

# INVESTIGACIONES

## RECUPERACIÓN DE UNA PRADERA DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) MEDIANTE FERTILIZACIÓN EN DIFERENTES CONDICIONES DE NIVEL FREÁTICO EN EL SUELO<sup>1</sup>

### Alfalfa (*Medicago sativa* L.) pasture improvement with fertilization in different soil conditions

Patricio Soto O.<sup>2</sup>, Ernesto Jahn B.<sup>2</sup>, Isaac Maldonado I.<sup>2</sup> y Nicasio Rodríguez S.<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Alfalfa pasture productivity is affected by the water table depth (WTD) in which it is established. In an alfalfa field three sites were selected that represented different WTD conditions: deep (NFP), intermediate (NFI) and superficial (NFS). A complete randomized block design experiment was established to study the response to different fertilizer applications (N, P, K, S, Ca, Mg) during two seasons. The objective was to determine the effect of the different fertilization treatments on dry matter production under different WTD. Parameters evaluated were: variations in WTD, soil moisture, DM production, and soil contents of N, P and K. With deep (D) condition WTD was 30 and 40 cm deeper than for Intermediate (I) and Superficial (S), respectively, during the winter period. Dry matter production of alfalfa increased ( $P < 0.05$ ) with complete fertilization; the average effect for the two seasons was 31; 183 and 177% for D, I and S soil conditions, respectively. The addition of N to the complete fertilization had a significant ( $P < 0.05$ ) effect on dry matter production only on the first season. For D application of N with the complete fertilization had no effect on production. Application of P increased content of P. Content of K in the soil decreased only for the deep condition.

**Key words:** alfalfa yield, drainage, N, P, K.

#### INTRODUCCIÓN

En condiciones adecuadas de suelo, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la especie de mayor productividad en las praderas de la zona centro-sur de riego en Chile. En conjunto con el maíz para ensilaje constituyen la base de la alimentación de los sistemas de producción de leche (Jahn, 1996). Sin embargo, en los últimos años,

los suelos más aptos para esta especie han sido ocupados por los rubros frutícola y hortícola, siendo la alfalfa desplazada a otros sectores, con limitantes de profundidad de suelo, acidez y napa freática alta. En estas condiciones la productividad de la alfalfa disminuye fuertemente a partir de la segunda temporada.

La alfalfa es muy susceptible a excesos de humedad, siendo el efecto inicial atribuido a disminución de oxígeno en la zona radicular, resultando en la formación de sustancias tóxicas que producen necrosis del xilema radicular, amarillamiento y pérdida de hojas (Zook *et al.*,

<sup>1</sup>Recepción de originales: 07 de enero de 1999.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. E-mail: psoto@quilamapu.inia.cl

1986). Los síntomas aparecen con mayor severidad a medida que aumenta la temperatura en la zona de las raíces (Thompson y Fick, 1981; Townend y Dickinson, 1995). El exceso de humedad produce pérdida de población de la alfalfa, aumenta la presencia de gramíneas y malezas, con la consecuente disminución en la producción y calidad del forraje (Donovan y Meek, 1984).

Los problemas de drenaje ocurren, principalmente, por una precipitación excesiva que supera la capacidad de absorción de agua del suelo y la velocidad de infiltración del mismo. Los suelos son incapaces de retener a nivel de capacidad de campo, cifras mayores a 300 mm (Lattimore *et al.*, 1994). Por lo tanto en invierno, con precipitaciones que superan esta cifra, el suelo se mantendrá, una parte importante del tiempo, en condiciones de sobresaturación, con una napa a pocos centímetros de la superficie, en tanto que el oxígeno, presente en el suelo, es desplazado por el agua, dejando ausencia de oxígeno al nivel de las raíces (Jerez y Ortega, 1996).

La acidez del suelo, bajo un pH 5,6, es detrimental para la producción de la alfalfa por los efectos que ocurren sobre la nodulación, atribuida a la toxicidad por aluminio (Al) y manganeso (Mn), ya que la bacteria específica responsable (*Rhizobium meliloti*) es muy sensible a la acidez (Mahoney *et al.*, 1981).

En suelos con condiciones de alta acidez se produce además una restricción en la disponibilidad de fósforo (P), producto de la fijación de ácido fosfórico soluble con el ión Al (Yokota y Ojima, 1995). Los síntomas visibles de una toxicidad de Al en los brotes de alfalfa se asemejan a la deficiencia de P, mientras que en las raíces es similar a la deficiencia de calcio (Ca) (Oohara *et al.*, 1981; Mugwira y Hague, 1993). Por otro lado, la elongación radicular se ve restringida con pH menor a 5,0 y sobre éste, con concentraciones de Al mayores a 10 mmol m<sup>-3</sup> (Yokota y Ojima, 1995).

En suelos trumpos profundos y de arenales, de riego, se han realizado algunos estudios de fertilización de alfalfa, tendientes a medir su respuesta en producción de materia seca con la aplicación de nutrientes esenciales deficientes, como también su extracción anual (Acuña *et al.*, 1991; Soto y Ruz, 1993), pero no existe este tipo de información en suelos con drenaje deficiente.

El objetivo de este estudio fue determinar los principales factores nutricionales en diferentes niveles freáticos del suelo que afectan la producción de la alfalfa y su posibilidad de recuperación a través de la aplicación de fertilizantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Santa Rosa del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Quilamapu, ubicado en la provincia de Ñuble (36° 32' L. Sur; 71° 55' L.W.; 217 m.s.n.m.). Se utilizó una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en su tercera y cuarta temporada de producción, sembrada con 20 kg ha<sup>-1</sup> de semilla inoculada de la variedad WL-318, con 2.000 kg de carbonato de calcio incorporado al suelo de presiembra, y 240 kg de superfosfato triple en banda. En un suelo Serie Arrayán (Dystrandeps) (CIREN CORFO, 1994; Mella y Kühne, 1985) se eligieron tres sitios, representativos de tres condiciones de nivel freático: profundo (NFP), intermedio (NFI) y superficial (NFS). En cada uno de estos sitios se estableció un ensayo en bloques completos al azar con 4 repeticiones; las parcelas experimentales eran de 2 x 6 m, en los que se compararon los siguientes tratamientos de fertilización: 1.- Testigo, sin fertilización; 2.- N, P, K, S, Ca y Mg; 3.- P, K, S, Ca y Mg; 4.- P, K y S; 5.- P y S; y 6.- P.

Las dosis anuales de nutrientes expresados en kg ha<sup>-1</sup> del elemento aplicado, la fuente y la época de aplicación fueron las siguientes: N: 96 kg Salitre sódico parcializado en tres aplicaciones

(agosto-octubre-enero); CaO: 880 kg Carbonato de Calcio (agosto); MgO: 42 kg Sulfato heptahidratado (septiembre);  $P_2O_5$ : 200 kg Superfosfato triple (agosto); S: 40 kg Sulfato de sodio (septiembre); y  $K_2O$ : 200 kg Cloruro de potasio (septiembre). Los fertilizantes se aplicaron en cobertera.

