

EFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN INORGÁNICA CON N, P, K Y FUENTE ORGÁNICA (ESTIÉRCOL DE BROILER) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ Y LA FERTILIDAD DEL SUELO

Effect of different doses of N, P, K inorganic fertilization and organic source (poultry litter) on maize production and soil fertility

Juan Hirzel¹*, Nicasio Rodríguez¹, Erick Zagal²

ABSTRACT

The availability of broiler manure (CB), a mix of broiler litter and wood shavings, has steadily increased as result of the higher poultry production. The use of broiler manure as a soil fertilizer decreases contamination of storage area, and at the same time improves soil fertility. In this study macronutrients, pH, organic matter (OM) and electrical conductivity (EC) of soil and corn silage (*Zea mays* L.) production were compared, obtained with two sources of N:P₂O₅:K₂O; CB and inorganic fertilizers (urea, triple superphosphate (TPS), potassium chloride (KCl)) in volcanic ash soils of the VII and VIII Region, Chile, in a Vitrandepts and a Typic Melanoxerands soils, respectively. Both fertilizer sources were applied at a rate of 192:150:141 and 384:300:282 kg N:P₂O₅:K₂O ha⁻¹. Additionally, macronutrient concentration in the silage corn was measured at harvest. Changes in chemical fertility were measured at 0-20 cm soil depth in the Vitrandepts soil and at 0-20 and 20-40 cm in the Typic Melanoxerands soil. Results indicated that in the Vitrandepts soil corn DM and the available P Olsen level were improved significantly with the CB application rates, and Mg exchange level was reduced with urea in higher doses. In the Typic Melanoxerands soil no significant differences were found in all these parameters, although an increase in P Olsen levels was observed.

Key words: corn, fertilization, poultry litter, *Zea mays* L.

RESUMEN

La disponibilidad de cama de broiler (CB), mezcla de estiércol de broiler sobre viruta, ha aumentado sostenidamente debido a la mayor producción de carne de ave. El uso de este producto como fertilizante disminuye la contaminación desde zonas de acumulación y a la vez mejora la fertilidad de los suelos. En este estudio se comparó el nivel de macronutrientes, pH, materia orgánica (MO) y conductividad eléctrica (CE) del suelo y la producción de MS de maíz (*Zea mays* L.), para ensilaje obtenidos con la aplicación de dos fuentes de N:P₂O₅:K₂O: CB y fertilizantes inorgánicos (urea, superfosfato triple (SFT) y muriato de potasio (KCl)), en suelos de origen volcánico de la VII y VIII Región de Chile, correspondientes a un Vitrandepts y Typic Melanoxerands, respectivamente. En ambas fuentes de N:P₂O₅:K₂O, las dosis evaluadas correspondieron a 192:150:141 y 384:300:282 kg ha⁻¹. Adicionalmente se evaluaron los contenidos de macronutrientes en las plantas de maíz para ensilaje a la cosecha. Las evaluaciones de fertilidad química del suelo se realizaron en las estratas de 0-20 cm en el suelo Vitrandepts, y 0-20 y 20-40 cm en el suelo Typic Melanoxerands. Los resultados obtenidos, posteriores a la cosecha, indicaron que en el suelo Vitrandepts la producción de MS y el nivel de P Olsen fueron mejorados con la aplicación de CB, en tanto que el nivel de Mg intercambiable disminuyó con la dosis más alta de urea. En el suelo Typic Melanoxerands no se obtuvieron diferencias concluyentes para los parámetros evaluados, aunque se observó un aumento en el nivel de P Olsen.

Palabras clave: maíz, fertilización, cama de broiler, *Zea mays* L.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. E-mail: jhirzel@quilamapu.inia.cl *Autor para correspondencia.

² Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile. Recibido: 03 de febrero de 2003. Aceptado: 2 de agosto de 2003.

INTRODUCCIÓN

La producción avícola nacional ha crecido sostenidamente en la última década, destacando el aumento de aves broiler desde 111.374.000 a 183.005.000 unidades, entre los años 1992 y 2000, respectivamente, llegando a superar la producción de carnes rojas (ODEPA, 2002). Los desechos generados en las camas de crianza deben ser derivados hacia sistemas de eliminación, o ser empleados con otros fines, dentro de los cuales destaca el uso agropecuario, tanto como alimento de ganado como fertilizante. La cama de broiler (CB) es la mezcla de estiércol de broilers mezclado con la viruta que se usa como cama. Actualmente existe un bajo nivel de conocimiento de uso de este subproducto como fertilizante, situación que se ha generado por la escasa información disponible de los resultados productivos y de efectos residuales de algunos nutrientes en el suelo. Algunos trabajos han señalado un efecto positivo principalmente en los niveles de P disponible al emplear fertilizantes de origen orgánico, por la mineralización del C asociado que libera radicales orgánicos que reaccionan con los minerales del suelo, liberando P nativo, que contribuye a aumentar el nivel de P disponible (Sharpley, 1996; Rojas, 1998). Esta situación se puede traducir en una ventaja para suelos originados de cenizas volcánicas, en los cuales existe una alta retención de P (Rodríguez, 1993; Beck *et al.*, 1998) y por tanto, bajos niveles de disponibilidad para este nutriente.

