



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR



MARZO
2009

CONTENIDO

- FERTILIZACIÓN POTÁSICA INICIAL Y RESIDUAL EN CULTIVOS DE SECANO
- IMPORTANCIA DEL AGUA EDÁFICA COMO ESTIMADOR DEL RENDIMIENTO DE TRIGO
- CONTENIDOS DE FOSFORO TOTAL EN SUELOS DE SANTA FE
- ACIDEZ GENERADA POR LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS
- RENDIMIENTO DE TRIGO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANA
- FERTILIZACIÓN CON N Y S EN LA PRODUCCIÓN DE RAIGRÁS ANUAL

FERTILIZACIÓN POTÁSICA INICIAL Y RESIDUAL EN CULTIVOS DE SECANO EN SUELOS SOBRE ARENISCAS CRETÁCICAS Y TRANSICIONALES

Carlos Bautes¹, Mónica Barbazán² y Licy Beux³

¹Asesor agrícola privado. ² Departamento de Suelos y Aguas, FAGRO. ³ CALMER.
mbarbaz@hotmail.com

La agricultura de Uruguay se realizó tradicionalmente sobre suelos bien provistos de potasio (K). Sin embargo, la creciente expansión agrícola se ha producido hacia suelos con restricciones como son los desarrollados sobre Areniscas Cretácicas que presentan niveles de K intercambiable naturalmente bajos. Este estudio muestra respuestas a la aplicación de K en cultivos de invierno y de verano, tanto en rendimiento en grano, parámetros de calidad y en K removido, en suelos que presentaron niveles de K intercambiable entre 0.18 a 0.37 cmol_c kg⁻¹.

Introducción

La actividad agrícola en Uruguay se ha realizado tradicionalmente sobre suelos caracterizados por presentar niveles naturales medios a altos de K intercambiable (Hernández et al., 1988) y, por lo tanto, existe muy poca información sobre respuesta a la fertilización potásica en cultivos extensivos (Moir y Reynaert, 1962; Castro, 1965; Almada, 2006; Cano et al., 2007). En un relevamiento de cultivos comerciales de maíz, Morón y Baethgen (1996), encontraron concentraciones de K en hoja inferiores a las concentraciones críticas sugeridas en otros países, por lo que se requeriría la fertilización con K. El manejo de este nutriente para la mayoría de los cultivos se ha basado en tomar como niveles críticos tentativos de K intercambiable el rango de 0.20 - 0.25 cmol_c



Respuesta a la fertilización potásica, con agregado de potasio (derecha) y sin aplicación de K (izquierda), en un cultivo de maíz en Uruguay.

Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: www.ipni.net/lasc

Propietario: International Plant Nutrition
Institute (IPNI)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 687220

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño: www.agroeditorial.com.ar - amatthiess@amatthiess.com.ar

Impresión: Grancharoff Impresores



Contenido:

Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre areniscas cretácicas y transicionales	1
La importancia del agua edáfica a la siembra como estimador de los rendimientos del trigo en el área central de Santa Fe	9
Contenidos de fósforo total en suelos del distrito Villa Eloisa (Santa Fe)	11
Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal	16
Rendimiento de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Un modelo predictivo de la respuesta a la fertilización nitrogenada	18
Influencia de la fertilización con nitrógeno y azufre sobre la producción de forraje de raigrás anual	22
Publicaciones y Congresos	26

kg⁻¹ para suelos de texturas medias y de 0.35 cmol_c kg⁻¹ para suelos más pesados. Sin embargo, recientemente se ha producido una creciente expansión agrícola hacia suelos con restricciones para la agricultura, como lo son los suelos desarrollados sobre Areniscas Cretácicas. Estos suelos presentan niveles de K intercambiable naturalmente bajos. En algunos de estos suelos se reportaron bajas concentraciones de K en *Lotus corniculatus* L. lo cual fue atribuido a bajos contenidos de K intercambiable (Barbazán et al., 2007). A nivel de campo, en varios cultivos realizados sobre Areniscas Cretácicas y transicionales se han observado síntomas de posibles deficiencias de K. En plantas de maíz, con amarillamiento y necrosis en hojas inferiores, estos síntomas fueron confirmados con el dato del análisis de laboratorio: plantas con síntomas presentaron 5 g kg⁻¹ (0.5%) de K, y plantas sin síntomas, 10 g kg⁻¹ (1.0%) de K total.

Con el propósito de estudiar la problemática de K en este tipo de suelos, se realizó un relevamiento de K intercambiable en varias chacras, y se instalaron ensayos de respuesta a dosis crecientes de K y su efecto residual en suelos sobre material cretácico en los departamentos de Soriano y Flores.