El contenido de nutrientes en el suelo se midió previo a la aplicación de los fertilizantes, a las profundidades: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 y 20-50 cm. Estos análisis se repitieron al final de la primera temporada de evaluación.

Se tomaron muestras de suelo antes del ensayo y se determinó nitrógeno mediante el método de Bremner (Bremner, 1965), fósforo disponible inicial y final por el método de Olsen (Sadzawka, 1990) y potasio disponible inicial y final (Chapman y Pratt, 1973).

La profundidad del nivel freático se midió con sonda eléctrica, en un pozo de observación con tubo de PVC perforado de 2 m de largo y 2 pulgadas de diámetro. Estos fueron ubicados contiguo a cada sitio de ensayo. Las mediciones se hicieron los días lunes, miércoles y viernes en el período comprendido entre abril y junio, ambos inclusive.

Durante el período experimental se realizó un muestreo periódico del suelo, con el fin de monitorear las fluctuaciones en el contenido de humedad, para este efecto se dividió el perfil en 5 estratas: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm.

Al inicio del estudio se hizo un recuento de población de plantas de alfalfa en dos hileras de 0,5 m por parcela (8 por tratamiento) con un promedio de 84, 51 y 48 plantas  $m^{-2}$  para las condiciones NFP, NFI y NFS, respectivamente. Previo al inicio del estudio, para el control de malezas gramíneas, se aplicó Sethoxydim en dosis de 1,5 L con 1,5 L de Aceite Citroliv  $ha^{-1}$ . Posteriormente se aplicó 0,7 L de Bromoxinil con 0,6 L de MCPA para el control de malezas de hoja ancha.

El rendimiento de forraje se evaluó con máquina segadora a una altura de 5 cm, con alfalfa con un 10% de floración, salvo en el último corte de la temporada en el mes de abril en que el desarrollo fue de aproximadamente 20 cm de altura. Se determinó rendimiento en verde y una muestra se puso en horno de aire forzado por 48 h a 65 °C para determinar porcentaje de materia seca (MS) y su rendimiento por ha. Se evaluó el aporte de la especie pura en el rendimiento de forraje total. El ensayo se evaluó por dos temporadas con aplicaciones de los fertilizantes, durante dos años.

Los análisis estadísticos se realizaron independientemente para cada condición de nivel freático y en cada temporada, con un diseño en bloques al azar, usando un nivel de significancia de 5% y para diferenciar entre medias se usó el test de Duncan (SAS Institute, 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Profundidad de napa freática

En el Cuadro 1 se pueden observar las profundidades promedio anuales de la napa freática, para las tres condiciones de suelo evaluadas durante las dos temporadas. El nivel freático fluctúa a una profundidad entre 1,20 y 1,50 m como promedio de las tres condiciones freáticas durante el año, existiendo diferencia significa-

**Cuadro 1. Profundidad promedio anual de la napa freática durante dos temporadas para tres condiciones de suelo**

Nivel freático	Profundidad promedio (m)
Profundo	1,48 a <sup>1</sup>
Intermedio	1,30 b
Superficial	1,23 b

<sup>1</sup>Letras diferentes indican diferencia significativa entre sí. Duncan ( $P < 0,05$ ).

tiva ( $P < 0,05$ ) entre el nivel freático profundo, respecto de las condiciones intermedia y superficial.

La mayor diferencia (Figura 1) para las tres condiciones de profundidad de napa se presenta en los meses de invierno, donde el tratamiento con nivel freático más profundo se diferenció de los tratamientos con nivel intermedio y superficial; esta diferencia fluctuó entre 30 y 40 cm, respectivamente. Las diferencias no son tan evidentes, entre la condición NFI y la condición NFS, comparadas con la condición más favorable para el desarrollo de la alfalfa.

El drenaje subsuperficial se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de la napa freática fluctuante, por saturación del suelo. En condiciones de mal drenaje, se produce una deficiencia de  $O_2$  y una acumulación de  $CO_2$  que perjudica la respira-

ción, la absorción de agua y nutrientes por las raíces (Jerez y Ortega, 1996).

La mayor profundidad de la napa permite una mayor distribución espacial de las raíces. Los niveles de napa freática en invierno producen una restricción para el crecimiento de raíces finas, que se desarrollan principalmente en la zona desde 0 a 1,1 m de profundidad, sobre todo si la saturación del suelo se produce a este nivel, provocando un descenso en el crecimiento de nuevas raíces e incrementando la tasa de mortalidad radicular (Goins y Russelle, 1996).

En primavera y verano ocurren alzas del nivel freático debido a los riegos, sin embargo, a fines de enero, el nivel freático permanece sin mayores fluctuaciones hasta el inicio del invierno; lo anterior permite señalar que el efecto del nivel freático se hace más evidente durante el invierno; al compararlo con lo que ocurre duran-

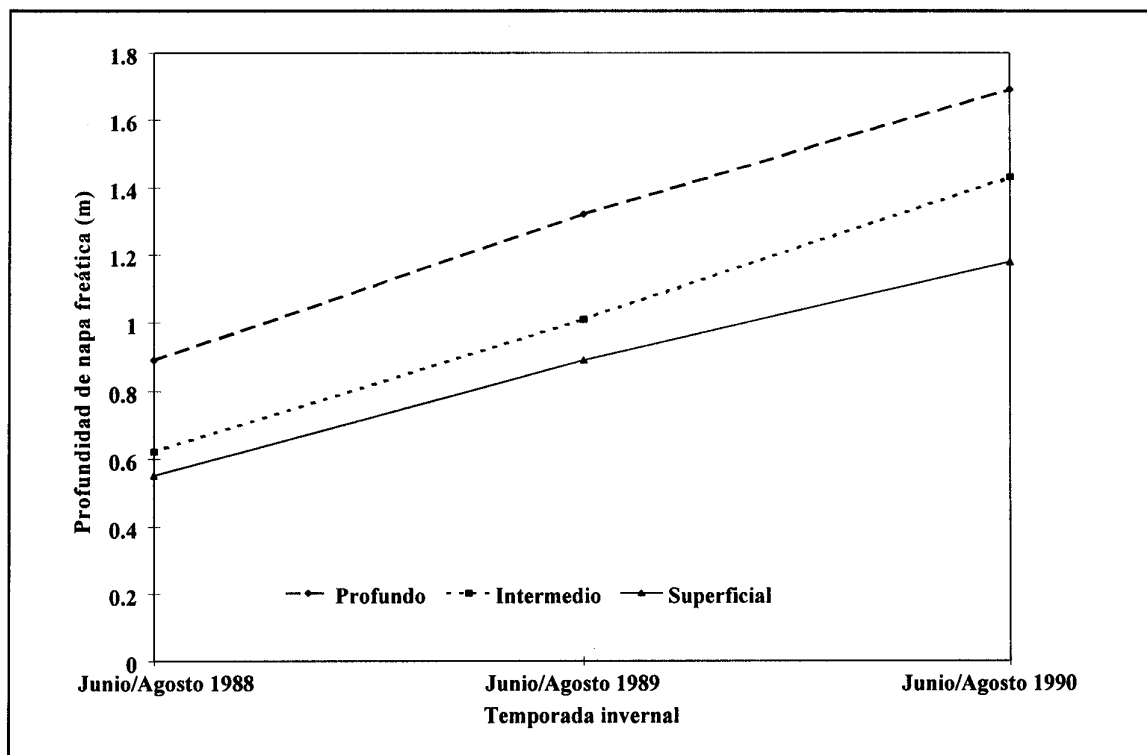


Figura 1. Profundidad promedio (m) de la napa freática durante el período invernal promedio de dos temporadas.  
Figure 1. Average water table depth (m) during the winter in two seasons.

te los meses de verano, cuya profundidad de napa es igual o superior a 1,65 m para los tres niveles freáticos evaluados.