Al respecto, Sharpley (1996) indicó aumentos de 112 a 393 mg P kg⁻¹, respecto a cada testigo no tratado en un estudio de niveles de P disponible en los cinco cm superficiales de suelo (método Mehlich 3), en 13 suelos de Texas y Oklahoma, EE.UU., como resultado de agregaciones anuales y continuas de CB, con dosis de 4,5 a 9 t ha⁻¹, durante períodos variables de 12 a 35 años en cada suelo. Por otra parte, Robbins *et al.* (2000) señalaron que la agregación de fuentes orgánicas de P en suelos calcáreos disminuyó la retención de este nutriente, en relación al uso de fuentes inorgánicas.

El crecimiento señalado en la industria avícola continuará generando mayores cantidades de este

subproducto, para el cual se debe encontrar utilizaciones viables, productivas y seguras, que disminuyan los riesgos de contaminación ambiental derivados de la acumulación no controlada de estiércol, como se ha señalado en otros países (Sharpley *et al.*, 1993).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto, tanto a nivel productivo como a nivel de suelos, del uso de CB como fuente de N:P₂O₅:K₂O en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), para dos suelos de origen volcánico de las Regiones VII y VIII de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la temporada 2001-2002 se realizó un ensayo de fertilización en dos suelos originados de cenizas volcánicas, ubicados en San Clemente, VII Región (35°25' lat. Sur; 71°20' long. O.) y en Chillán, VIII Región (36°32' lat. Sur; 71°55' long. O), correspondiendo a las series Maulecura (Vitrandepts) y Arrayán (Typic Melanoxerands), respectivamente (CIREN, 1983; CIREN, 1999). En este ensayo se evaluaron dosis y fuentes de N:P₂O₅:K₂O, principalmente sobre la producción de MS y sobre la fertilidad residual de P. Adicionalmente se evaluó el contenido de macronutrientes en el tejido vegetal al momento de la cosecha y la fertilidad residual de macronutrientes en el suelo.

El cultivo utilizado fue maíz (*Zea mays* L.) para ensilaje, sembrado los días 26 y 31 de octubre de 2001, en Chillán y San Clemente, respectivamente, con una dosis equivalente a 100.000 semillas ha⁻¹. Las variedades utilizadas fueron INIA 160 (INIA) en Chillán, y México (SEMAMERIS) en San Clemente. El manejo general del cultivo correspondió al realizado normalmente en el valle regado, modificando solamente la fertilización empleada, con lo cual se constituyeron los tratamientos. La desinfección de semillas se realizó con acephato (Orthene 80 ST, 800 g/100 kg de semilla), y el control de malezas se realizó con atrazina (Atrazina 500 SC, 2 L ha⁻¹) más dimethenamid (Frontier, 1,75 L ha⁻¹). Los análisis químicos de ambos suelos utilizados en el ensayo (Cuadro 1) se realizaron en el Laboratorio de Diagnóstico Nutricional del Centro Experimental Quilamapu (Chillán), perteneciente al Ins-

tituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La metodología para el análisis de suelos fue: Walkey y Black (materia orgánica), potenciometría en suspensión acuosa 1:2,5 (pH), conductivimetría en suspensión acuosa 1:5 (conductividad eléctrica), extracción con KCl 2 N y determinación por colorimetría con inyección de flujo segmentado (nitrógeno disponible), bicarbonato de sodio 0,5 N a pH 8,5 y determinación por colorimetría con inyección de flujo segmentado (fósforo disponible), extracción con acetato de amonio 1 N pH 7,0 y determinación por espectrofotometría de emisión atómica (potasio disponible).

