

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACIÓN DE LARGO PLAZO EN EL CULTIVO DE MAÍZ Y EN LA RESIDUALIDAD DE P Y K EN UN MOLLISOL CALCÁREO¹

Long-term fertilization effect on corn nutrition and on P and K residuality on a calcareous Mollisol

Miguel Fernández del P.²

SUMMARY

Field experiments were performed on a calcareous Mollisol located on the irrigated central region of Chile, with the purpose to study the influence of a periodical PK fertilization on crop nutrition and on soil fertility. The site involved a sandy loam soil, with a variable depth from 0.6 to 0.85 m, lying over a gravelly and stony alluvial material; pH 8.2; 1.9% organic matter; 1.0 ds m⁻¹ electrical conductivity; 3 mg kg⁻¹ Olsen-P and 75 mg kg⁻¹ available K. A monoculture of grain maize was cropped for four years, with a late hybrid sown at 76,500 plants ha⁻¹. Three treatments were included: T₀, or control; T₁, with 26 and 66 kg ha⁻¹ of P and K and T₂, with 52 and 132 kg ha⁻¹ of P and K, respectively. Triple superphosphate and potassium sulphate were broadcasted, together with 350 kg ha⁻¹ N as urea, which were mixed with the upper soil layer immediately before sowing. At each harvest time, grain and all aerial plant material produced was removed, dried and ground for N, P and K analysis. Soil samples were taken at the beginning of each cropping period and analyzed for available P and K. Fertilization increased both available-P at a rate of 0.5 and 1.0 mg kg⁻¹ yr⁻¹ and available K at a rate of 4 and 7 mg kg⁻¹ yr⁻¹ on T₁ and T₂, respectively. On control treatment, only a small increase on available K was observed. Fertilized plots highly increased grain and dry matter yield according with internal requirement of P and K. Apparent P and K recovery and nutrient removed in plant material were calculated.

Key words: corn, long-term fertilization, P and K fertilization, soil P and K removed, apparent P and K recovery, fertilizer P and K residuality.

INTRODUCCIÓN

El cultivo anual de los suelos sin la fertilización adecuada tiende a desbalancear o a agotar la disponibilidad de nutrientes. Por el contrario, la frecuente adición de fertilizantes fosfatados y potásicos en suelos manejados bajo un sistema de cultivo intenso tiende a aumentar la disponibilidad, especialmente de P y K, permitiendo disminuir las necesidades de abonado en cultivos sucesivos. Un trabajo previo con monocultivo de maíz sin agregar fertilizantes, realizado en el mismo sitio por Fernández (1993), demostró que el nivel original de 4 a 5 mg kg⁻¹ de P-Olsen había descen-

dido a alrededor de 3 mg kg⁻¹ o menos, y el contenido de potasio disponible se mantuvo sin variación, luego de cuatro temporadas de producción, aun cuando se incorporó anualmente el residuo de cosecha. No obstante, cuando se fertilizó con fósforo y potasio, se elevó el nivel de disponibilidad de estos nutrientes. Janssen y Whitney (1995), obtuvieron resultados similares referente a potasio en un suelo de Kansas, sometido a una rotación soya-trigo-sorgo por 12 años, donde se incorporaron los residuos de cosecha. Sin embargo, no se modificaron los niveles de fósforo, dado que el suelo era alto en este nutriente.

Distintos factores participan en el cambio de estos índices como consecuencia del uso frecuente de fertilizantes, tema que será abordado en mayor profundidad en un artículo futuro. El objetivo presente, es entregar algunos antecedentes sobre la respuesta de la planta y del suelo a aplicaciones periódicas de fertilizantes fosforado y potásico y su influencia tanto en la nutrición y producción del cultivo como en la fertilidad del suelo.

¹Recepción de originales: 3 de agosto de 1995. Presentado al VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 10-13 de mayo de 1995. Temuco, Chile.
El autor agradece la excelente cooperación de Maximiliano Massa Alvarado durante el desarrollo de la investigación.
²Centro Regional de Investigación La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Serie Maipo, suelo aluvial calcáreo correspondiente a un Haploxerol típico, cuya capa arable es de textura franco arenosa, con 2,1% de materia orgánica; pH 8,2 y profundidad variable entre 0,6 y 0,85 m; 3 mg kg⁻¹ de P-Olsen y 75 mg kg⁻¹ de K disponible. El terreno provino de un sistema previo de cuatro años de monocultivo de maíz. El experimento, a su vez, se controló por cuatro años bajo el mismo sistema, siendo sembrado con el híbrido INIA-160, cultivar semitardío, manejado con una población de 76.500 plantas ha⁻¹. Los tratamientos comparados fueron tres: T₀: testigo sin aplicación de P ni de K; T₁: aplicación anual de 26 kg ha⁻¹ de P y 66 kg ha⁻¹ de K, y T₂: aplicación de 52 y 132 kg ha⁻¹ de P y K respectivamente, utilizándose como fuentes superfosfato triple y sulfato de potasio, en cada caso.