Comúnmente los efectos de un exceso de agua en la alfalfa influyen en la reducción de la cantidad de raíces y rebrotes (Barta, 1988), con una reducción general del vigor de la planta y consecuente disminución de la densidad y persistencia de la pradera. La severidad del daño en la alfalfa, producto de una exposición de la planta a exceso de humedad, está influenciada por factores que incluyen temperatura, duración del exceso de agua, manejo de los cortes y enfermedades.

### Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo es mayor en la condición de NFS, NFI y NFP, respectivamente (Figuras 2 a y b). Es importante destacar que en esta última condición, el contenido de humedad del suelo fue siempre menor en cada una de las estratas evaluadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm). Para efectos de comparar las diferentes estratas (Figuras 2 a y b) se muestran las condiciones extremas (0-20 cm y 60-80 cm). Se puede destacar que en 0-20 cm son pocos los días con humedad mayor a 50% en la condición NFP, sin embargo, esto no ocurre en 60-80 cm. Estos resultados están directamente relaciona-

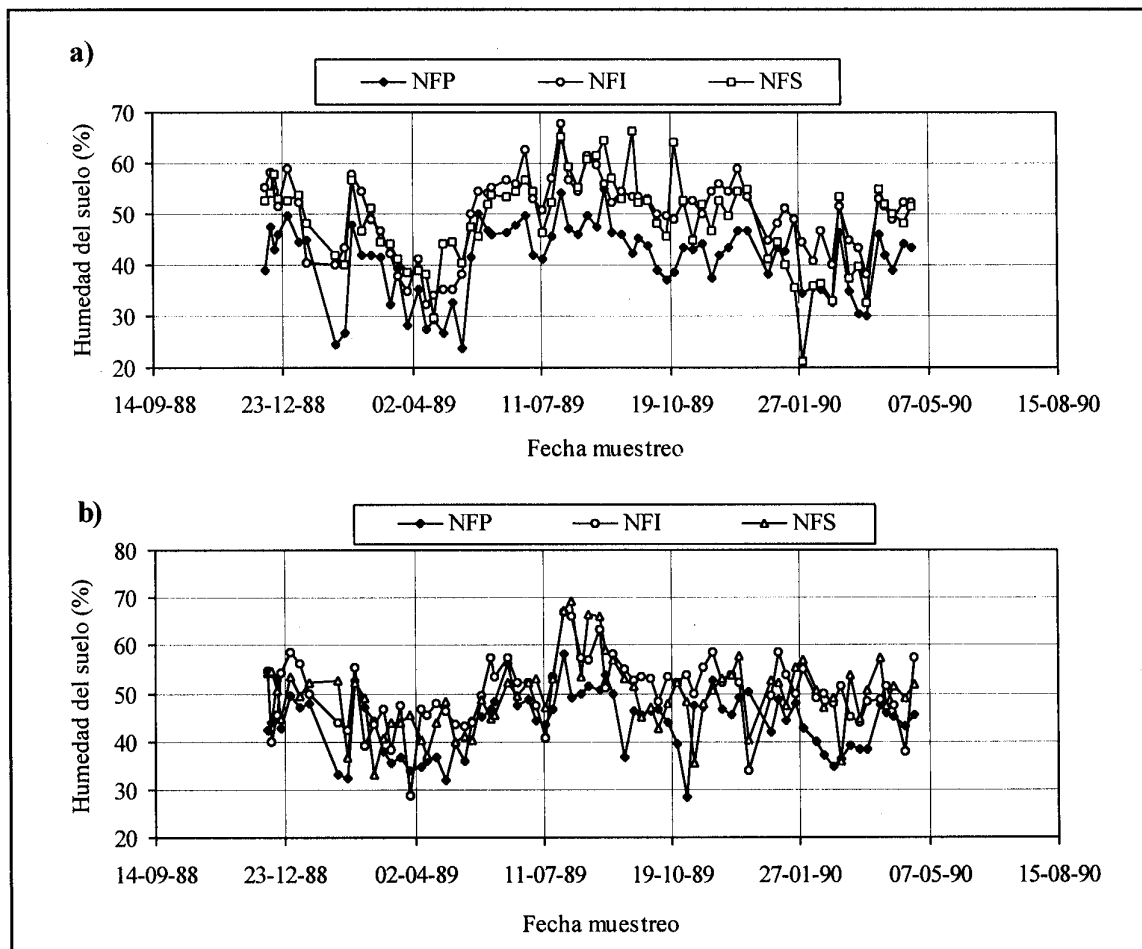


Figura 2. Humedad del suelo (%) en diferentes niveles de napa freática del suelo: a) 0-20 cm y b) 60-80 cm.  
Figure 2. Soil moisture (%) in different water table depths: a) 0-20 cm and b) 60-80 cm.

dos con la profundidad del nivel freático; es más, se puede apreciar que el contenido de humedad del suelo para la temporada invernal, en las condiciones de NFI y NFS, fue mayor a 50% incluida la estrata de 0-20 cm.

Una mayor mortalidad de raíces se ve favorecida en suelos húmedos. El exceso de agua en el suelo influye en los patógenos, microorganismos del suelo y/o plantas huéspedes. Además este exceso predispone a que las raíces de alfalfa sean atacadas por *Phytophthora*. Los microorganismos crean rápidamente un ambiente sin O<sub>2</sub>, al captar el O<sub>2</sub> presente en el suelo, causando la muerte de raíces y un deterioro o pudrición de la raíz principal (Teutsch y Sule, 1997).

Los resultados indican la necesidad de evaluar las alternativas que permitan mejorar el drenaje de los suelos con alfalfa evitando así niveles freáticos superficiales y subsuperficiales, especialmente en la temporada invernal. Los drenes subsuperficiales aceleran la remoción de los excesos de agua, proveyendo una adecuada aireación en la zona de las raíces de la alfalfa.