El diseño experimental correspondió a bloques al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticio-

nes. Las parcelas experimentales tuvieron una dimensión de 17,5 m². Los tratamientos de fertilización se indican en el Cuadro 2, dirigiendo la dosificación de las fuentes fertilizantes a un aporte de 192:150:141 y 384:300:282 kg ha⁻¹ de N:P₂O₅:K₂O, empleando urea (45% de N), superfosfato triple (46% de P₂O₅), muriato de potasio (60% de K₂O), como fuentes inorgánicas, y CB (2:1,56:1,47% de N:P₂O₅:K₂O, respectivamente, base peso fresco) como fuente orgánica, resultando en dosis de 9,615 y 19,23 t ha⁻¹ de CB en los tratamientos con fertilización de origen orgánico. Las características químicas de la CB utilizada se indican en el Cuadro 3, y se determinaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos del Centro Experimental La Platina (Santiago), perteneciente al INIA.

Cuadro 1. Análisis inicial de los suelos utilizados en el ensayo; profundidad de 0 a 20 cm.

Table 1. Initial soil chemical analysis at 0 to 20 cm depth in the experimental sites.

Elemento medido	Serie Maulecura (San Clemente)	Serie Arrayán (Chillán)
Materia orgánica, %	5,8	6,1
pH, medido al agua	6,3	6,4
Nitrógeno inorgánico, mg kg ⁻¹	5,0	19,0
Fósforo disponible Olsen, mg kg ⁻¹	12,0	14,0
Potasio disponible, mg kg ⁻¹	44,1	124,0

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización utilizados en el ensayo.

Table 2. Experiment fertilization treatments used.

Tratamientos	Tipo de fertilización	Aporte de N (kg ha ⁻¹)	Aporte de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)a	Aporte de K ₂ O (kg ha ⁻¹)
T1	Ninguna (testigo)	0	0	0
T2	Inorgánica (Urea + SFT + KCl)	192	150	141
T3	Inorgánica (Urea + SFT + KCl)	384	300	282
T4	Orgánica (CB)	192	150	141
T5	Orgánica (CB)	384	300	282

SFT: superfosfato triple; KCl: muriato de potasio; CB: cama de broiler (estiércol con viruta).

Cuadro 3. Análisis químico de la cama de broiler (CB).

Table 3. Chemical analysis of the poultry litter (CB).

Característica	Valor
Materia seca, % bpf	70,0
Materia orgánica, % bps	68,0
Nitrógeno total, % bpf	2,0
Fósforo total, % P ₂ O ₅ bpf	1,56
Potasio total, % K ₂ O bpf	1,47

bpf: base peso fresco; bps: base peso seco.

Las dosis de N y K empleadas en cada tratamiento de fertilización inorgánica (tratamientos 2 y 3), correspondieron al equivalente de estos nutrientes aportado con la CB en los tratamientos 4 y 5, respectivamente. En el tratamiento 1 no se fertilizó, con lo cual se constituyó como testigo sin fertilización. Para efectos estadísticos, la aplicación de las fuentes fertilizantes se realizó completamente a la siembra del cultivo en cada localidad, incluyendo todo el N, P y K, puesto que la CB no se puede parcializar.

La cosecha de las plantas se realizó al estado de grano pastoso, equivalente a un 30% de humedad (Ruiz, 1993). Las fechas de cosecha fueron el 7 y 21 de marzo de 2002, en San Clemente y Chillán, respectivamente. Cada muestra consistió en cinco plantas por parcela, a las cuales se les determinó MS a través del secado en horno a una tempe-

ratura de 65°C por un período de 72 h, y contenido de N, P, K, Ca y Mg, a través de análisis de tejidos (digestión de muestra y determinación por destilación y titulación automática para N, calcinación de muestra y determinación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica para P, calcinación de muestra y determinación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica para K, Ca y Mg).

Los resultados se presentan en los Cuadros 4 y 5, para las localidades de San Clemente y Chillán, respectivamente. En las mismas fechas se colectaron muestras de suelo para análisis químico a una profundidad de 0 a 20 cm en la localidad de San Clemente, y a dos profundidades, 0 a 20 y 20 a 40 cm en la localidad de Chillán. Los resultados se presentan en el Cuadro 6 para el suelo usado en San Clemente, y en el Cuadro 7 y 8 para el suelo

Cuadro 4. Producción de MS total del maíz para ensilaje (parte aérea + raíces) y contenidos de N, P, K, Ca y Mg en maíz, al momento de madurez para ensilaje, localidad de San Clemente.

Table 4. Corn silage DM production (aerial + roots) and N, P, K, Ca, Mg aerial dry matter concentrations at silage maturity, locality of San Clemente.