El diseño estadístico empleado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y cinco subparcelas por tratamiento, en cada bloque. El cultivo se fertilizó anualmente con 350 kg ha⁻¹ de nitrógeno, en forma de urea, aplicado en dos parcialidades, mitad en la siembra y mitad a una altura de 30 a 40 cm. A la cosecha se retiró todo el material vegetal aéreo (fitomasa) producido en la parcela, exceptuando la base de las cañas que quedaron en el terreno, conjuntamente con las raíces.

Anualmente se controló la producción de fitomasa, separada en cañas (incluidas hojas, tusas y chalas), coronta y grano. Cada material fue analizado químicamente para N, P y K, calculándose la extracción del cultivo en los diferentes componentes. En el cálculo de las extracciones no fueron consideradas las posibles pérdidas de nutrientes por volatilización o lavado que pudieran haber ocurrido durante el secado del cultivo en el campo, ya que el proceso analítico se hizo con planta seca. Al respecto, Dennis (1993), cita que en maíz la máxima cantidad de N se detectó al estado de grano lechoso y el N total disminuyó hasta la madurez, en que las pérdidas se sitúan entre 40 y 22 lb acre⁻¹. Tukey (1970), en una revisión de las investigaciones sobre lixiviación de sustancias desde las hojas concluye que por medio de trazadores se ha comprobado que estas sustancias provienen del interior de las hojas, correspondiendo en su mayoría a aminoácidos. Agrega que en 24 horas de lluvia se ha medido lixiviación de 39 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

El suelo fue muestreado al iniciar cada temporada de cultivo (octubre), determinándose los contenidos de P-Olsen y K disponible por parcela.

Los resultados se analizaron por varianza y las medias de tratamiento fueron comparadas usando la prueba de rango múltiple de Duncan, con un límite de probabilidad de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La influencia de la fertilización fue evidente en el cultivo, modificando distintas respuestas de éste que serán comentadas a continuación.

Nutrición

La nutrición del maíz se vio favorecida con la aplicación de fertilizantes fosfatado y potásico, incrementándose el contenido de P y de K en los tejidos. La concentración interna de P (CIP) aumentó significativamente desde 0,087% P en T₀ a 0,1% en T₁ y a 0,11% en T₂, producto de la adición de fertilizante fosforado (Figura 1), cuya influencia en producción fue notoria sólo entre el testigo y los tratamientos fertilizados (Cuadro 1). Si bien la fertilización aumentó el CIP en T₂ respecto de T₁, ello no promovió aumentos de producción de materia seca, lo cual significa que con T₁ se satisfizo completamente la necesidad de la planta, logrando con ello el rendimiento óptimo. Esto equivale a haber logrado el "requerimiento interno" de fósforo. Sin embargo, la concentración alcanzada es bastante inferior a la encontrada en la literatura. Por ejemplo, Rodríguez (1993) indica para maíz un valor de 0,17. La distribución porcentual de nutrientes extraídos por la planta (Cuadro 2) muestra que el P se concentró en un 85% en el grano y en 15% en cañas y corontas. Como resultado del enriquecimiento de P de los tejidos y del aumento de rendimiento de fitomasa por efecto de la fertilización fosforada, la extracción del nutriente aumentó en 59% en el grano y en 44% en el resto de la planta. El porcentaje de P del grano alcanzó valores de 0,134% en T₀, 0,156% en T₁ y 0,17% en T₂. Rhem *et al.* (1983), obtuvo valores de CIP de 0,097 a 0,116 entre 0 y 44 kg ha⁻¹ de P fertilizado, respectivamente, salvo un año en que fluctuó de 0,104 a 0,184%, según valores aproximados extraídos de un gráfico incluido en dicho artículo. En el mismo trabajo, la concentración de P del grano varió de 0,115 a 0,101%, es decir, se produjo un descenso de la concentración del nutriente, lo cual no coincide con lo registrado en la presente investigación. Las diferentes características del híbrido usado y los distintos ambientes podrían explicar tal diferencia.

La fertilización potásica no provocó un efecto claro en la nutrición del cultivo como lo hizo el abono fosforado. La concentración interna de potasio (CIK) no sufrió modificación con la fertilización.

CUADRO 1. Efecto de la fertilización en el rendimiento de grano y de fitomasa del maíz

TABLE 1. Fertilization effect on grain and on total dry matter yield of corn

Tratamiento	1991	1992	1993	1994	Promedio
Grano, Mg ha⁻¹ (16% humedad)					
T ₀	9,47	10,32	9,55	9,81	9,72 b ¹
T ₁	11,19	13,07	12,04	12,87	12,30 a
T ₂	10,44	13,11	12,71	13,36	12,41 a
Promedio	10,36 c	12,17 a	11,43 b	12,02 a	
Fitomasa, Mg ha⁻¹					
T ₀	15,70	16,57	14,77	15,76	15,70 b
T ₁	18,26	19,89	18,24	20,15	19,14 a
T ₂	17,19	20,10	19,11	20,97	19,34 a
Promedio	17,05 b	18,86 a	17,37 b	18,96 a	

¹Letras distintas indican diferencias significativas a ($P \leq 0,05$), según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