Materiales y Métodos

Relevamiento de suelos

Durante los meses mayo y junio de 2007 se realizó un muestreo de suelos en 19 chacras comerciales, intentando abarcar una cantidad representativa de suelos desarrollados sobre Areniscas Cretácicas. De un área uniforme de 0.5 ha, se tomaron al azar muestras

compuestas de suelo (15 tomas) a una profundidad de 0-15 cm, que fueron secadas con estufa de aire forzado por 48 horas a 40°C y molidas hasta un tamaño menor a 2 mm. En cada muestra se midió pH en agua por potenciometría y bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) por el método de extracción simple con acetato de amonio 1 M. El contenido de Ca y Mg se determinó por espectrometría de absorción atómica y el de K y Na por espectrometría de emisión (Isaac y Kerber, 1971).

Características de los ensayos

Durante la zafra 2007/2008 se realizaron ensayos de fertilización de K en cebada, soja, maíz y sorgo. Estos sitios se ubicaron en los principales tipos de suelos de la Unidad Cuchilla de Corralito, incluyendo algunos de la Unidad Villa de Soriano y transicionales sobre las Unidades Bequeló y Risso, con valores más altos de K intercambiable, según la Carta de Reconocimiento de Suelos, escala 1:1000.000, (MAP/DSF, 1976). Los tratamientos fueron cinco dosis de potasio aplicado a mano en superficie, usando cloruro de potasio (KCl): 0, 30, 60, 120 y 240 kg ha⁻¹ de K₂O. En todos los sitios se usó un diseño de bloques completos con parcelas al azar y tres repeticiones, el tamaño de las parcelas fue de 3 x 6 m. Todos los ensayos fueron realizados en chacras comerciales, y, excepto por la cantidad de K aplicada y la cosecha, el resto de las prácticas agronómicas y la fertilización de otros nutrientes fueron realizadas por el productor, de acuerdo a su programa de manejo de cultivos recomendado.

En la Tabla 1 se pueden observar las características de los cultivos, manejo anterior, y algunas propiedades químicas de los sitios.

El muestreo de suelos se realizó previo a la instalación de los ensayos (por bloque) y después de la cosecha (por parcela). Las muestras (12-15 tomas a 15 cm de profundidad) se analizaron para pH y bases intercambiables como se describió con antelación, materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (1982) y P extractable por el método de Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945).

En todos los ensayos, la cosecha se realizó en forma manual. En los ensayos de cebada se midió rendimiento, número de espigas por parcela, granos por m², número de granos por espiga, peso de 1000 granos y calidad

de grano (separando en cuatro categorías comerciales). En grano se midió el contenido de K, Ca y Mg, y se estimó el K total extraído por el cultivo. El rendimiento de grano se corrigió a un 13.0% de humedad.

En los ensayos de soja se midió el contenido de K en hoja (la última hoja completamente desarrollada) al estado R2, tomándose 20 hojas por parcela. El rendimiento de grano en soja se ajustó a un 13.0% de humedad y se determinó el contenido de K en grano. En sorgo y maíz se midió rendimiento y peso de mil granos, estimándose el número de granos por metro en maíz. El rendimiento en grano se ajustó a un 14.0% de humedad.

Tabla 1. Identificación de los sitios y cultivos, propiedades químicas y cultivo anterior de los ensayos.

Sitio	Identificación	Cultivo	Hibrido/ Variedad	Fecha siembra	Cultivo antecesor	pH	MO	K	Ca	Mg	P
						agua	%	cmolc kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
1	LF	Cebada	INIA Ceibo	19-jun	Sj-Ceb-Sj-Ave-Sj	6.19	3.34	0.37	20.3	2.67	8
2	ER	Cebada	M. Danuta	27-jun	Ceb-Gir-Tr-Sor-Sj	4.74	1.37	0.18	2.0	0.57	10
3	ES	Cebada	INIA Ceibo	03-jul	Sj-Ceb-Sj-Ave-Sj	5.54	3.10	0.24	9.2	2.00	4
4	LM8B1	Soja 1era.	ADM 5.8i	2 Oct	Ave-Soj-Tr-Sj-Mz	5.37	5.17	0.31	15.73	2.93	3
5	ML14B1	Soja 1era.	A 6019	6- nov	Pr-Pr—Pr-Sorg	5.73	4.17	0.30	11.6	2.50	2
6	ML14C	Soja 1era.	A 6019	6- nov	Pr-Pr-Pr-Sorg	5.46	2.88	0.25	10.0	2.3	3
7	MANCINI	Soja 1era.	A 4910	25 Nov	Sj-Rgr-Tr-Sj-Rgr	6.08	3.17	0.56	6.15	0.88	-
8	LF EXP2	Soja 2da.	A 6126	15 Dic	Sorg-Sj-Ave-Tr	6.19	3.34	0.37	20.3	2.67	8
9	LF EXP1	Soja 2da.	A 6126	15 Dic	Sorg-Sj-Ave-Tr	6.19	3.34	0.37	20.3	2.67	8
10	PEND1	Soja 1era.	A 6001	28 Nov	Pr-Pr-Rgr-Sorg	5.59	3.09	0.34	9.57	1.90	2
11	TALA LM8C	Maíz	DM 2740	6 Oct	Mz-Sj-Tr-Sj-Ave-	5.74	4.5	0.42	21.2	1.83	10
12	LAG Pir 4	Maíz	NK 900	24 Oct	Pr-Pr-Ceb-Sj-Rgr	5.76	5.42	0.48	25.8	4.27	17
13	TALA 1	Sorgo 2da.	M 110	16 Dic	Pr-Tr-Sj-Rgr-Ceb	5.54	3.10	0.24	9.2	2.00	4
14	ES EXP 2	Sorgo 2da.	M 110	16 Dic	Pr-Tr-Sj-Rgr-Ceb	5.54	3.10	0.24	9.2	2.00	4