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	CV, %
MS, t ha ⁻¹	10,38 c	15,88 b	19,25 ab	17,07 ab	20,11 a	14,40
MS, g planta ⁻¹	104,8 c	160,4 b	194,4 ab	172,4 ab	203,1 a	14,40
N, %	0,47 a	0,49 a	0,53 a	0,49 a	0,55 a	15,62
P, %	0,17 ab	0,14 bc	0,12 c	0,18 ab	0,19 a	16,22
K, %	0,63 b	0,63 b	0,76 a	0,80 a	0,84 a	10,84
Ca, %	0,18 ab	0,19 ab	0,20 a	0,16 b	0,18 ab	12,44
Mg, %	0,18 a	0,16 a	0,16 a	0,16 a	0,17 a	7,13

CV: coeficiente de variación. Letras distintas en las filas indican diferencia significativa según test DMS ($p < 0,05$).

T1: testigo; T2: fert. inorgánica; T3: fert. inorgánica; T4: fert. orgánica; T5: fert. orgánica.

Cuadro 5. Producción de MS total (parte aérea + raíces) y contenidos de N, P, K, Ca y Mg en maíz, al momento de madurez para ensilaje, localidad de Chillán.

Table 5. Corn silage DM production (aerial + roots) and N, P, K, Ca., Mg aerial dry matter concentrations at silage maturity, locality Chillán.

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	CV, %
MS, ton ha ⁻¹	28,57 a	30,60 a	28,31 a	27,00 a	30,80 a	10,70
MS, g planta ⁻¹	287,4 a	307,8 a	284,8 a	271,6 a	309,9 a	10,70
N, %	0,50 b	0,55 ab	0,72 a	0,53 ab	0,59 ab	22,88
P, %	0,14 a	0,14 a	0,14 a	0,15 a	0,14 a	11,83
K, %	1,00 a	0,91 a	1,16 a	0,94 a	0,91 a	15,03
Ca, %	0,16 a	0,19 a	0,22 a	0,19 a	0,16 a	14,81
Mg, %	0,10 b	0,12 ab	0,12 ab	0,13 a	0,12 ab	13,66

Letras distintas en las filas indican diferencia significativa según test DMS ($p < 0,05$).

CV: coeficiente de variación.

T1: testigo; T2: fert. inorgánica; T3: fert. inorgánica; T4: fert. orgánica; T5: fert. orgánica.

usado en Chillán. Los análisis de tejidos (parte aérea más raíces) para determinar MS, P, K, Ca y Mg se realizaron en el Laboratorio de Diagnóstico Nutricional del Centro Experimental Quilamapu, perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Los análisis de N se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo y Foliar de la Universidad de Concepción, ambos ubicados en Chillán.

Los análisis de varianza y test de medias diferencia mínima significativa (DMS) se realizaron con el programa computacional SAS System (SAS Institute, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de MS

Localidad San Clemente. Considerando que la población de maíz a cosecha fue equivalente a 99.000 plantas ha⁻¹, las producciones de MS de los tratamientos correspondieron a 10,3; 15,88; 19,25; 17,07; y 20,11 t ha⁻¹, para el T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente. Estas producciones fueron de nivel medio, debido principalmente a una condición limitante de tipo físico en el suelo (alta presencia de gravas en el perfil, ya que su segundo horizonte es de origen aluvial), aunque también este suelo presentó un bajo nivel de K disponible al inicio del experimento. No obstante, se observó una respuesta en producción de MS frente a dosis crecientes de P₂O₅, como fue señalado por Jahn y Soto (1993) en suelos de origen volcánico, y de K₂O. La producción de MS (Cuadro 4) en el tratamiento T1 sin fertilización fue inferior al resto de aquellos en que se fertilizó, indiferente de la fuente empleada. Cuando se comparan aquellos tratamientos que fueron fertilizados, solamente el T1 es diferente con aquel que recibió la fertilización orgánica máxima T5, encontrándose diferencias cercanas a un 100% de aumento en la producción de MS.

La mayor producción de MS se obtuvo con los tratamientos T5, T4 y T3, similares estadísticamente, y superiores al testigo sin fertilización (T1).

Localidad Chillán. La población de maíz a cosecha fue equivalente a 99.400 plantas ha⁻¹. No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Las producciones de MS de los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 correspondieron a 28,57; 30,60; 28,31; 27,00; y 30,80 t ha⁻¹, respectivamente, las cuales fueron comparables a las obtenidas por Soto *et al.* (2002), a nivel experimental y bajo similares condiciones de manejo. No obstante, cabe destacar la alta producción de MS obtenida en el tratamiento testigo sin fertilización, lo cual se podría explicar dado el buen nivel de fertilidad inicial que presentaba el suelo, como fue señalado por Alvarado y Buol (1985) para un suelo del tipo Andepts.