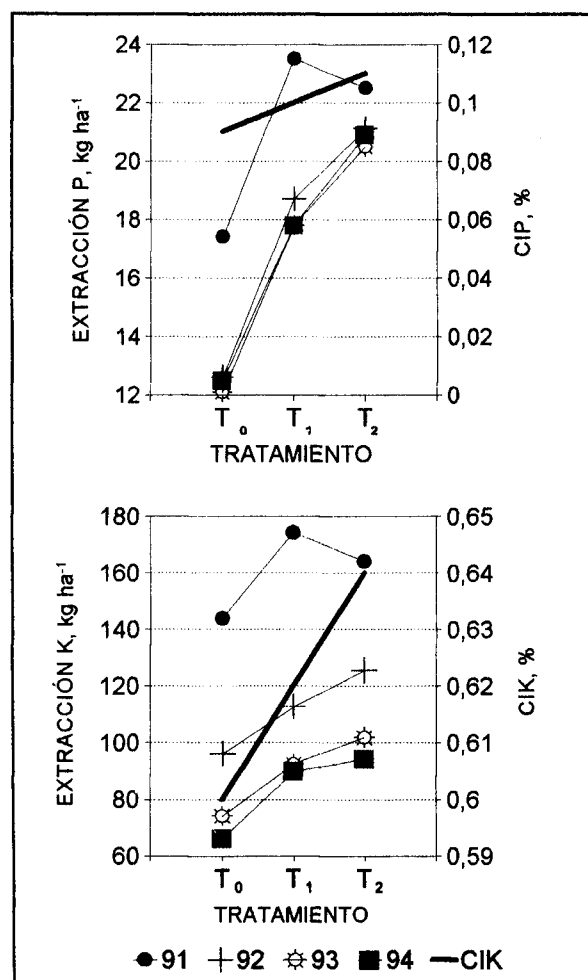


FIGURA 1. Extracción de fósforo y potasio. Interacción tratamiento por año.

FIGURE 1. Phosphorus and potassium removed. Treatment by year interaction.

CUADRO 2. Influencia del tratamiento fertilizante en la distribución porcentual del N, P y K extraído por el maíz (promedio de cuatro temporadas)

TABLE 2. The influence of fertilizer treatment on percentual distribution of extracted N, P and K by corn (4 seasons mean)

Tratamiento	Extr. total kg ha ⁻¹	Distribución porcentual		
		Grano	Coronta	Caña
Nitrógeno				
T ₀	136	69,4	5,6	25,0
T ₁	163	70,8	5,0	24,2
T ₂	159	71,0	5,2	23,8
Fósforo				
T ₀	13,7	84,4	3,1	12,5
T ₁	19,5	85,5	2,5	12,0
T ₂	21,3	85,8	2,4	11,8
Potasio				
T ₀	95	25,5	12,1	62,4
T ₁	119	26,2	10,5	62,0
T ₂	121	26,4	9,9	63,7

La pequeña variación observable de los valores absolutos de la Figura 1 (de 0,6 a 0,64%) no es significativa. Además, estos valores de CIK son muy pequeños comparados con los presentados por Bullock (1990), de 1,5 a 1,8% en experimentos de fertilización en maíz y a pesar de que no limitan los rendimientos del cultivo, aparecen bastante inferiores a 1% señalado por Rodríguez (1993), como requerimiento interno de K.

El aumento de concentración potásica por efecto de la fertilización (valores no incluidos en este

artículo) se observa preferentemente en la caña (8,4%), siendo algo menor en el grano (6%). Estos índices representan la cuarta parte del efecto causado por el fósforo en estos experimentos. No obstante, y dado el aumento de rendimiento producto de los tratamientos fertilizantes, la extracción de K se vio incrementada en 35% en el grano y 28% en la caña. Sin embargo, la mayor absorción de potasio no repercutió positivamente en el rendimiento del cultivo. El análisis de las concentraciones sugieren que es el P y no el K el nutriente que limita la expresión productiva del cultivo en el suelo estudiado.

Los antecedentes comentados sobre el efecto de la fertilización potásica son confirmados por Rehm *et al.* (1983), quienes encontraron que el K fertilizante aumentó la concentración del nutriente en los tejidos del maíz, no obstante la ausencia de respuesta en rendimiento les permitió sustentar el concepto de que el suelo es capaz de aportar adecuado potasio para la producción del cultivo. Lo mismo concluyeron Obreza y Rhoads (1988), en suelos arenosos de riego con niveles de K de intercambio de 70 a 84 mg kg⁻¹, generalmente estimados bajos para maíz.

Rendimiento

Los rendimientos absolutos de grano (15% humedad) fluctuaron entre 9,4 Mg ha⁻¹ en T₀ y 13,3 Mg ha⁻¹ en T₂ en el periodo analizado (Cuadro 1). Es oportuno destacar dos hechos: primero, que el rendimiento máximo logrado fue moderado, considerando que alcanzó al 78% de lo anteriormente obtenido por el híbrido en el mismo sitio (Fernández, 1995). Ello se explica, en parte, por las características del terreno en que se instaló el experimento: suelo con profundidad un tanto heterogénea, con sectores que no superaron los 40 cm. Esta realidad afectó el desarrollo general del cultivo, impidiendo el óptimo aprovechamiento del riego y del nitrógeno; segundo, el rendimiento del testigo sólo fertilizado con nitrógeno, fue alto, considerando los bajos índices de P y de K del sitio, lo que hacía presumir un techo de producción inferior.