### Rendimiento de forraje

En cada temporada se evaluó la producción de forraje en 4 cortes, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 2. En la primera temporada de evaluación, la aplicación de N (tratamiento 2 vs 3) no tuvo efecto ( $P \leq 0,05$ ) sobre la producción de MS en la condición de NFP. En cambio en las condiciones de NFI y NFS, hubo un efecto significativo sobre el rendimiento de forraje del tratamiento de fertilización completa con N sobre el que excluye solamente este elemento. Debido a que los nutrientes solubles especialmente el nitrógeno (Helalia *et al.*, 1996) son removidos con el agua de drenaje, por tanto un aporte extra ayuda a reponer la cantidad de N perdida. En el caso del NFP, se reduce esta pérdida de nitrógeno junto con el agua de drenaje, por lo tanto la adición de este elemento no sería necesaria. En la segunda temporada no se encontraron diferencias de producción en ningun-

na de las 3 condiciones de nivel freático, debido a que en esta temporada el menor aporte de precipitaciones permitió mantener una altura de napa adecuada (Figura 1), que evitó la pérdida de N en el agua de drenaje (Helalia *et al.*, 1996). El efecto de la fertilización recibida por 2 temporadas, junto con una napa más profunda de la segunda temporada, permitió una fijación simbiótica adecuada para los requerimientos de N de la alfalfa en los 3 niveles freáticos, de acuerdo con la información obtenida por Correa *et al.* (1981).

En la primera temporada no hay respuesta clara a la aplicación de los nutrientes en la condición de NFP (Cuadro 2), pero sí entre la fertilización completa y el testigo sin fertilizar (tratamiento 1 y 2). Es probable que la mayor profundidad radicular alcanzada por la alfalfa en esta condición, le permita explorar un volumen de suelo suficiente para la obtención de los nutrientes necesarios para sustentar su producción, sin embargo, esta condición no se alcanza cuando a la alfalfa no se le adiciona ningún tipo de fertilización.

Sin embargo, en la segunda temporada de evaluación, la extracción ejercida por la alfalfa en las tres temporadas anteriores, limitó la disponibilidad de algunos nutrientes en el suelo. Se manifestó además un efecto significativo de la aplicación de P y P-S sobre el testigo, como también del Ca y Mg sobre los anteriores. Esta respuesta probablemente se debe a que en la segunda temporada el aporte del suelo no fue suficiente, siendo necesaria la aplicación de fertilización con P, S, Ca y Mg. El K no mostró respuesta significativa dado el alto tenor de este elemento en esa condición (Figura 6b).

En la condición de NFI (Cuadro 2), en ambas temporadas, además del N, hay una respuesta significativa a la inclusión de K (tratamiento 4 vs 5). La aplicación de P como único nutriente no mostró incrementos de producción con respecto al testigo en ambas temporadas. La fertilización completa, sin N, en la segunda tempora-

**Cuadro 2. Producción de materia seca en alfalfa ( $t\ ha^{-1}$ ) durante dos temporadas en diferentes condiciones de nivel freático del suelo y de fertilización**

**Table 2. Dry matter production ( $t\ ha^{-1}$ ) of alfalfa during two seasons for different water table depths and fertilization treatments**

Tratamiento	Nivel freático		
	Profundo	Intermedio	Superficial
<b>Primera temporada</b>			
1. Testigo	13,0 c <sup>1</sup>	4,8 d	8,0 d
2. N, P, K, S, Ca, Mg	15,0 a	11,6 a	15,0 a
3. P, K, S, Ca, Mg	14,1 abc	7,7 bc	12,1 b
4. P, K, S	14,6 a	8,4 b	9,8 c
5. P, S	13,8 bc	6,2 cd	7,7 d
6. P	14,3 ab	5,5 d	8,1 d
CV (%)	4,9	14,4	8,6
<b>Segunda temporada</b>			
1. Testigo	12,4 d	5,3 c	4,3 d
2. N, P, K, S, Ca, Mg	18,2 a	11,9 a	11,0 a
3. P, K, S, Ca, Mg	17,1 a	12,4 a	11,0 a
4. P, K, S	12,8 cd	7,5 b	5,6 c
5. P, S	14,4 b	6,1 bc	4,7 cd
6. P	13,9 bc	3,0 d	4,2 d
CV (%)	6,3	13,3	12,0

<sup>1</sup>En una misma columna para cada temporada, valores seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales entre sí ( $P > 0,05$  Duncan).

CV: coeficiente de variación.

da mostró un rendimiento significativamente superior al resto de los tratamientos, lo cual es atribuible a la inclusión de Ca y Mg como nutrientes. La adición de N (tratamiento 2 vs 3) no tuvo efecto sobre el rendimiento de MS.

En la condición de NFS (Cuadro 2) se manifiesta una tendencia similar a la anterior, pero con la diferencia que, también la inclusión de N en la primera temporada continuó manifestando una respuesta positiva frente al resto de los tratamientos que no incluyen este nutriente. La presencia de Ca y Mg en la fertilización produce rendimientos estadísticamente superiores al resto de los tratamientos, en ambas temporadas. El K (tratamiento 4 vs 5) produjo un aumento de rendimiento ( $P \leq 0,05$ ) en la primera temporada,

sin embargo, no tuvo efecto en la segunda temporada.

La producción promedio de las dos temporadas de evaluación y de cada tratamiento para las tres condiciones de suelo se presenta gráficamente en la Figura 3, donde se observan claramente las diferencias entre el suelo con buen drenaje, respecto de las otras dos condiciones. La producción de MS se incrementó ( $P \leq 0,05$ ) con la fertilización completa, siendo el efecto promedio de ambas temporadas de 31,183 y 177% para el NFP, NFI y NFS respectivamente. Existe una disminución en los rendimientos en la medida que la napa freática es más superficial y la fertilización con los diferentes elementos se restringe.