Concentración de N en las plantas. En la localidad de San Clemente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 4).

En la localidad de Chillán (Cuadro 5), si bien se presentaron diferencias significativas en las concentraciones de N, dichas diferencias tuvieron un comportamiento errático, lo cual no permitió obtener resultados concluyentes. En consecuencia, las mayores dosis de N empleadas en los tratamientos T3 y T5, no se tradujeron en una concentración de N estadísticamente mayor a la obtenida en las plantas de T2 y T4, que recibieron dosis inferiores de N; sólo hubo diferencia entre T3 y T1.

En general, los contenidos de N en las plantas obtenidos en ambas localidades fueron inferiores a los obtenidos por Soto *et al.* (2002), en maíz para ensilaje fertilizados con dosis de N entre 300 y 450 kg ha⁻¹.

Concentración de P en las plantas. En la localidad de San Clemente, la mayor concentración de P en las plantas de maíz (Cuadro 4) se obtuvo en el tratamiento T5, el cual sólo fue estadísticamente superior a T2 y T3. La menor concentración de P se obtuvo en el T3, que a su vez manifestó una de las mayores producciones de MS, lo cual pudo haber generado un efecto de dilución en el P interno de las plantas, situación que no se produjo en T5. Las mayores dosis de P₂O₅ empleadas en

los tratamientos T3 y T5, sólo se manifestaron en una mayor concentración de P en las plantas del T5, cuya fuente de P_2O_5 fue CB.

En la localidad de Chillán (Cuadro 5) no se obtuvieron diferencias estadísticas en las concentraciones de P en las plantas de los diversos tratamientos, lo cual coincidió con las producciones de MS obtenidas.

En ambas localidades, las concentraciones de P en la planta entera de maíz fueron superiores a las obtenidas por Ruiz (1993) en hojas verdes, para el mismo estado de madurez de cosecha. Este antecedente es importante cuando se quiere utilizar el análisis químico de hojas verdes como índice nutricional de este cultivo.

Concentración de K en las plantas. En la localidad de San Clemente (Cuadro 4) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de K, siendo mayor el valor obtenido en los tratamientos T3, T4 y T5, y estadísticamente inferior en T1 y T2. Estos resultados concuerdan con el bajo nivel de K disponible que presentaba el suelo al inicio del ensayo. Cabe destacar que en los tratamientos T2 y T4 se empleó la misma dosis de K, sin embargo, con la fertilización a través de CB en T4 se logró una mayor concentración de K dentro de las plantas.

En la localidad de Chillán no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro (Cuadro 5).

Concentración de Ca en las plantas. En la localidad de San Clemente sólo se obtuvo diferencia estadística entre T3 y T4, siendo mayor la concentración de Ca en las plantas de T3 (Cuadro 4). En la localidad de Chillán no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro (Cuadro 5).

Concentración de Mg en las plantas. En la localidad de San Clemente no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro (Cuadro 4). En la localidad de Chillán sólo se obtuvo diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos T4 y T1, siendo mayor la concentración de Mg en las plantas de T4 (Cuadro 5).

Nivel de P Olsen en la estrata de 0 a 20 cm de suelo al momento de la cosecha. En la localidad de San Clemente el mayor nivel de P Olsen se obtuvo en T5 (Cuadro 6), que fue estadísticamente diferente a T4, T3 y T2, que a su vez resultaron estadísticamente similares, pero superiores a T1. Las mayores dosis de P_2O_5 empleadas sólo se vieron reflejadas en T5, cuya fuente de P_2O_5 fue el CB. Este aumento en el nivel de P Olsen frente a la aplicación de fuentes orgánicas complementa los resultados señalados por otros investigadores, para mediciones de P disponible (método Mehlich 3) (Sharpley *et al.*, 1993; Sharpley, 1996).

Cuadro 6. Análisis químico de suelo (0 a 20 cm) al momento de la cosecha del maíz en la localidad de San Clemente.

Table 6. Soil chemical analysis at moment of corn harvest (0 to 20 cm) in the locality of San Clemente.