La interacción tratamiento x año en el rendimiento del maíz (Figura 2), destaca a 1991 con una respuesta inferior y diferente a las de otras temporadas, en especial en grano, con disminución del rendimiento en T₂. La menor producción en relación a los años posteriores resulta un tanto inesperada, por cuanto fue la que recibió más directamente el efecto de la incorporación de los residuos de las temporadas anteriores, que fueron previamente picados y cuya descomposición pudo

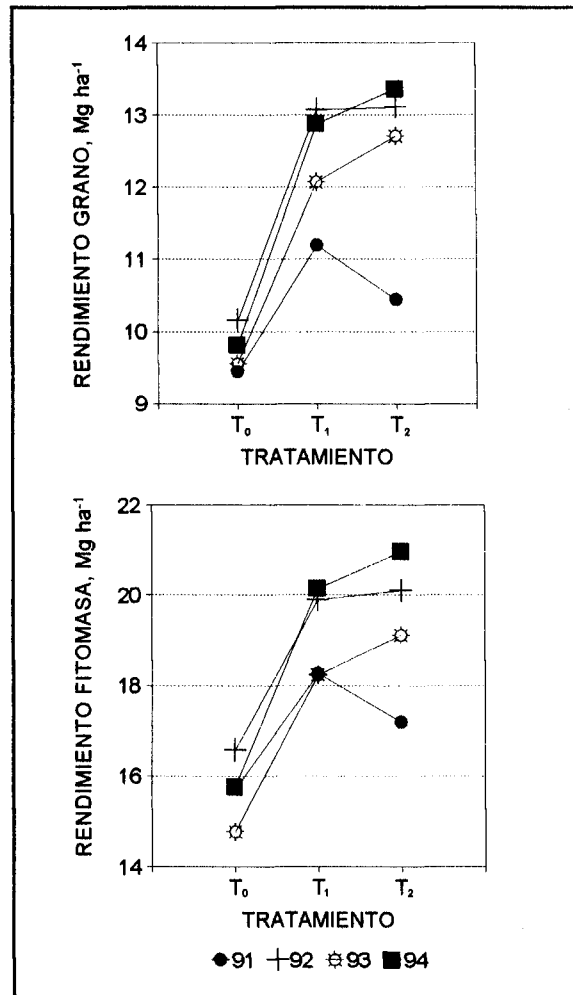


FIGURA 2. Rendimiento de grano y fitomasa. Interacción tratamiento por año.

FIGURE 2. Grain and phytomass yield. Treatment by year interaction.

haber entregado fósforo y potasio de fácil absorción, sentando condiciones para un aumento de producción. Sin embargo, fue tal vez más importante el mayor consumo de nitrógeno y su consecuente inmovilización microbiana lo que frenó el rendimiento. Janssen y Whitney (1995), confirman que la incorporación de los residuos no influyen en los rendimientos ni en el contenido de potasio de intercambio en el corto plazo, pero su contenido en el suelo se eleva al término de los cuatro ciclos de la rotación.

La adición de una moderada dosis de fertilizantes PK (T₁), produjo un fuerte incremento del rendimiento en el cultivo, el que no se modifica con mayor fertilización (T₂). Este resultado, similar tanto en producción de grano como en rendimiento de fitomasa (Figura 2), confirma el bajo nivel

en que se encontraban el P-Olsen y el K disponible originalmente en el suelo (T_0), siendo responsables de limitar la producción del cultivo.

Índice de cosecha

El índice de cosecha (fitomasa/grano) obtenido en el T_0 , de 0,54 (Cuadro 3), se considera un valor entre normal a bajo en comparación a lo encontrado por la literatura para cultivares de maíz de zona templada. Tollenaar (1989), entrega índices de 0,51 a 0,60 para algunos híbridos comerciales, y Raun *et al.* (1987), muestran, al calcularse de sus cuadros, índices de 0,44 a 0,56, en una localidad, y de 0,59 valores superiores a 0,66, en otra, obtenidos en experimentos realizados en Nebraska, sobre distintas formas y dosis de aplicación de fertilizantes fosforados en condiciones de riego por aspersión.

Si bien el índice de cosecha responde a una característica genética del cultivar más que a factores ambientales, Fernández (1995), informa que la fertilización nitrogenada modificó el citado índice desde 0,44, en el tratamiento sin nitrógeno, hasta 0,53, con la dosis 500 kg ha⁻¹ de N, utilizando el mismo híbrido INIA-160. En la presente investigación, la fertilización PK aplicada mejoró el índice, llevándolo de 0,54 en el T_0 a 0,56 en los tratamientos fertilizados. Además, se observó un significativo efecto de año, variando los promedios entre 0,53 y 0,57, muy similar a lo presentado en las bibliografías recientemente citadas. Estos resultados están resaltando la importancia que tiene el ambiente en modificar el índice de cosecha, condición que se debería tener presente cuando se formulan en los modelos de producción.