Tabla 2. Precipitaciones durante la zafra de 2007/08, en las localidades de Mercedes y Tala, incluyendo la media histórica (comprendida entre los años 1961-1990).

Meses	Precipitaciones		
	Localidades		Media histórica (1961-1990)
	Mercedes	Tala	
	-----mm-----		
Marzo	872	511	127
Abril	82	30	91
Mayo	233	279	85
Junio	16	21	60
Julio	5	9	70
Agosto	74	66	65
Septiembre	170	111	85
Octubre	213	179	102
Noviembre	10	16	91
Diciembre	112	40	104
Enero	73	62	-
Febrero	79	40	-
Marzo	78	120	-

Fuente: Meteorología y Redes policiales.

Los análisis de varianza fueron realizados para cada sitio, usando el procedimiento GLM de SAS (SAS, 1985). La suma de cuadrados fue separada en contrastes ortogonales. También se realizó un análisis de la regresión, usando el procedimiento REG de SAS. Las precipitaciones ocurridas en la zona se presentan en la Tabla 2.

Resultados

1. Relevamiento de suelos en chacras comerciales

El pH de los suelos muestreados estuvo entre valores de 5.3 a 6.1, con un promedio de 5.7. Estos valores corresponden a los normalmente encontrados en estos suelos. El nivel de K intercambiable estuvo entre 0.15 a 0.45 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, con un promedio de 0.28. Del total de muestras, el 47% presentó valores de K intercambiable igual o por debajo del nivel crítico tentativo para suelos de texturas medias, 0.25 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Tabla 3).

2. Respuesta a la aplicación inicial de potasio

a) Efecto de la fertilización potásica en rendimiento

Los rendimientos promedios a través de todos los sitios estuvieron en el rango de 1466 a 5238 kg ha^{-1} para cebada, 1175 a 4458 kg ha^{-1} para soja,

6092 a 7966 kg ha^{-1} para maíz y 2274 a 2899 kg ha^{-1} para sorgo (dañado por helada ocurrida el 14 de abril) (Tablas 4 y 5).

En los tres sitios de cebada hubo respuesta significativa ($P < 0.05$) a la fertilización con K (Tabla 4). Los bajos coeficientes de variación de esta variable (menores a 13%) indicarían que los ensayos presentaron una baja variabilidad espacial. El aumento de rendimiento por fertilización con K para los sitios de cebada fue de 1715 kg ha^{-1} de grano para el Sitio 1, y de 1253 kg ha^{-1} para los Sitios 2 y 3, lográndose con las dosis más altas aplicadas (120 y 240 kg ha^{-1} de K_2O , o sea aproximadamente dosis de 100 y 199 kg ha^{-1} de K expresado como elemento).

Los contrastes ortogonales muestran que hubo respuesta hasta la dosis de 60 unidades de K_2O en los Sitios 1 y 2, mientras que en el Sitio 3 la respuesta fue hasta la dosis de 120 unidades ($P < 0.01$) (Tabla 4). Los parámetros de calidad de grano de cebada (grano de 1era, 2da, 3era, 4ta, y la suma de 1era y 2da) indicaron respuesta a K ($P < 0.05$), con un aumento en los granos de 1era y 2da. En el número de tallos sólo se observó respuesta a K en un sitio (Sitio 2, con el nivel más bajo de K inicial).

Las respuestas al agregado de K en los Sitios 2 y 3 se explicarían por los niveles de K intercambiables (0.18 y 0.24 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) inferiores al rango sugerido. Los suelos de los Sitios 1 y 3 presentaron, además, una

Tabla 3. Valores de pH y bases intercambiables (Ca, Mg y K) en 19 sitios sobre Areniscas Cretácicas.