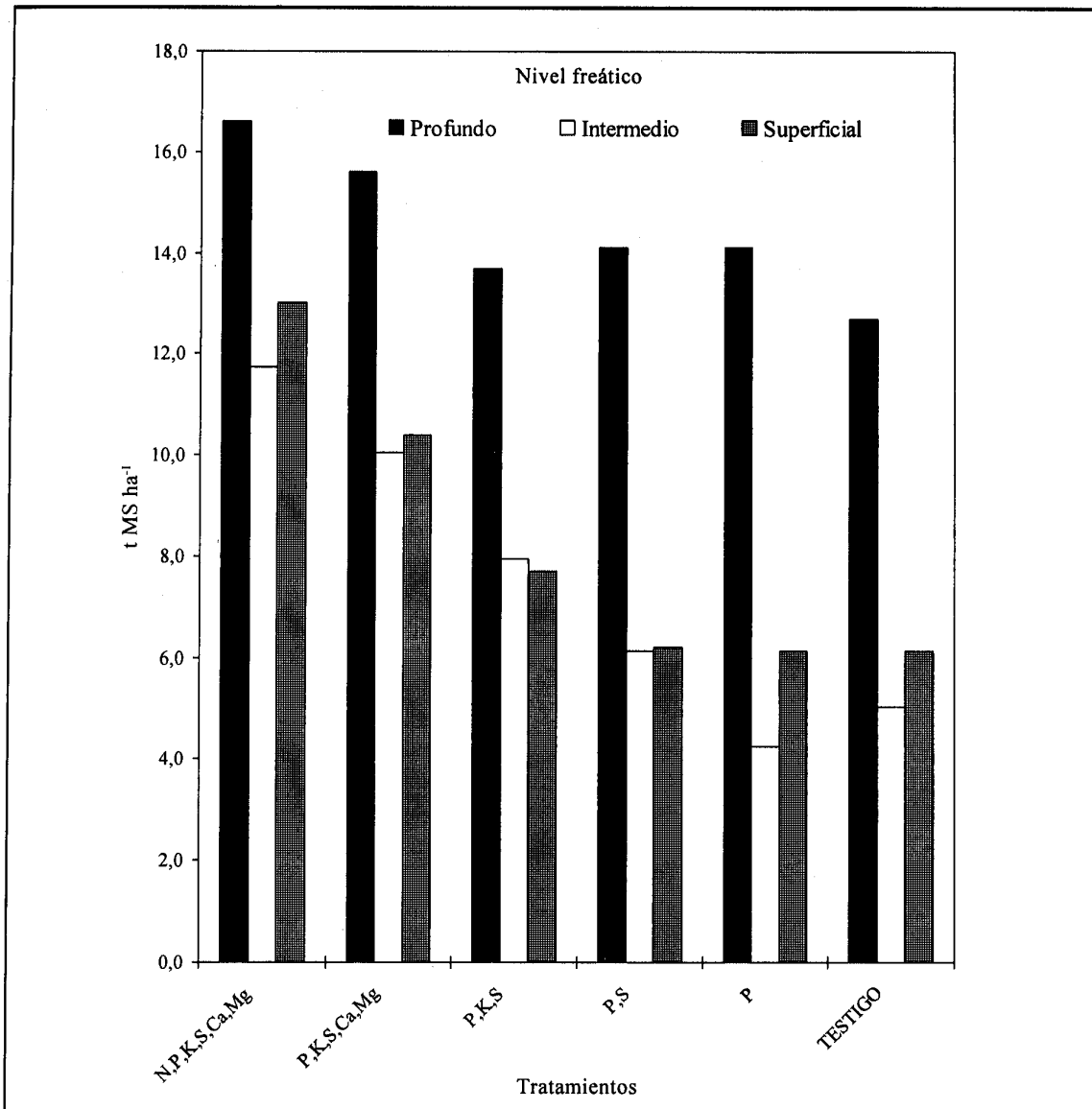


Figura 3. Producción de alfalfa (t MS ha<sup>-1</sup>) en diferentes niveles de napa freática del suelo y de fertilización (promedio de dos temporadas).

Figure 3. Dry matter production (t DM ha<sup>-1</sup>), for soils of different water table depth and fertilization treatments (average for two seasons).

En promedio, la respuesta de la aplicación de P, en comparación al testigo, solamente fue positiva en un 11% para la condición de NFP, obteniéndose una respuesta similar para la aplicación de P-S (Figura 3). La adición de K, sobre P-S, incrementó la producción en todas las condiciones con valores de 8; 56 y 15%, para el NFP,

NFI y NFS, respectivamente. El tratamiento de fertilización completa, que incluye P, K, S, Mg y Ca, presentó respuestas mayores puesto que los incrementos, respecto al testigo, fueron 23; 98 y 69% para las respectivas condiciones. La adición de N a este último tratamiento aumentó la respuesta a 31; 132 y 111%.



Las respuestas porcentualmente menores ocurrieron en la condición de NFP, pudiendo deberse al mayor volumen de suelo explorado por un mayor arraigamiento de la alfalfa, el cual medido a través de una calicata al final de las dos temporadas, demostró que alcanzó una profundidad radicular de 1,5 m, con abundante desarrollo de raíces secundarias en los primeros 75 cm del suelo. Sin embargo, la aplicación de P como único nutriente no tiene efecto cuando las condiciones de suelo son limitantes para la alfalfa (Mugwira y Hague, 1993), en estos casos la alfalfa alcanzó una profundidad radicular de 1,2 m y 1,0 m para las condiciones de drenaje intermedio y superficial respectivamente.

#### **Variación del contenido de nutrientes en el suelo**

El contenido inicial de N en el suelo, se midió previo a la aplicación de los tratamientos en las 3 condiciones de nivel freático y en todas las profundidades consideradas, siendo los valores promedio de 12, 11 y 15 ppm en los primeros 50 cm de profundidad para NFP, NFI y NFS, respectivamente. Los valores obtenidos están influenciados por las condiciones climáticas asociadas con alta lixiviación hasta el mes de julio, resultando en valores de baja disponibilidad. Posterior al muestreo se aplicó el N quedando expuesto a lixiviación por el exceso de agua en el suelo producto de las lluvias en los meses invernales (Jerez y Ortega, 1996).

El P disponible inicial en el suelo fue bajo para todas las condiciones de drenaje analizadas, con una disminución en concentración progresiva en profundidad hasta 30 cm (Figura 4 a). Se midió el contenido de P inicial y final del suelo para los 3 niveles freáticos (Figura 5 a, b y c). El P final se calculó de un promedio de todos los tratamientos a los cuales se les adicionó P (tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6).

Al comparar el contenido de P en el suelo entre los tratamientos sin fertilizar (inicial) y fertilizado (final) con este elemento, se observó un

incremento importante en los primeros 5 cm de profundidad, sin embargo, también se manifestó esta tendencia hacia mayores profundidades (Figura 5 a, b y c). Se observaron desviaciones en la disponibilidad del P cuando se comparó entre años, en todas las profundidades de muestreo, posibles de interpretar relacionándolas con las épocas diferentes de toma de las muestras, en que puede variar el equilibrio de formas de disponibilidad de P en el suelo de acuerdo a humedad y temperatura (Mckell *et al.*, 1982). Comparando las diferencias de concentración de P de 0 a 10 cm de profundidad dentro de ambas épocas de muestreo (años) se concluyó que las diferencias de incremento de la disponibilidad de P fue mayor en el año 2 con la aplicación del P fertilizante en todas las condiciones de drenaje. El aumento de la disponibilidad de P es deseable en los primeros 15-20 cm de profundidad del suelo, pues es allí donde ocurre la mayor actividad radicular y zona de mayor extracción de P (Acuña, 1992).

Los contenidos de K inicial y final del suelo se presentan en forma similar al P (Figura 6 a, b y c). El nivel inicial de K es alto en los primeros 10 cm de suelo para la condición de NFP, disminuyendo con la profundidad debido a cambios en el equilibrio de las formas de potasio a productos de menor solubilidad. En cambio en las condiciones NFI y NFS el contenido de K es bajo en todas las profundidades, asociado al alto contenido de humedad y condiciones de reducción en el perfil que desplaza el equilibrio del K en el suelo a formas menos disponibles (Figura 6 b).