Extracción de nitrógeno

Se observa similitud entre las curvas de extracción de nitrógeno (Figura 3) y las de rendimiento (Figura 2), ratificando la evidente asociación entre

ambas variables. La Figura 3 incorpora, además, la variación de la concentración interna de nitrógeno, que disminuye de 0,87% para el T_0 a 0,82% para el T_2 , por efecto de dilución del nutriente ante el aumento de la materia seca. Estos valores son inferiores a los señalados por Bullock (1990), que fluctúan entre 1,1 y 1,3%, o por Fan y Mackenzie (1994), de 0,92 a 1,116%, obtenidos en sitios experimentales diferentes.

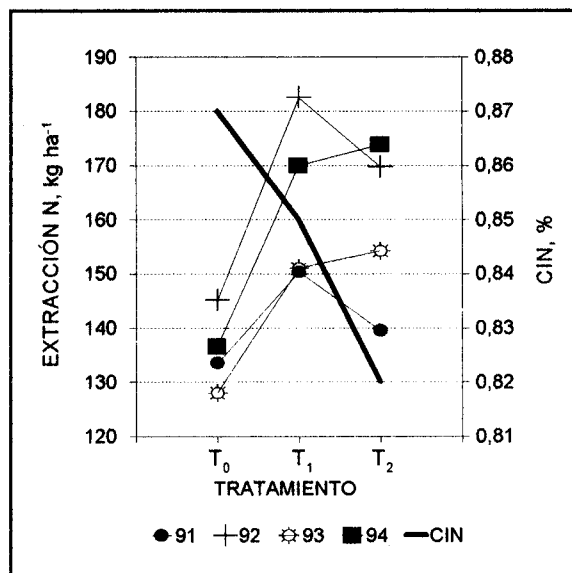


FIGURA 3. Extracción de nitrógeno. Interacción tratamiento por año.

FIGURE 3. Nitrogen removed. Treatment by year interaction.

Como promedio de los cuatro años, el maíz extrajo en su fitomasa algo más de 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, distribuyendo un 70% al grano (Cuadro 2). En los trabajos citados anteriormente, Bullock (1990), determinan extracciones de 168 a 210 kg ha⁻¹ de N, y Fan y Mackenzie (1994), indican valores de 176 a 207 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

CUADRO 3. Efecto de la fertilización en el índice de cosecha del maíz

TABLE 3. Fertilization effect on corn harvest index

Tratamiento	1991	1992	1993	1994	Promedio
T ₀	0,52	0,54	0,56	0,54	0,54 b ¹
T ₁	0,53	0,57	0,57	0,56	0,56 a
T ₂	0,53	0,57	0,58	0,55	0,56 a
Promedio	0,53 d	0,56 b	0,57 a	0,55 c	

¹Letras distintas indican diferencias significativas a ($P \leq 0,05$), según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

Extracción de fósforo

La Figura 1 es clara en revelar el nivel de deficiencia de P del suelo por el bajo grado de extracción de P que mostró el cultivo en el tratamiento T_0 , superando levemente los 12 kg ha^{-1} y el espectacular aumento provocado por los dos niveles de fertilización fosforada.

Llama la atención que en la temporada de inicio del experimento (1991), la extracción del nutriente fue alta, del orden de 17 kg ha^{-1} , bajando y manteniéndose en adelante en algo más de 12 kg ha^{-1} . Sin embargo, la disminución de la extracción de P en los años 1992 y posteriores, no tuvo repercusión en el rendimiento. El alto nivel registrado en la temporada 1991 se asume derivado de la mineralización de los rastrojos incorporados de años anteriores.

La aplicación de fósforo en dosis de 26 kg ha^{-1} elevó de manera importante la disponibilidad del nutriente en el suelo, permitiendo aumentar la extracción a 18 kg ha^{-1} , provocando, además, un fuerte incremento del rendimiento del maíz. La adición de una mayor dosis de P repercutió positivamente en la extracción, que alcanzó a alrededor de 21 kg ha^{-1} , pero sin incrementar el rendimiento (Figura 1). En la misma figura, se observa que el requerimiento interno de P aumenta en forma rectilínea con el aumento de la fertilización fosforada, es decir, se incrementa el contenido del nutriente en los tejidos, caso inverso a lo observado con nitrógeno. Los valores de extracción de P medidos en esta investigación son similares a los informados por Ren-Gang y Barber (1988), en un experimento de rotación con maíz, quienes encontraron valores de $9,3$ y $11,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de P removido por el grano en el testigo sin fertilización fosforada y 14 a $16,7 \text{ kg}$ cuando se aplicaron 49 kg ha^{-1} de P. No obstante, estos valores difieren considerablemente con lo que menciona Rodríguez (1993), para el cultivo de maíz, de 43 kg ha^{-1} de P extraído en el grano, como también con los señalados por Bullock (1990), de 42 a 46 kg ha^{-1} de P. Obreza y Rhoads (1988), estudiando la respuesta del maíz a la aplicación de N, P, K y Mg en suelo de riego, obtienen respuesta significativa en absorción de P con dosis de 29 , 59 y 117 kg ha^{-1} de P, aumentando el fósforo absorbido por el testigo sin P de 17 kg ha^{-1} de P a 25 , 28 y 36 kg ha^{-1} de P con las dosis aplicadas. Sin embargo, la respuesta en rendimiento sólo alcanza a la primera dosis de P lograda el primer año, coincidiendo con lo encontrado en el presente trabajo. En un segundo año, repetido el experimento en el mismo suelo, encuentran que la extracción de P es similar en los tres tratamientos, lo que interpretan como resulta-