Sitios	Fecha de muestreo	pH	Ca	Mg	K
		(agua)	$\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$		
Mercedes, Ruta 2	27 Mayo	6.10	11.6	2.2	0.39
Mercedes, Ruta 2 Oeste	27 Mayo	5.94	9.8	1.8	0.25
Paraje Bizcocho, Ruta 2	27 Mayo	5.42	8.7	1.6	0.27
Corralito	27 Mayo	5.55	5.4	1.1	0.28
Paraje Bequeló	27 Mayo	5.49	5.7	1.0	0.24
Cabelludo ML 14	27 Mayo	5.80	11.1	2.2	0.25
Cabelludo Campo natural degradado	27 Mayo	6.05	12.2	3.0	0.32
Cabelludo ML17	27 Mayo	5.91	12.6	2.5	0.42
Laguna P6	27 Mayo	5.98	19.3	3.9	0.45
Tala Alb 95 B	1 Junio	5.92	11.5	2.6	0.23
Tala LM 8BLS	1 Junio	5.74	19.2	2.4	0.32
Tala LM 8ALS	1 Junio	5.87	20.5	2.2	0.37
Cabelludo ML9	1 Junio	5.69	13.7	2.1	0.26
Tala Alb 55 B	1 Junio	5.60	7.1	1.7	0.15
Tala Sauco 4B	1 Junio	5.55	8.8	1.9	0.20
Flores 12 LB	31 Mayo	5.30	3.2	0.8	0.17
Tala LF 18	1 Junio	5.74	12.3	2.7	0.23
Tala LF13 LW	1 Junio	5.83	14.6	3.2	0.28
Tala S5 a	1 Junio	5.58	10.3	1.9	0.20
Media	-	5.74	11.4	2.1	0.28
Desvío Estándar	-	0.22	4.69	0.77	0.08

baja cantidad relativa de bases totales (Ca, Mg, K y Na) con una saturación de K del 2% de la suma de esas bases. En el Sitio 1, si bien el suelo presentó valores de K mayores al rango tentativo, la relación de Mg/K fue de 7 y la relación Ca/K fue la más alta (cerca a 55). Según Tisdale et al. (1993), la disponibilidad de K para las plantas está relacionada con la concentración

relativa de otros cationes como Ca y Mg en el complejo de intercambio catiónico. Pierre y Bower (1944) encontraron respuesta al agregado de K en suelos calcáreos con niveles adecuados de K intercambiable.

Aunque en todos los cultivos de verano se observó una tendencia de respuesta al agregado inicial de K, sólo fueron significativas en uno de los nueve sitios (Sitio 9),

Tabla 4. Rendimiento en grano de cebada, calidad de grano, número de tallos, K en grano y removido, porcentaje de grano de primera y segunda, y análisis de suelo después de la cosecha para cada tratamiento, efecto fertilización con K y probabilidad obtenida según contraste.