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	CV, %
MO, %	5,75 a	5,83 a	5,98 a	5,77 a	6,10 a	9,50
pH, medido al agua	6,34 a	6,06 b	6,19 ab	6,34 a	6,23 a	1,70
N inorgánico, mg kg ⁻¹	14,30 b	38,30 a	18,80 ab	28,00 ab	19,80 ab	49,90
P Olsen, mg kg ⁻¹	12,00 c	13,20 bc	13,90 bc	16,10 b	23,00 a	13,00
K disponible, mg kg ⁻¹	70,2 a	58,5 a	58,5 a	66,3 a	62,4 a	21,10
K de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	0,18 a	0,15 a	0,15 a	0,17 a	0,16 a	21,10
Ca de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	7,05 a	7,28 a	6,43 a	7,52 a	7,14 a	5,43
Mg de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	1,91 a	1,86 a	1,57 b	2,07 a	1,85 a	9,70
S disponible, mg kg ⁻¹	9,40 a	11,30 a	9,30 a	12,30 a	11,80 a	40,10
CE, mmhos cm ⁻¹	0,096 a	0,108 a	0,094 a	0,098 a	0,090 a	21,70

Letras distintas en las filas indican diferencia significativa según test DMS ($p < 0,05$).

CV: coeficiente de variación.

MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.

En la localidad de Chillán (Cuadro 7) los mayores valores de P disponible se observaron en T4 y T5, sin embargo, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas a los valores obtenidos en T1, T2 y T3. La mayor dosis de P_2O_5 de origen inorgánico empleada en T3 respecto a T2, no se tradujo en diferencias estadísticas en el P Olsen, a diferencia de los resultados obtenidos por Spratt *et al.* (1980).

La Figura 1 muestra el aumento en el nivel de P Olsen en la estrata de 0 a 20 cm de suelo, de cada tratamiento respecto al testigo, para ambas localidades. El mayor aumento en el nivel de P Olsen se obtuvo en la localidad de San Clemente, no

obstante, los resultados obtenidos fueron inferiores a los señalados por Rodríguez y Silva (1982) para suelos de la zona central, debido a que en los suelos originados de cenizas volcánicas como los usados en este experimento, presentan una mayor retención de P (Rodríguez, 1993).

Nivel de P Olsen en la estrata de 20 a 40 cm de suelo al momento de la cosecha. Estas mediciones se realizaron solamente en la localidad de Chillán (Cuadro 8) que presentó un perfil de suelo más profundo. Si bien se observaron valores mayores de P Olsen en T4 y T5, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 7. Análisis químico de suelo (0 a 20 cm) al momento de la cosecha del maíz en la localidad de Chillán.
Table 7. Soil chemical analysis at moment of corn harvest (0 to 20 cm) in the locality of Chillán.

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	CV, %
MO, %	6,45 ab	6,35 ab	6,10 c	6,20 c	6,58 a	1,22
pH, medido al agua	6,50 a	6,58 a	6,54 a	6,81 a	6,75 a	2,06
N inorgánico, mg kg ⁻¹	15,30 a	9,50 ab	6,80 b	12,50 a	10,50 ab	14,33
P Olsen, mg kg ⁻¹	14,00 a	14,30 a	14,50 a	16,00 a	15,00 a	2,65
K disponible, mg kg ⁻¹	67,47 a	63,57 a	73,32 a	65,52 a	94,77 a	15,87
K de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	0,173 a	0,163 a	0,188 a	0,168 a	0,243 a	15,87
Ca de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	6,093 a	6,445 a	6,938 a	7,925 a	7,423 a	26,80
Mg de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	0,453 ab	0,388 b	0,465 ab	0,543 a	0,510 ab	8,78
S disponible, mg kg ⁻¹	22,17 a	21,09 a	17,74 a	19,11 a	19,52 a	24,00
CE, mmhos cm ⁻¹	0,063 a	0,056 a	0,054 a	0,061 a	0,059 a	13,10

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas según test DMS ($p < 0,05$).

CV: coeficiente de variación.

MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.

Cuadro 8. Análisis químico de suelo (20 a 40 cm) al momento de la cosecha del maíz en la localidad de Chillán.

Table 8. Soil chemical analysis at moment of corn harvest (20 to 40 cm) in the locality of Chillán.

Elemento	T1	T2	T3	T4	T5	CV, %
MO, %	5,73 a	5,40 a	5,77 a	5,90 a	5,93 a	4,80
pH, medido al agua	6,51 a	6,46 a	6,53 a	6,71 a	6,73 a	1,36
N inorgánico, mg kg ⁻¹	8,80 a	9,30 a	9,00 a	8,30 a	12,30 a	19,13
P Olsen, mg kg ⁻¹	9,00 a	10,30 a	8,80 a	12,00 a	12,00 a	9,07
K disponible, mg kg ⁻¹	64,35 a	57,72 a	62,4 a	63,57 a	81,9 a	15,38
K de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	0,165 a	0,148 a	0,160 a	0,163 a	0,210 a	15,38
Ca de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	4,77 a	4,95 a	5,01 a	5,85 a	6,34 a	11,60
Mg de intercambio, cmol(+) kg ⁻¹	0,350 a	0,308 a	0,373 a	0,390 a	0,428 a	14,70
S disponible, mg kg ⁻¹	26,17 a	29,38 a	22,51 a	22,72 a	24,06 a	28,20
CE, mmhos cm ⁻¹	0,052 a	0,055 a	0,056 a	0,056 a	0,060 a	19,2

Letras distintas en las filas indican diferencias significativas según test DMS ($p < 0,05$).