do del efecto residual de la fertilización del año anterior, que satisfizo las necesidades del cultivo en cuanto a fósforo disponible. Las respuestas encontradas por estos autores son confirmadas por los resultados de la presente investigación, en el sentido que sobrepasado un valor crítico de absorción de P, el rendimiento viene a ser controlado por otras variables, produciéndose un consumo de lujo que pasa a incrementar la concentración del nutriente en los tejidos. Los rendimientos de grano de $8,5$ a $11,3 \text{ kg ha}^{-1}$, informados en el trabajo de Obreza y Rhoads (1988), son también similares a los que se entregan en este artículo, aumentando el grado de validez que ellos representan.

La mayor extracción y concentración interna de P producto de la fertilización, se asocia positivamente con el aumento de P disponible en el suelo (Figura 4). La eficiencia con que el fertilizante fosfatado fue aprovechado por el cultivo se midió a través de la fracción de recuperación aparente (Novoa y Loomis, 1981), que fue de 22 y 15% para T_1 y T_2 , respectivamente, valores que resultan inferiores a los entregados por Fan y Mackenzie (1994), que variaron entre 15 y 41% en experimentos con urea y mezclas fosforadas. La eficiencia agronómica fue de 97 y 51 kg de grano por cada kilo de P agregado en ambos tratamientos, bajo el supuesto que hay un aporte natural equivalente al medido en el testigo T_0 . Estos mismos autores, muestran para niveles de P aplicado de $19,4$ y $38,7 \text{ kg ha}^{-1}$ fracciones de recuperación de $26,2$ y $29,1\%$.

La extracción de fósforo por el cultivo y su distribución (Cuadro 2), destaca que el 85% de este nutriente se concentra finalmente en el grano. La menor disponibilidad de fósforo en el T_0 , además de limitar su absorción por el cultivo, origina mazorcas y granos de menor tamaño y peso, con un marcado efecto en el rendimiento de grano y de fitomasa, en general.

Extracción de potasio

La fertilización potásica estimuló la extracción del nutriente por el cultivo (Figura 1), aumentando levemente su requerimiento interno de $0,6$ a $0,64\%$, explicando, en parte, el incremento de la extracción del nutriente como producto de su adición. No obstante, se aprecia a través de las temporadas, una constante disminución, estadísticamente significativa, de las extracciones de K en todos los tratamientos, sin que ello vaya acompañado de descenso de rendimiento. Lo anterior hace suponer que el nivel de potasio del suelo aún no ha alcanzado el nivel crítico, o bien, que la capacidad

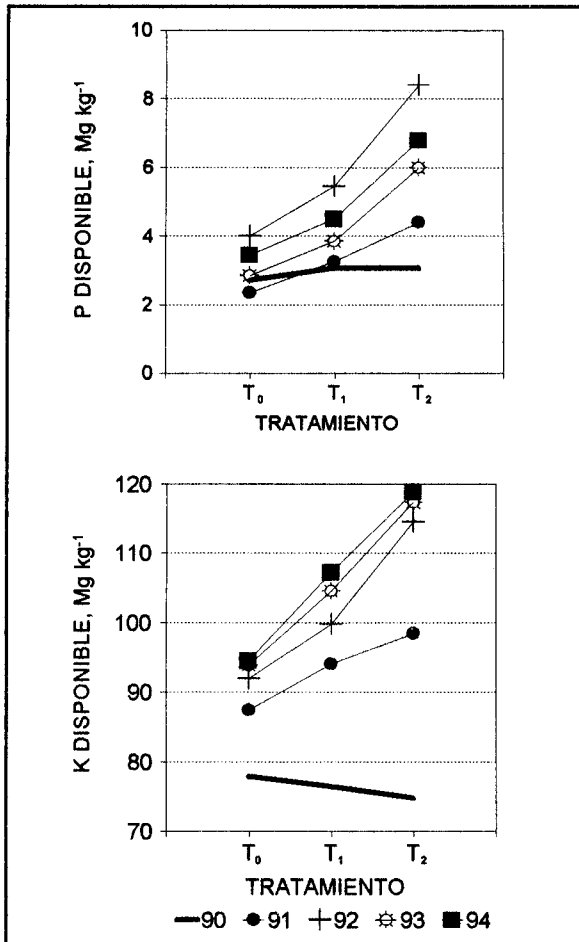


FIGURA 4. Fósforo y potasio del suelo disponible. Interacción tratamiento por año.

FIGURE 4. Soil available phosphorus and potassium. Treatment by year interaction.

de reposición del potasio disponible en el suelo se produce a una velocidad tal, que es capaz de suplir las exigencias del cultivo. Coincidente con esta situación, es la presentada por Obreza y Rhoads (1988), quienes no encontraron respuesta del maíz a la aplicación de fertilizante potásico en un suelo arenoso de riego, con niveles de 84 a 70 mg kg⁻¹ de potasio. A una conclusión similar llegó Rehm *et al.* (1983).