Sitio	Dosis de K (kg K ₂ O ha ⁻¹)					Media	CV%	MDS†	Probabilidad > F				
	0	30	60	120	240				Efecto K	0 & resto	30 vs. 60 y +	60 vs. 120 o 240	120 vs. 240
	Rendimiento (kg ha ⁻¹)												
1	1496	2109	2838	3211	3167	2564	12.3	892.1	0.010	0.010	0.020	0.150	0.870
2	3956	3795	4552	4401	5238	4388	9.8	1217.1	0.020	0.090	0.060	0.410	0.040
3	1466	1840	2249	2547	2690	2157	6.8	413.7	0.010	0.010	0.010	0.010	0.260
	1era.												
1	3.9	10.5	16.8	18.98	24.8	15	14.6	6.2	0.001	0.001	0.008	0.107	0.011
2	9.4	8.5	10.8	14.3	14.3	11.5	23.3	7.6	0.081	0.174	0.318	0.103	0.971
3	50.6	49.5	55.1	59.8	59.9	55	7.6	11.9	0.041	0.075	0.143	0.145	0.966
	2da.												
1	29.6	48.6	55.6	58.4	57.4	49.9	5	7.1	0.001	0.001	0.009	0.247	0.658
2	44.7	44.9	48.8	53.7	54.1	49.2	4.8	6.6	0.002	0.005	0.771	0.016	0.830
3	39.6	40.1	35.6	32.5	32.5	36.1	7.4	7.5	0.018	0.036	0.725	0.140	0.981
	3era.												
1	44	39.9	34	20	15.3	27.3	10	6.7	0.001	0.001	0.002	0.005	0.039
2	34.4	35.9	32.8	26.7	26.6	31.3	10.5	9.3	0.024	0.108	0.282	0.032	0.930
3	8.4	9.1	7.7	6.5	6.4	7.6	16.3	3.5	0.118	0.237	0.204	0.223	0.887
	4ta.												
1	22.3	7.9	3.4	2.5	2.4	7.7	36.6	8.8	0.001	0.001	0.090	0.627	0.954
2	11.5	10.6	7.5	5.1	5.9	7.9	24.4	5.4	0.009	0.008	0.084	0.107	0.871
3	1.38	1.22	15.8	0.92	1.2	1.2	58.5	2.1	0.846	0.751	0.561	0.332	0.692
	1era + 2da (%)												
1	33.6	59.1	72.5	77.4	82.4	65	5.5	10.0	0.010	0.010	0.010	0.020	0.130
2	90.1	89.7	90.8	92.5	92.4	91	1.9	4.8	0.240	0.300	0.460	0.200	0.960
3	54.1	53.4	59.6	67.9	68.5	61	7.4	12.7	0.010	0.020	0.130	0.030	0.890
	Número de Tallos												
1	104	109	126	118	130	117	9.6	31.7	0.098	0.056	0.930	0.783	0.233
2	71	73	73	75.8	75	73.4	9.6	19.9	0.028	0.542	0.922	0.582	0.922
3	81	84	91	99.9	96	90	9	23	0.107	0.064	0.357	0.241	0.592
	K grano (%)												
1	0.54	0.55	0.58	0.56	0.59	0.57	4.3	0.069	0.090	0.061	0.102	0.708	0.520
2	0.53	0.53	0.53	0.52	0.54	0.53	2.9	0.043	0.752	0.805	0.100	0.880	0.215
3	0.52	0.52	0.53	0.56	0.50	0.52	4.3	0.065	0.138	0.487	0.401	0.843	0.022
	K removido (kg de K ₂ O ha ⁻¹)												
1	9.8	13.8	19.7	22.5	22.6	17.7	9.2	4.6	0.001	0.001	0.002	0.039	0.927
2	24.9	24.1	29	27.5	32.6	27.8	10.7	8.4	0.029	0.101	0.078	0.499	0.036
3	9.02	11.3	14.4	16.9	16.2	13.6	9.9	3.8	0.001	0.001	0.023	0.052	0.550
	K en suelo (cmol _c kg ⁻¹)												
1	0.30	0.33	0.30	0.29	0.33	0.31	12.3	0.10	0.520	0.870	0.390	0.330	0.190
2	0.19	0.20	0.20	0.20	0.33	0.22	11.4	0.22	0.003	0.064	0.299	0.001	0.008
3	0.27	0.23	0.27	0.27	0.30	0.27	21.1	0.16	0.594	0.667	0.193	0.254	0.498

† Mínima Diferencia Significativa: P<0.05

con 0.37 cmol_c kg⁻¹ de K intercambiable. Las condiciones ambientales (sequía severa, excepto en los Sitios 4 y 11) habrían enmascarando la respuesta al agregado de K en los cultivos de verano. En los experimentos con maíz existió clorosis potásica hasta V12, y una sequía muy acentuada luego de floración. En los experimentos

de sorgo, una fuerte helada interrumpió el ciclo. La soja de primera, excepto en el Sitio 4, sufrieron severos déficits hídricos en estadios reproductivos, interactuando fuertes presiones de "arañuela" (*Tetranychus urticae*). Al igual que en la soja de primera, la soja de segunda mostró clorosis potásica en orden inverso a los niveles

Tabla 5. Rendimiento en grano, contenido de K en hoja y grano, K removido y K en suelo de cultivos de verano 2007-08 para cada tratamiento, efecto fertilización con K y probabilidad obtenida según contraste.

