 5th edition. SMSS Technical Monograph No. 19. Pocahontas Press, Inc., 556 pp. Blacksburg, Virginia (EEUU).
- ULRICH, A.; RIRIE, D.; HILLS, F.J.; GEORGE, A.G.; MORSE, M.D., 1959. Plant analysis. A guide for sugarbeet fertilization. *California Agricultural Experiment Station, Bulletin 766*, Part I. Berkeley (EEUU).
- ZASOSKI, R.J.; BURAU, R.G., 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multielement tissue analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **8** (5), 425-436.

DETERMINATION OF IDEAL K/P RATIOS IN PASTURE PLANTS  
FROM A MULTI-RATE FACTORIAL FERTILISER TRIAL

SUMMARY

An investigation was conducted to assess the value of herbage nutrient ratios for diagnosing nutritional status of pasture plants, and to determine the K/P ratio which corresponded to good nutritional balance between these elements. A P x K x N factorial trial with 6 rates of P, 3 rates of K and 2 rates of N was established on a newly-sown pasture of white clover and ryegrass. Herbage was cut 4 times in the following year and measurements of DM production and chemical composition of white clover and total herbage were made. For each treatment, potential responses to P and K ( $PR_P$  and  $PR_K$ ) were calculated, these being the maximum additional yields which have been obtained with higher applications of P alone or K alone, respectively. Values for ( $PR_P - PR_K$ ) were plotted against K/P ratios in white clover and total herbage. White clover K/P ratios greater than 5.4 were nearly always associated with positive values of ( $PR_P - PR_K$ ) in total herbage (i.e. P more deficient than K), and *vice versa*. Thus a K/P ratio of 5.4 in white clover was taken to indicate ideal nutritional balance of K and P in the pasture and was described as the critical K/P ratio. K/P ratios in total herbage also differentiated well between treatments more deficient in P and those more deficient in K, but the critical level was much higher, due apparently to luxury uptake of K in ryegrass. It was concluded that the K/P ratio in the white clover component was a useful indicator of nutritional balance in a pasture; and it was suggested that the method developed for deriving the critical K/P ratio could be used to derive DRIS ratio norms when the conventional DRIS method was not applicable.

**Key words:** Nutrient balance, fertilization, phosphorous, potassium, white clover.