Por lo general, un cultivo de maíz para grano exporta del terreno únicamente ese producto, siendo el resto de la fitomasa incorporada como rastrojo al suelo, devolviéndose, por esta vía, aproximadamente el 75% del potasio absorbido por el cultivo (Cuadro 2). Este procedimiento tiende a minimizar la pérdida anual de K y de otros nutrientes del suelo, pero en el caso presente, toda la fitomasa

fue anualmente retirada con el objeto de acelerar el proceso de agotamiento. No obstante, en el caso particular del potasio no se produjo disminución, sino, por el contrario, se observó una tendencia a aumentar.

La fracción de recuperación aparente del potasio aplicado fue del orden de 36 y 20% para T₁ y T₂, respectivamente, en tanto que la eficiencia agronómica alcanzó a 38 y 20 kg de grano por kg de potasio agregado en los tratamientos respectivos.

Fertilidad del suelo

El nivel inicial de disponibilidad de P en las diferentes parcelas, previo a que recibieran los tratamientos fertilizantes (temporada 1990), es representado en la Figura 4 por la línea gruesa. Es evidente que la aplicación de P en T₁ eleva su disponibilidad, pero a una tasa pequeña, del orden de 0,5 mg kg⁻¹ año⁻¹. La fertilización en T₂ lo hace a una tasa anual de 1 mg kg⁻¹, valores muy similares a los mencionados por Rodríguez (1993), y algo superiores a los presentados por Sadzawka *et al.* (1992), en suelo y ambiente similar, en el que la capa arable acumuló fósforo a una tasa de 0,3 y 0,9 mg kg⁻¹ con aplicaciones de 20 y 40 kg ha⁻¹ de P, respectivamente. La respuesta de 1992 se elevó sobre las anteriores, posiblemente por un aumento de la mineralización de materia orgánica en ese año. Esta situación se revierte al año siguiente.

La Figura 4 muestra un aumento del K disponible, incluso en el tratamiento testigo, desde 78 mg kg⁻¹ en 1990 a 94 mg kg⁻¹, en 1994. Posiblemente, el agua de riego tiene responsabilidad en este cambio, si se valoran los antecedentes recogidos durante la última temporada del estudio. En ella, se obtuvo muestras del agua de cada uno de los 16 riegos que se aplicaron al cultivo. El volumen total aplicado en el período fue de 10,93 ML ha⁻¹ y la concentración promedio de potasio fue de 0,076 mmol(+) L⁻¹, lo que representó un aporte de 32 kg ha⁻¹ de K, cifra comparable a los 36 kg ha⁻¹ citados por Sadzawka *et al.* (1992), para la misma localidad. En T₁ y T₂, la tasa efectiva anual de aumento del potasio disponible fue de 4 y 7 mg kg⁻¹, respectivamente, resultante únicamente de la fertilización potásica, es decir, descontando el incremento natural antes mencionado. Este resultado contradice a lo mencionado por Sadzawka *et al.* (1992), en que después de 27 años de haberse aplicado sulfato de potasio no detectó acumulación de potasio en el suelo.

CONCLUSIONES

Si bien la fertilidad de un suelo que está bajo cultivo constante responde a un proceso esencialmente dinámico, de lo observado en estos cuatro años, se puede concluir que, las características edáficas del Mollisol estudiado no sufrieron deterioro químico por efecto de monocultivo de maíz, a pesar de haberse iniciado con bajos índices de P y K. El cultivo mantuvo estático su rendimiento de grano en alrededor de $9,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, mientras no se adicionaron esos nutrientes, lo que destaca el potencial productivo del suelo; del mismo modo, el índice de P disponible del suelo permaneció en el nivel original de 3 mg kg^{-1} , y el K de intercambio sufrió un leve aumento en el período, sin modificar la producción del cultivo, revelando que se trata de un suelo con un importante poder tampón frente a los cambios que podría provocar su cultivo sostenido.

La adición de fertilizante fosforado y potásico produjo un evidente aumento de los índices de estos

nutrientes en la capa arable del suelo, con consecuente incremento del requerimiento interno de P del maíz, además de provocar fuerte aumento del rendimiento y de la extracción de P y de K por el cultivo. La fertilización fosforada condujo a incrementar los índices de P disponible del suelo de manera persistente a través de las temporadas de cultivo.

Aun cuando el índice de K de intercambio sufrió un incremento anual de 4 mg kg^{-1} de K en el tratamiento testigo, producto, en parte, de los aportes del agua de riego, la fertilización potásica incrementó más aún este índice. Sin embargo, ello no redundó en incrementos de rendimiento a pesar de la mayor extracción del nutriente realizada por el cultivo de maíz.

Las fracciones de recuperación aparente del fósforo aplicado (26 y 52 kg P ha^{-1}) fueron de 22 y 15% respectivamente, en tanto que la recuperación del potasio aplicado (66 y 132 kg ha^{-1}) fueron de 36 y 20% .