En el caso del K, inicial y final (Figura 6 a, b y c), se observó una disminución de este elemento tanto en los primeros centímetros como en mayor profundidad. Los tenores iniciales de K fueron mayores al compararlos con aquellos que recibieron este elemento como fertilizante, lo cual estaría indicando que la extracción es superior a lo aplicado, o hay una alta lixiviación de este elemento a capas muy profundas, o pueden ocurrir y potenciarse ambos mecanismos (Oohara

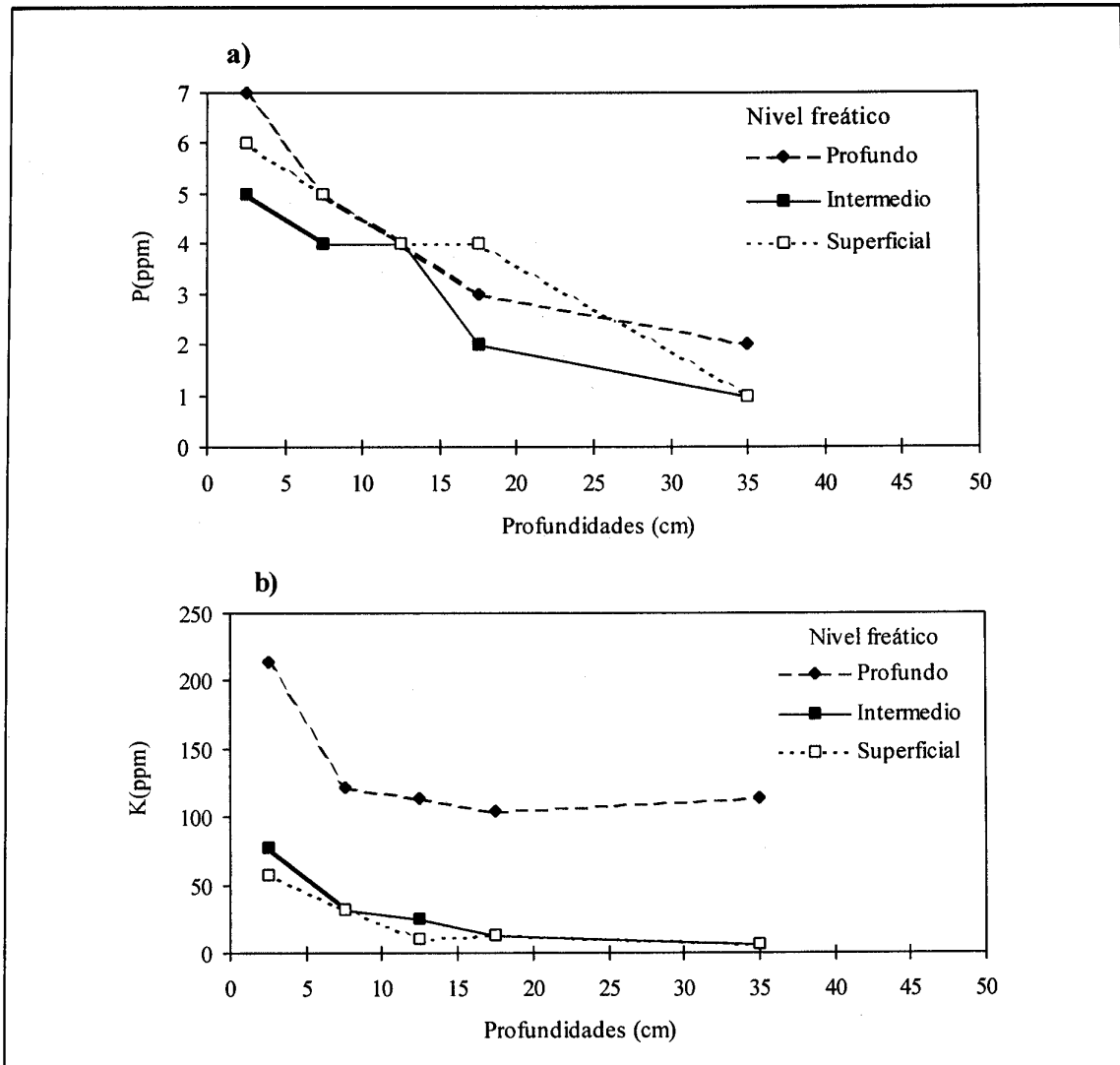


Figura 4. Contenido inicial de fósforo (a) y potasio (b) en suelos con alfalfa en diferentes niveles de napa freática.  
Figure 4. Initial content of phosphorus (a) and potassium (b) in alfalfa soils with different water table depth.

*et al.*, 1981). Esto se explica por el alto requerimiento de K por la alfalfa, en condiciones de corte sin devolución al suelo (Ruz y Campillo, 1996). Además la disminución de K de intercambio en suelos trumaos es excesivamente rápida, como ha quedado demostrado en otros experimentos con alfalfa (Acuña *et al.*, 1991). Por tanto, la aplicación de este elemento se hace insuficiente y el nivel de K disponible en el suelo disminuye significativamente en pocos

años, por lo que deberían aplicarse mayores cantidades.

## CONCLUSIONES

1. La productividad de la alfalfa depende de la profundidad de la napa freática; cuando ésta es profunda la respuesta de la alfalfa a la aplicación de nutrientes es menor, en comparación a condiciones de suelo con napa superficial.