CV: coeficiente de variación.

MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica.

Nivel de disponibilidad de otros nutrientes en la estrata de 0 a 20 cm de suelo al momento de la cosecha. En la localidad de San Clemente (Cuadro 6) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH, resultando mayores valores en T1, T4 y T5, que a su vez fueron solamente superiores a T2. Esta diferencia podría explicarse por la utilización de urea en T2, la cual produce acidificación de suelos (Rodríguez, 1993). El N solamente presentó una diferencia clara entre T2 y T1, los demás tratamientos resultaron ser estadísticamente similares a T2 y T1, lo cual no tiene relación con las producciones de MS obtenidas. El Mg mostró los mayores valores en T1, T2, T4 y T5, que fueron estadísticamente mayores a T3. Dichos valores podrían explicarse por la baja concentración de Mg presente en la CB.

Los mayores valores obtenidos en pH y Mg disponible en el suelo frente a la aplicación de CB, coinciden con los resultados señalados por López *et al.* (2002), en su trabajo con aplicación de estiércol de corral sobre suelo con pradera mixta. Los niveles de Ca, S y CE no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

En la localidad de Chillán (Cuadro 7) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de MO, presentando el mayor valor en T5, que sólo fue estadísticamente superior a T3 y T4, lo cual puede explicarse por el aporte de C generado con la considerable dosis de CB usada en T5. No obstante, en T4 no se presentó esta situación. El N presentó diferencias estadísticamente significativas sólo entre T4, T1 y T3, siendo inferior en este último tratamiento. Los

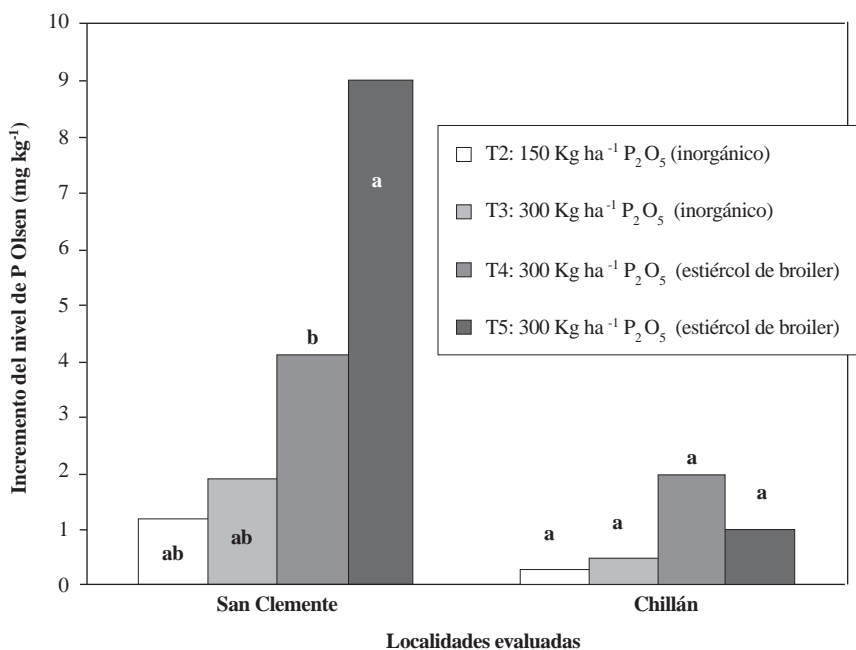


Figura 1. Incremento del P Olsen del suelo respecto del testigo sin fertilización en las localidades de San Clemente y Chillán.

Figure 1. Increment of soil P Olsen of fertilized treatments in relation to the control without fertilization in San Clemente and Chillán.

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas según test DMS ($p < 0,05$).

resultados obtenidos en el nivel de N mineral no fueron consistentes con las dosis de N empleadas en cada tratamiento. El Mg mostró el mayor valor en T4, que sólo fue estadísticamente superior a T2. Al igual que para el N mineral, los resultados obtenidos en el nivel de Mg intercambiable no fueron consistentes con las dosis de fertilización empleadas en cada tratamiento, puesto que en T3 y T5 se habría esperado un menor nivel de Mg producto de la competencia generada con el K usado en alta dosis en ambos tratamientos (Tisdale *et al.*, 1999).