RESUMEN

En un Mollisol calcáreo de la zona central regada de Chile, se realizó una investigación con objeto de estudiar la influencia que tiene la fertilización periódica y frecuente con fósforo y con potasio en la nutrición del cultivo y en la fertilidad del suelo. El terreno seleccionado se caracterizó por su textura franco arenosa; pH 8,2; 3 mg kg^{-1} de P Olsen; 75 mg kg^{-1} de K disponible y profundidad variable de $0,6$ a $0,85 \text{ m}$. Se manejó por cuatro años con monocultivo de maíz para grano, híbrido semi-tardío, sembrado en densidad de 76.500 plantas ha^{-1} . Los tratamientos incluyeron: un testigo T_0 , sin fertilización PK; un T_1 , con 26 kg ha^{-1} de P y 66 kg ha^{-1} de K y un T_2 con 52 kg ha^{-1} de P y 132 kg ha^{-1} de K, utilizándose superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. Todo se abonó con 350 kg ha^{-1} de N como urea, en dos parcialidades. En cada cosecha fue retirado todo el material aéreo (fitomasa), que fue secado, molido y analizado para N, P y K. El suelo se muestreó anualmente, al inicio de cada temporada, analizándose principalmente P y K. Los resultados

indicaron que el monocultivo de maíz por cuatro años no produjo deterioro de la fertilidad fosfórica ni potásica cuando no fueron adicionados los nutrientes respectivos. La aplicación de fósforo significó un incremento del índice de P del suelo a una tasa de $0,5$ y $1,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los tratamientos T_1 y T_2 , respectivamente. El potasio disponible se vio incrementado en 4 y 7 mg kg^{-1} de K en T_1 y T_2 por efecto de la fertilización, la que tuvo claro impacto en la nutrición del cultivo, incrementando el requerimiento interno de P, pero no el de K. El aumento de P en los tejidos de la planta produjo repercusión en el rendimiento, aumentándolo al pasar de T_0 a T_1 , pero manteniéndose sin variación con T_2 . Se calcularon las fracciones de recuperación aparente de los nutrientes P y K y la extracción total de cada uno.

Palabras claves: maíz, fertilización de largo plazo, fertilización P y K, extracción de P y K del suelo, recuperación aparente de P y K, residualidad de P y K del fertilizante.

LITERATURA CITADA

BULLOCK, D.G. 1990. Grain yield, stalk rot, and mineral concentration of fertigated corn as influenced by N P K. *Journal of Plant Nutrition* 13(8): 915-937.

DENNIS, F. 1993. Nitrogen loss from corn plants during grain fill. *Better Crops with Plant Food*. Spring, 1993.

- FAN, M.X. and MACKENZIE, A.F. 1994. Corn yield and phosphorous uptake with banded urea and phosphate mixtures. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 249-255.
- FERNÁNDEZ del P., M. 1993. Influencia de la fertilización fosfatada y potásica en el efecto residual de esos nutrientes en un suelo aluvial calcáreo de la serie Santiago. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental La Platina, Programa Fertilidad de Suelos. Santiago, Chile. *Informe Técnico 1992-1993*. p.: 23-34.*
- FERNÁNDEZ del P., M. 1995. Fertilización nitrogenada y su eficiencia en maíz de grano. *Simiente (Chile)* 65 (1-3): 122-132.
- JANSSEN, K. and WHITNEY, D. 1995. Crop residue removal and fertilizer effects on crop yield and soil sustainability. *Better Crops* 79 (2): 4-6.
- NOVOA, R. and LOOMIS, R.S. 1981. Nitrogen in plant production. In: Monteith, J. and Webb, C. (ed.). *Soil water and nitrogen in mediterranean-type environments*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher. The Hage. The Netherlands. p.: 177-204.
- OBREZA, T.A. and RHOADS, F.M. 1988. Irrigated corn response to soil-test and fertilizer nitrogen, phosphorous, potassium, and magnesium. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 701-706.
- RAUN, W.R., SANDER, D.H. and OLSON, R.A. 1987. Phosphorus fertilizer carriers and their placement for minimum till corn under sprinkler irrigation. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1.055-1.062.
- REN-GANG, L. and BARBER, S.A. 1988. Effect of phosphorus and potassium fertilizer on crop response and soil fertility in a long-term experiment. *Fertilizer Research* 15: 123-136.
- RHEM, G.W., SORENSEN, R.C. and WEISE, R.A. 1983. Application of phosphorus, potassium, and zinc to corn grown for grain or silage: nutrient concentration and uptake. *Soil Science Society of America Journal*, 47: 697-700.
- RODRÍGUEZ S., J. 1993. La fertilización de los cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 291 p.
- SADZAWKA R., A., NOVOA S-A., R. y LETELIER A., E. 1992. Efecto de veintisiete años de fertilización en las características químicas de un suelo Mollisol aluvial regado por el río Maipo, Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 52(4): 403-410.
- TOLLENAAR, M. 1989. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959-1988. *Crop Science* 29(6): 1.365-1.371.
- TUKEY, H.B. JR. 1970. The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 21: 305-324.

*La información contenida en este documento es sólo accesible a través de su autor o de autoridades del INIA.