Sitio	Cultivo	Dosis de K (kg K ₂ O ha ⁻¹)					Media	CV%	MDS†	Contrastes				
		0	30	60	120	240				Efecto K	0 & resto	30 vs. 60 y +	60 vs. 120 o 240	120 vs. 240
		Rendimiento (kg ha ⁻¹)												
4	Soja 1era.	3951	4007	3810	4247	4458	4094	11.7	1348	0.521	0.576	0.627	0.147	0.603
5	Soja 1era.	1480	1531	1767	1830	1883	1698	15.3	735	0.299	0.143	0.299	0.639	0.809
6	Soja 1era.	1278	1420	1581	1502	1175	1391	16.7	666	0.300	0.382	0.427	0.184	0.129
7	Soja 1era.	2067	2715	2034	2237	2251	2260	19.2	1226	0.390	0.412	0.091	0.514	0.970
9	Soja 2da.	1260	1810	2193	2732	2466	2092	16.0	945	0.005	0.001	0.199	0.124	0.360
10	Soja 1era.	1892	1888	1780	1772	1725	1811	9.0	462	0.658	0.369	0.443	0.792	0.735
11	Maíz	7289	7823	7741	7966	7964	7757	11.0	2408	0.850	0.319	0.909	0.720	0.998
12	Maíz	6310	6513	6092	6962	6518	6479	7.9	1444	0.387	0.541	0.343	0.111	0.319
13	Sorgo 2da.	2369	2231	2274	2146	2899	2384	15.2	1022	0.181	0.937	0.888	0.359	0.034
Análisis foliar (%)														
4	Soja 1era.	0.85	0.94	1.03	1.22	1.42	1.09	10.4	0.32	0.002	0.003	0.376	0.006	0.059
5	Soja 1era.	0.83	0.94	0.73	0.79	1.22	0.90	17.3	0.44	0.033	0.415	0.149	0.039	0.009
6	Soja 1era.	0.76	0.91	0.92	1.19	1.08	0.97	9.3	0.26	0.003	0.002	0.931	0.009	0.201
9	Soja 2da.	1.14	1.34	1.49	1.72	1.69	1.47	14.8	0.62	0.057	0.019	0.425	0.208	0.871
10	Soja 1era.	1.11	1.20	1.25	1.36	1.29	1.24	12.5	0.44	0.407	0.132	0.742	0.497	0.563
K grano (%)														
4	Soja 1era.	1.36	1.40	1.44	1.47	1.47	1.43	3.7	0.15	0.091	0.042	0.051	0.460	1.000
5	Soja 1era.	1.34	1.41	1.45	1.46	1.55	1.44	2.1	0.08	0.001	0.001	0.001	0.024	0.006
6	Soja 1era.	1.44	1.38	1.44	1.55	1.53	1.47	3.3	0.01	0.015	0.268	0.058	0.018	0.686
7	Soja 1era.	1.58	1.56	1.59	1.56	1.59	1.58	3.5	0.16	0.701	1.000	0.414	0.291	0.663
9	Soja 2da.	1.25	1.30	1.34	1.39	1.49	1.35	2.9	0.01	0.001	0.001	0.001	0.006	0.013
10	Soja 1era.	1.63	1.58	1.62	1.59	1.60	1.61	2.5	0.11	0.522	0.237	0.351	0.407	0.769
K removido (kg de K ₂ O ha ⁻¹)														
4	Soja 1era.	64.7	67.3	66.0	75.0	78.3	70.3	29.3	25.5	0.337	0.265	0.861	0.134	0.668
5	Soja 1era.	23.7	25.9	30.8	32.1	35.1	29.5	13.4	11.2	0.043	0.022	0.35	0.345	0.376
6	Soja 1era.	21.9	23.5	27.4	27.8	21.6	24.4	17.2	11.9	0.288	0.280	0.483	0.383	0.107
7	Soja 1era.	39.0	51.3	39.0	42.0	42.7	42.8	26.5	24.0	0.436	0.414	0.114	0.595	0.926
9	Soja 2da.	18.7	28.3	35.0	45.3	44.0	34.3	18.3	17.7	0.004	0.001	0.228	0.060	0.801
10	Soja 1era.	37.3	36.0	34.3	34.0	33.3	35.0	9.13	9.01	0.566	0.195	0.541	0.775	0.805
K en suelo (cmol _c kg ⁻¹)														
4	Soja 1era.	0.27	0.31	0.29	0.31	0.34	0.30	19.1	0.16	0.665	0.289	0.636	0.439	0.541
5	Soja 1era.	0.28	0.30	0.29	0.33	0.46	0.33	19.1	0.18	0.051	0.178	0.853	0.050	0.040
6	Soja 1era.	0.26	0.25	0.24	0.26	0.33	0.27	12.1	0.09	0.062	0.494	0.804	0.049	0.036
7	Soja 1era.	0.45	0.54	0.65	0.56	0.69	0.58	11.8	0.19	0.019	0.008	0.080	0.643	0.053
9	Soja 2da.	0.31	0.29	0.33	0.32	0.34	0.32	12.3	0.11	0.590	0.820	0.286	0.907	0.429
10	Soja 1era.	0.38	0.39	0.37	0.40	0.46	0.40	13.7	0.155	0.420	0.570	0.774	0.194	0.242
11	Maíz	0.41	0.43	0.39	0.40	0.47	0.42	6.9	0.08	0.041	0.577	0.128	0.045	0.012
12	Maíz	0.34	0.35	0.39	0.39	0.46	0.39	11.99	0.13	0.080	0.121	0.319	0.293	0.087
13	Sorgo 2da.	0.24	0.22	0.25	0.22	0.32	0.25	23.1	0.16	0.274	0.797	0.590	0.535	0.068

† Mínima Diferencia Significativa: P<0.05

crecientes de potasio.