En ambas localidades la CE fue baja y estadísticamente similar entre los tratamientos, lo cual indicó que la CB no causó efectos salinos en el suelo para ninguna de las dos dosis evaluadas, por lo tanto, al ser aplicado correctamente (incorporado previo a la siembra) no causaría daños a los cultivos.

Nivel de disponibilidad de otros nutrientes en la estrata de 20 a 40 cm de suelo al momento de la cosecha. Este análisis se realizó en la localidad de Chillán, donde no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, no obstante cabe destacar el mayor valor de pH obtenido con T4 y T5, lo cual coincidió con los mayores niveles de disponibilidad de bases (K, Ca y Mg) en los mismos tratamientos. La CE fue baja y estadísticamente similar entre los tratamientos, lo cual indicó que la CB, al igual que en la estrata de 0-20 cm, no causó efectos salinos en el suelo para ninguna de las dos dosis evaluadas.

CONCLUSIONES

La producción de MS en el cultivo de maíz para ensilaje sólo respondió a los tratamientos de fertilización en una de las localidades evaluadas (San Clemente), obteniendo la mayor producción con T5, la cual fue solamente superior al resultado obtenido con T1 y T2.

La aplicación de dosis crecientes de $N:P_2O_5:K_2O$ en el cultivo de maíz, a través de fuentes inorgánicas en suelos originados de cenizas volcánicas, permite elevar levemente los niveles de P Olsen.

Al emplear las mismas dosis de $N:P_2O_5:K_2O$ a través de CB, se logra un mayor ascenso en el nivel de P Olsen, observándose algunas diferencias derivadas de las características específicas de cada suelo y del rendimiento obtenido en el cultivo.

La aplicación de CB en suelos originados de cenizas volcánicas, también mejora otras características químicas del suelo, como el pH, y el nivel de bases disponibles, sin alterar la salinidad del suelo.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, A., and S. Buol. 1985. Field estimation of phosphate retention by Andepts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:911-937.
- Beck, M., W. Robarge, and S. Buol. 1998. Phosphorus retention and release of anion and organic carbon by two Andisols. *Eur. J. of Soil Sci.* 50:157-164.
- CIREN. 1983. Descripciones de suelos. Publicación CIREN Nº 45. 186 p. Estudio agrológico complementario semi-detallado VII Región, Tomo 2. Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.
- CIREN. 1999. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación CIREN Nº 121. 288 p. Estudio agrológico VIII Región, Tomo 1. Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.
- Jahn, E., y P. Soto. 1993. Cultivo de maíz para ensilaje. *Revista Agroeconómico* Nº 16. p. 17-22.
- López, M., C. Moirón, and S. Seoane. 2002. Changes in chemical properties of an acid soil after application of dairy sludge. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal* 17(1):77-86. Madrid, España.
- ODEPA. 2002. Beneficio nacional de animales por especie y tipo. *In* Bases de datos. Estadística Macrosectoriales y productivas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. Disponible en: www.odepa.cl Leído el 30 de julio de 2003.
- Robbins, C., L. Freeborn, and D. Westermann. 2000. Organic phosphorus source effects on calcareous soil phosphorus and organic carbon. *J. Environ. Qual.* 29:973-978.
- Rodríguez, J., y H. Silva. 1982. Fertilización del maíz. *El Campesino.* Nº 113. p. 18-22.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos. 291 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Rojas, C. 1998. Manual de interpretación de la disponibilidad de fósforo y acidez y estimación de los requerimientos de fertilización fosfatada y encalado en los suelos de Chile. 43 p. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Departamento de Protección de los Recursos Renovables, Santiago, Chile.
- Ruiz, I. 1993. Características nutritivas de hojas verdes y secas de maíz destinado a ensilaje. *Agric. Téc. (Chile)* 53:356-358.
- SAS Institute. 1989. Usage and reference. Version 6. 501 p. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sharpley, A. 1996. Availability of residual phosphorous in manured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1459-1466.
- Sharpley, A., S. Smith, and W. Bain. 1993. Nitrogen and phosphorus fate long-term poultry litter applications to Oklahoma soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1131-1137.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el Valle Central regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62:255-265.
- Spratt, E., F. Warder, L. Bailey, and D. Read. 1980. Measurement of fertilizer phosphorus residues and its utilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1200-1204.
- Tisdale, S., W.L. Nelson, J.L. Havlin, and J.D. Beaton. 1999. Soil fertility and fertilisers. An introduction to nutrient management. 499 p. 6th ed. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.