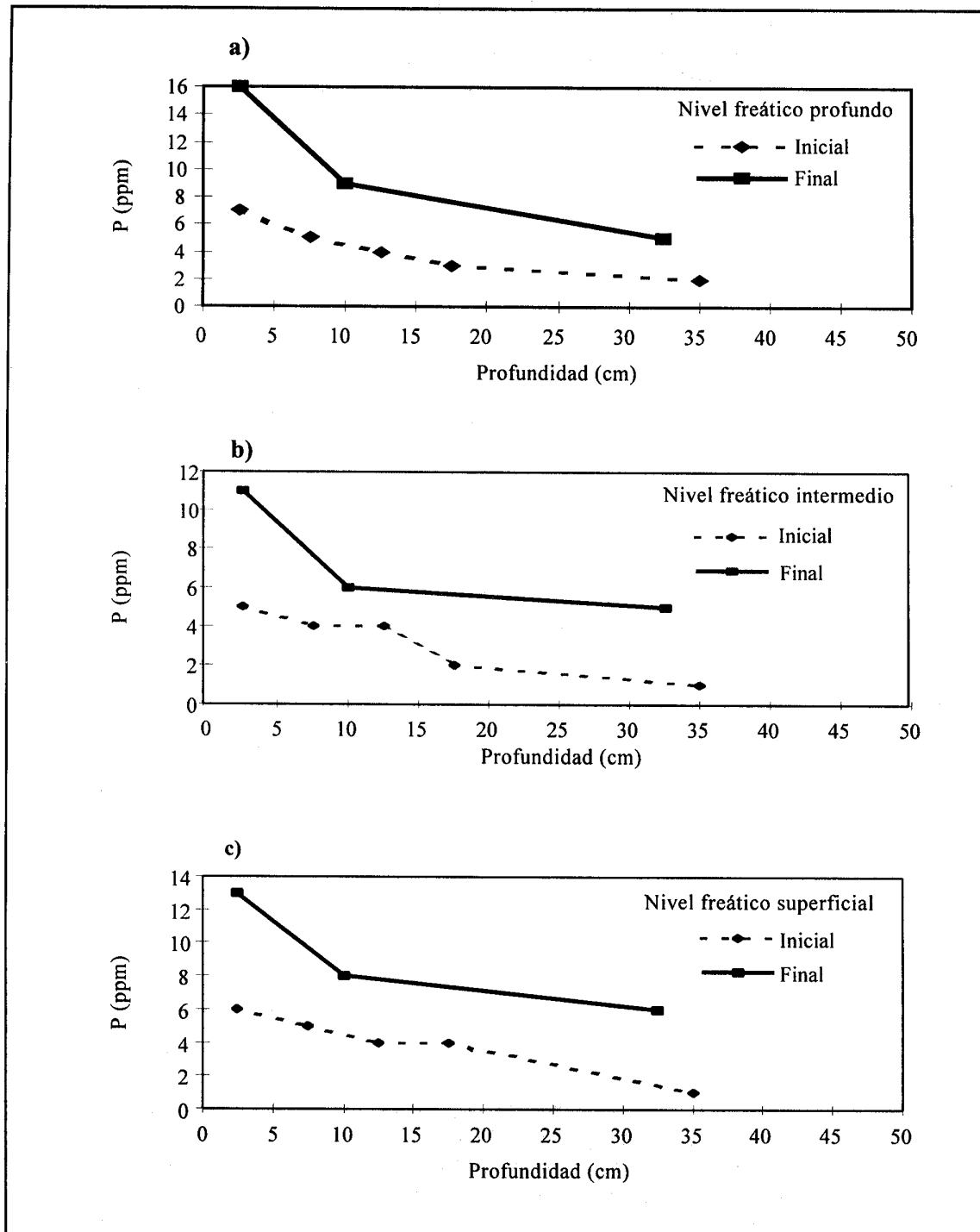


Figura 5. Contenido inicial y final de fósforo (ppm) en el suelo, para tres niveles de napa freática, con alfalfa fertilizada por dos temporadas: a) Nivel freático profundo; b) Nivel freático intermedio; c) Nivel freático superficial.

Figure 5. Initial and final soil phosphorus (ppm) for three different water table depth with alfalfa fertilized for two season: a) Deep drainage; b) Intermediate drainage; c) Superficial drainage.

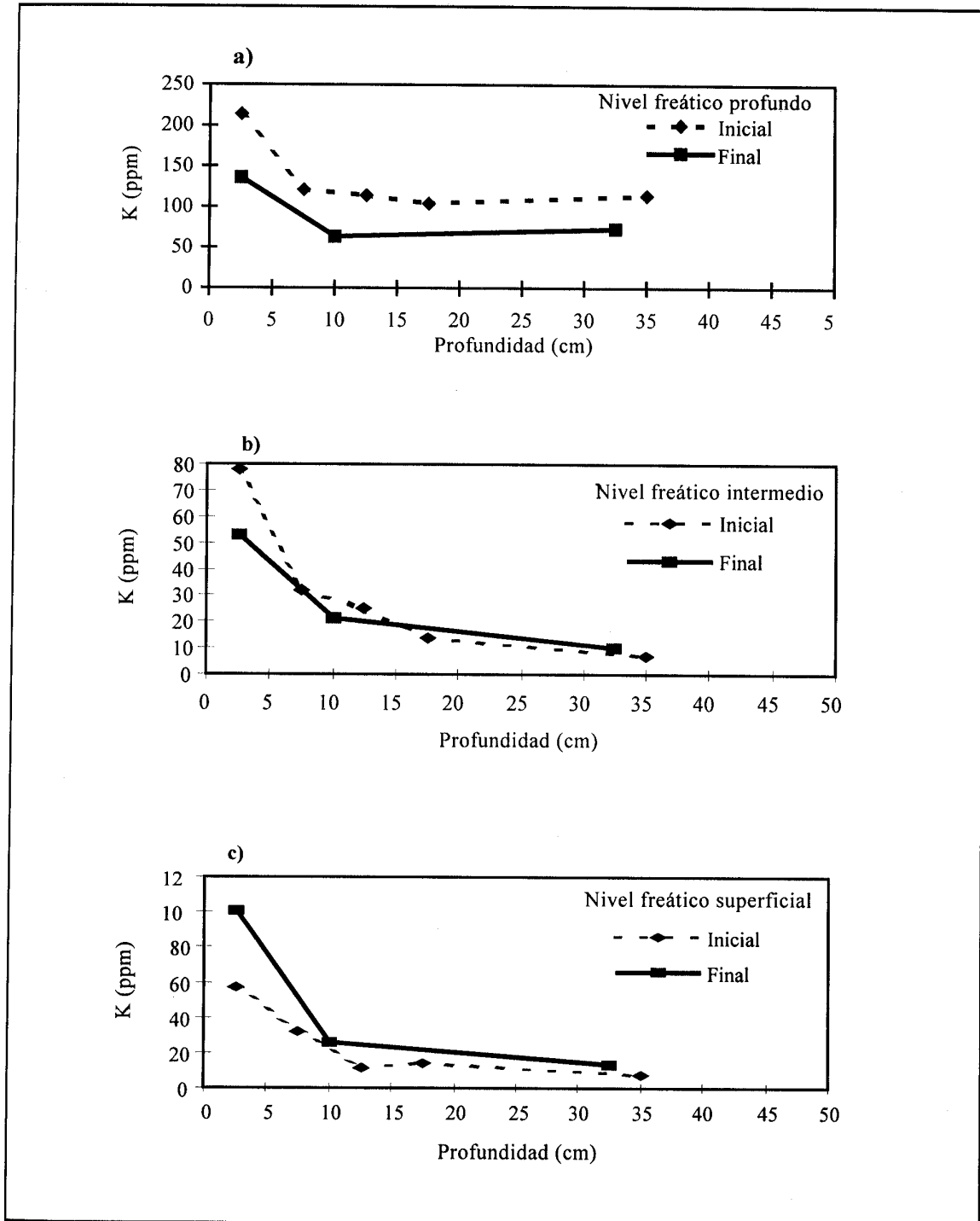


Figura 6. Contenido inicial y final de potasio (ppm) en el suelo, para 3 niveles de napa freática, con alfalfa fertilizada por dos temporadas: a) Nivel freático profundo; b) Nivel freático intermedio; c) Nivel freático superficial.

Figure 6. Initial and final soil potassium (ppm) for three different water table depths, with alfalfa fertilized for two seasons: a) Deep drainage; b) Intermediate drainage; d) Superficial drainage.

2. Con una napa freática baja existe tendencia a un mayor rendimiento con una fertilización completa (N, P, K, S, Ca, Mg), no presentando respuesta clara a la aplicación de nutrientes individuales. En cambio, en la condición de napa freática intermedia y superficial, la respuesta a la fertilización completa es significativa.
3. El contenido de P del suelo aumenta tanto en los primeros 5 cm del suelo, como también a mayores profundidades; por el contrario, los contenidos de K disminuyen en la medida que aumenta la profundidad.
4. La fertilización con P ó con P y S, sólo alcanzan rendimientos de fitomasa MS similar al tratamiento sin fertilizar, indicando que sin la aplicación de Ca y Mg no existe respuesta de estos elementos en el rendimiento de MS.