En el contenido de K en grano se observaron diferencias entre tratamientos sólo en el Sitio 9, cultivo de soja de 2da. (Tablas 4 y 5). En K removido, las diferencias fueron significativas ($P < 0.05$) en los tres sitios de cebada (Tabla 4) y en el Sitio 9. La Tabla 7 muestra datos de extracciones de Ca y Mg en grano para algunos sitios.

b) Efecto de la aplicación de K en la concentración en hoja: ensayos de soja

En la mayoría de los sitios de soja, la fertilización potásica afectó ($P < 0.05$) el contenido de K en la hoja al estado R2 (Tabla 5), con valores promedio entre 0.73% y 1.69% de K. Estas diferencias, sin embargo, no se manifestaron en el rendimiento. En la Tabla 7 se presentan datos de Ca y Mg en hoja.

c) Efecto de la aplicación potásica en el K intercambiable

El análisis de K intercambiable en el suelo después de la cosecha de los ensayos de cebada indicó que prácticamente no hubo efecto al agregado de K en los Sitios 1 y 3. Estos sitios presentaban mayores niveles de K intercambiable inicial, así como valores elevados de Ca, Mg, y Na, en comparación con el suelo del Sitio 2, y mayores contenidos de MO y pH. En cambio, en el Sitio 2, con menor K intercambiable inicial, hubo efecto significativo del agregado de K ($P < 0.01$).

Los incrementos del K intercambiable debido a la fertilización fueron muy bajos (menores a $0.02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Esto podría deberse a varias causas. Por

un lado, al efecto de la absorción de K total por el cultivo, estimado a partir del K medido en grano. Si se asume que al menos el 10% del K total absorbido por la planta es translocado al grano, sólo “sobraría” K para incrementar el K intercambiable en el suelo en la dosis más alta usada en los Sitios 1 y 3, con 0.37 y $0.24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Cabe señalar que la toma de muestras de suelo en los sitios con cebada y en los Sitios 4 y 7 se realizó inmediatamente a la cosecha, por lo que aún no se habría completado el proceso de retorno del K del rastrojo al suelo. En el resto de los sitios de verano, el muestreo se realizó por lo menos dos meses después de la cosecha, por las limitaciones físicas que presentaban los suelos.

3. Efecto residual de la aplicación de K

En dos ensayos se evaluó el efecto residual de la aplicación de K: Sitios 8 (soja de 2da) y 14 (sorgo de 2da). Ambos sitios tuvieron como antecesor el cultivo de cebada, previamente a la instalación de la cebada los valores de K intercambiable fueron de 0.37 y $0.24 \text{ cmol}_c \text{ K kg}^{-1}$. En el cultivo de soja se observó respuesta, tanto en el contenido de K foliar como en rendimiento; mientras que en sorgo, si bien hubo tendencia a responder al K aplicado al cultivo anterior, no se observaron diferencias en rendimiento (sufrió una fuerte helada que interrumpió el ciclo). Tampoco se observaron diferencias entre tratamientos en el contenido de K intercambiable. En la Tabla 6 se presentan datos de K en suelo para el Sitio 15, el cual no se sembró. Ese sitio tenía $0.62 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K intercambiable, y la aplicación potásica no tuvo efectos significativos en los contenidos de K en el suelo, aún sin la presencia de un cultivo.

Tabla 6. Rendimiento en grano, contenido de K en hoja, y K intercambiable en cultivos residuales del verano 2007-08 para cada tratamiento, efecto fertilización con K y probabilidad obtenida según contraste.

Sitio	Cultivo	Dosis de K (kg K ₂ O ha ⁻¹)					Media	CV%	MDS†	Contrastes				
		0	30	60	120	240				Efecto K	0 & resto	30 vs. 60	60 vs. 120 o 240	120 vs. 240
Rendimiento (kg ha ⁻¹)														
8	Soja 2da.	1315	1359	1547	1555	2162	1582	15.3	687	0.017	0.062	0.371	0.109	0.016
14	Sorgo 2da.	2228	2451	3082	2245	2868	2575	18.3	1329	0.189	0.192	0.139	0.153	0.144
Análisis foliar (%)														
8	Soja 2da.	1.12	1.12	1.39	1.45	1.50	1.31	8.1	0.30	0.005	0.008	0.013	0.312	0.535
K grano (%)														
8	Soja 2da.	1.25	1.25	1.23	1.27	1.34	1.27	3.3	0.12	0.098	0.448	0.269	0.047	0.089
K removido (kg de K ₂ O ha ⁻¹)														
8	Soja 2da.	19.8	20.4	22.8	23.7	34.7	24.3	16.1	11.0	0.009	0.058	0.338	0.050	0.009
K en suelo (cmol _c kg ⁻¹)														
8	Soja 2da.	0.30	0.30	0.35	0.32	0.36	0.33	8.3	0.08	0.115	0.127	0.090	0.802	0.139
14	Sorgo 2da.	0.23	0.29	0.25	0.25	0.24	0.25	15.6	0.111	0.490	0.320	0.290	0.860	0.617
15+	-	0.60	0.57	0.55	0.59	0.65	0.59	10.96	0.18	0.468	0.832	0.672	0.166	0.291

† Mínima Diferencia Significativa: $P < 0.05$ + Sitio 15: se aplicaron los tratamientos en diciembre 07 y se mantuvo en barbecho. Las muestras de suelo se tomaron en junio 08.

Tabla 7. Contenido de Ca y Mg en hoja y en grano en cebada y soja de la zafra 2007-08 para cada tratamiento.

Sitio	Cultivo	Contenido en hoja									
		Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)					Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)				
		0	30	60	120	240	0	30	60	120	240
		Ca (%)					Mg (%)				
4	Soja 1era	1.38	1.26	1.33	1.35	1.19	0.58	0.53	0.54	0.46	0.43
5	Soja 1era	1.13	1.04	1.07	0.86	1.10	0.59	0.50	0.57	0.49	0.51
6	Soja 1era	0.97	0.93	0.94	1.00	1.11	0.53	0.48	0.46	0.51	0.51
9	Soja 2da	1.08	1.03	1.01	1.06	1.00	0.53	0.51	0.48	0.46	0.42
10	Soja 1era	1.23	1.23	1.17	1.11	1.21	0.48	0.46	0.45	0.43	0.44
8 (res)	Soja 2da	1.01	1.03	1.01	0.94	0.97	0.53	0.52	0.50	0.46	0.46
Sitio	Cultivo	Contenido en grano									
		Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)					Dosis de K ₂ O (kg ha ⁻¹)				
		0	30	60	120	240	0	30	60	120	240
		Ca (%)					Mg (%)				
1	Cebada	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
2	cebada	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3	Cebada	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
5	Soja 1era	0.22	0.23	0.19	0.22	0.22	0.20	0.20	0.18	0.18	0.22
6	Soja 1era	0.22	0.20	0.21	0.20	0.22	0.22	0.19	0.22	0.22	0.23
8 (res)	Soja 2da	0.21	0.22	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19

Conclusiones

Se observó respuesta a la aplicación de K en cultivos de invierno y de verano, tanto en rendimiento en grano, parámetros de calidad y en K removido. Esta respuesta se observó en suelos que presentaban valores entre 0.18 a 0.37 cmol_c kg⁻¹ de K intercambiable. Más estudios son necesarios sobre indicadores de K que guíen la fertilización potásica en cultivos de secano.

Referencias Bibliográficas

- Almada P.** 2006. Fertilización P y K de maíz en tres suelos de Durazno. Montevideo. Facultad de Agronomía. UY. Tesis 3399.
- Barbazán M., M. Ferrando y J. Zamalvide.** 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* en Uruguay. Agrociencia. Vol XI N° 1 pp. 22 – 34.
- Bower C.A. y W.H. Pierre.** 1944. Potassium response of various crops on a high-lime soil in relation to their contents of potassium, calcium, magnesium, and sodium. Agron. J. 36: 608-614.
- Bray R.H. y L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59:39-45.
- Cano J.D., O. Ernst y F.O. García.** 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. Informaciones Agronómicas N° 36. Pág. 9-12. IPNI Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en: www.ipni.net/lasc
- Castro J.L.** 1965. Informe final del año de práctica. Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental

del Uruguay.

- Hernández J., O. Casanova y J.P. Zamalvide.** 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. Boletín de Investigación No. 19. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 20p.
- Isaac R.A. y J.D. Kerber.** 1971 Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil plant and water analysis. In Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues. Pp. 17-37. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wisconsin. USA.
- MAP/DSF.** 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo. Uruguay.
- Moir T.R.G. y E.E. Reynaert.** 1962. Ensayos de fertilización de cultivos. Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Ministerio de Ganadería y Agricultura.
- Morón A. y W. Baetghen.** 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Serie Técnica 73. INIA. Uruguay.
- SAS Institute.** 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computer. Version 6 Edition. SAS Inst. Cary, North Carolina, USA.
- Tisdale S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton y J.L. Havlin.** 1993. Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition.
- Walkley A. y T.A. Black.** 1982. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38. ■