## RESUMEN

La productividad de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) se ve afectada considerablemente por las condiciones de nivel freático del suelo en que se establece. En una pradera de alfalfa se seleccionaron tres sitios representativos de nivel freático: profundo (NFP), intermedio (NFI) y superficial (NFS). Se estableció en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, un estudio de respuesta a la aplicación de diferentes nutrientes al suelo (N, P, K, S, Ca, Mg) durante dos temporadas. Su objetivo fue determinar la respuesta de la alfalfa a la aplicación de fertilizantes en las diferentes condiciones de napa freática. Los parámetros evaluados en el estudio fueron: variación de la napa freática, humedad del suelo, producción de MS y contenido de N, P, y K en el suelo. La napa freática

en NFP se mantuvo durante el período invernal, a 30 y 40 cm más profunda que NFI y NFS, respectivamente. La producción de MS se incrementó ( $P \leq 0,05$ ) con fertilización completa y los efectos en promedio de las dos temporadas fueron de 31, 183, 177% para NFP, NFI y NFS, respectivamente. La adición de N a la fertilización completa tuvo un efecto significativo sobre la producción de MS solo en la primera temporada. En NFP la adición de N en la fertilización completa no tuvo respuesta en producción. La aplicación de P incrementó el contenido de este nutriente en el suelo en todas las profundidades. El K del suelo disminuyó solo en en NFP.

**Palabras claves:** rendimiento alfalfa, drenaje, N, P, K.

## LITERATURA CITADA

- ACUÑA, H.; SOTO, O.; VIDAL, A. y MARTÍNEZ, G. 1991. Fertilización de alfalfa con fósforo, potasio y azufre. Agricultura Técnica (Chile) 51: 315-322.
- ACUÑA, H. 1992. Fertilización del cultivo de la alfalfa. In: Romero, O. (Ed.) Seminario: La alfalfa y su utilización en la zona sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. p. 66-84.
- BARTA, L. A. 1988. Response of field grown alfalfa to root waterlogging and shoot removal. II. Nitrogen and fermentation metabolism. Agronomy Journal 80: 893-896.
- BREMER, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C.A. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy. p. 1035-1049.

- CHAPMAN, H. D. Y PRATT, P. A. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y agua. México. Editorial Trillas. 195 p.
- CORREA, M.; ZEMELMAN, R. Y LONGERI, L. 1981. Influencia de la fertilización fosfórica en el crecimiento y en el contenido de nitrógeno de cuatro especies de leguminosas forrajeras inoculadas con *Rhizobium*. Agricultura Técnica (Chile) 41: 79-82.
- CIREN CORFO. 1994. Descripciones de suelos, materiales y suelos. Estudio agroecológico precordillera VIII Región. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Santiago, Chile. p. 29-36.
- DONOVAN, T. J. AND MEEK, B. D. 1984. Response of alfalfa to different levels of irrigation. Fourteenth California Alfalfa Symposium. Visalia, California, USA. December 5 - 6. p. 20-72.
- GOINS, G. D. AND RUSSELLE, M. P. 1996. Fine root demography in alfalfa (*Medicago sativa*). Plant and Soil 185: 281-291.
- HELALIA, A. M.; AL-TAHIR, O. A. AND AL-NABULSI, Y. A. 1996. The influence of irrigation water salinity and fertilizer management on the yield of alfalfa (*Medicago sativa*). Agricultural Water Management 31: 105-114.
- JAHN, E. 1996. La pradera en los sistemas de leche bovina. *In*: Ruiz N. I. (Ed.). Praderas para Chile. 2<sup>da</sup> ed. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 658-664.
- JEREZ, J. B. Y ORTEGA, O. L. 1996. Riego y drenaje en praderas. *In*: Ruíz, N.I. (Ed.). Praderas para Chile. Santiago. Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 239-266.
- LATTIMORE, M. E.; THOMPSON, A. J. AND O'CALLAGHAN, L. K. 1994. Irrigation frequency for white clover and lucerne on a cracking clay in the Murrumbidgee Valley, New South Wales. Australian Journal of Experimental Agriculture 34: 41-49.
- MAHONEY, G. P.; JONES, H. R. AND HUNTER, J. M. 1981. Effect of lime on lucerne in relation to soil acidity factors. Proceeding of the XIV International Grassland Congress. Lexington, Kentucky, USA. June 15-24. p. 299-302.
- MCKELL, C. M.; WILSON A. W. AND WILLIAMS, W. A. 1982. Effect of temperature on phosphorus utilization by native and introduced legumes. Agron. J. 54: 109-113.
- MELLA, L. Y KÜHNE, G. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Santiago Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 585.
- MUGWIRA, L. M. AND HAGUE, I. 1993. Screening forage and brouse legumes germplasm to nutrient stress I.: Tolerance of *Medicago sativa* to aluminium and low phosphorus in soils and nutrient solutions. Journal Plant Nutrition 16: 17-35.
- OOHARA, H.; YOSHIDA, N.; FUKUNAGA, K.; COLBY, W. G.; DRAKE, M.; WEDIN, W. F.; KEMMLER, G.; UXEKULL, H. R. AND HASEGAWA, M. 1981. Impacts of phosphorus and potassium fertilization on maintaining alfalfa-orchard grass swards in Hokkaido, Japan. Proceeding of the XIV International Grassland Congress. Lexington, Kentucky, USA. June 15-24. p. 309-311.
- RUZ, E. Y CAMPILLO, R. 1996. Fertilización de praderas. *In*: Ruiz N. I. (Ed.) Praderas para Chile. 2<sup>da</sup> ed. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p. 220-237.

- SAS INSTITUTE. 1990. Procedure guide, release. 7nd. ed. Cary, North Caroline, USA. SAS Institute Inc. 45 p.
- SADZAWKA, A. R. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie La Platina Nº 16. Santiago, Chile. p. 130.
- SOTO O., P. Y RUZ J., E. 1993. La fertilización de las praderas en suelos arenales. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu Nº 57 p. 14-20.
- TEUTSCH, C. D. AND SULE, R. M. 1997. Influence of seedling growth stage on flooding injury in alfalfa. Agron. J. 89: 970-975.
- THOMPSON, T. E. AND FICK, W. G. 1981. Growth response of alfalfa to duration of soil flooding and to temperature. Agron. J. 73: 329-332.
- TOWNEND, J. AND DICKINSON, A.L. 1995. A comparison of rooting environments in containers of different sizes. Plant and Soil 175: 139-146.
- YOKOTA, S. AND OJIMA, K. 1995. Physiological response of root tip of alfalfa to low pH and aluminium stress in water culture. Plant and Soil 171: 163-165.
- ZOOK, D. M.; ERWIN, D. C. AND STOLZY, L. H. 1986. Anatomical, morphological and physiological responses of alfalfa to flooding. Plant and Soil 96: 293-296.