

RESPUESTA DE MAÍZ A FERTILIZACIONES DEFINIDAS CON DIFERENTES CRITERIOS DE RECOMENDACIÓN

Carlos Perdomo¹ y Guillermo Cardellino²

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Garzón 780, Montevideo, Uruguay, CP12900.

²Ing. Agr., Consultor Privado.

chperdom@fagro.ed.uy

INTRODUCCIÓN

La recomendación de dosis de nutrientes no es una ciencia exacta, y tanto en el ambiente académico como productivo existen diferentes visiones sobre los criterios de fertilización. Para los seguidores del criterio de “subir y mantener”, la dosis a aplicar debería ser aquella que permita llegar rápidamente al nivel óptimo de un nutriente en el suelo para un cultivo determinado, y de ahí en adelante, la necesaria para reponer la cantidad del nutriente extraída por el cultivo (Olson *et al.*, 1982). Los seguidores de este criterio asumen, explícita o implícitamente, que la absorción del cultivo sería la principal vía de salida de nutrientes del suelo, y que luego de llegar al nivel óptimo, la capacidad de fijación de nutrientes del suelo va a estar relativamente saturada. Una limitante de este criterio, también conocido como de “fertilización del suelo”,

es que la extracción de nutrientes debe estimarse del rendimiento del cultivo, el cual no se conoce hasta la cosecha, y de valores constantes de concentración de nutrientes del grano, los cuales en realidad varían. Además, muchas veces se tiende a sobreestimar este rendimiento meta, ya que la expectativa

natural de cualquier productor o técnico es obtener altos rindes. Una ventaja de este criterio es que luego de llegar al nivel óptimo, no sería necesario realizar análisis periódicos de suelo.

Otra corriente de pensamiento considera que la fertilización debe basarse siempre en el análisis del suelo; se debería fertilizar con un nutriente cuando el valor de análisis sea inferior al “crítico”. En este caso, la dosis de aplicación debería ser la que permita elevar el nivel actual hasta ese “nivel crítico” (Olson *et al.*, 1982). Este criterio también se conoce como de “fertilización del cultivo” (Black, 1993), porque la dosis se define en base al análisis de suelo para cada cultivo de la rotación. Una desventaja práctica del mismo es que el tiempo e inversión destinados al muestreo compiten muchas veces con los disponibles para las labores de preparación del suelo y siembra.

Los conceptos de nivel óptimo y crítico de cada uno de estos criterios son similares, aunque los seguidores del primer criterio muchas veces prefieren basarse en umbrales mayores, porque sostiene que aun

cuando el nivel promedio de un sitio sea cercano al crítico, pueden existir en su interior zonas ocultas con deficiencia.

El concepto de “subir y mantener” se adapta mejor para el caso del potasio (K) y del fósforo (P), ambos nutrientes inmóviles. En el caso de un nutriente móvil como el nitrógeno (N), en cambio, este criterio no resulta lógico, ya que “fertilizar el suelo” incrementaría el riesgo de pérdidas. Por consiguiente, se ha propuesto ajustar la fertilización nitrogenada en base al “balance de N”; la dosis se estima de la diferencia entre la demanda del cultivo y la oferta que realiza el suelo para cada cultivo (Standford, 1973). La oferta del suelo se ha estimado de varias maneras, que van desde el otorgamiento de créditos según el cultivo anterior, tipo de suelo, fertilización previa, etc., hasta la

Los criterios de fertilización que recomendaron la aplicación de altas dosis de nutrientes produjeron rendimientos similares de maíz, pero retornos económicos inferiores a otros más “conservadores”, que recomendaron dosis menores.

cuantificación del N mineral inicial presente en la siembra y la estimación del N mineralizado durante la estación de crecimiento (Black, 1993). La demanda de N, como en el caso anterior, se estima del potencial de rendimiento del cultivo. Sin embargo, algunos autores no han encontrado una relación clara entre el nivel de rendimiento y la

dosis óptima de N (Blackmer *et al.*, 1997), ya que frecuentemente los suelos con mayor potencial de rendimiento son también capaces de aportar más N, por lo que han propuesto realizar recomendaciones de N exclusivamente en base a índices de suelo, sin considerar el potencial de rendimiento. Este último criterio resulta equivalente al de “nivel crítico”. Un ejemplo sería el test de $N-NO_3^-$ en el suelo para maíz al estadio de seis hojas (V6), desarrollado para el medio-oeste de EE.UU (Blackmer *et al.*, 1989; Fox *et al.*, 1989; Meisinger *et al.*, 1992; Klausner *et al.*, 1993).

En Uruguay, las recomendaciones de fertilización de maíz para N, P y K de los centros de investigación, como la Facultad de Agronomía (FAGRO) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) se han basado mayormente en el concepto de “nivel crítico”. Para N, se ha utilizado el test de NO_3^- de suelo en V6, validado para Argentina (Melchiori *et al.*, 1996; García *et al.*, 1997; Ferrarri *et al.*, 2000; Sainz Rozas *et al.*, 2000) y Uruguay, donde se estableció un rango

crítico de 17 a 19 ppm de N para los primeros 20 cm del suelo (Perdomo *et al.*, 1998).

El ajuste de la fertilización fosfatada se basa en el valor pre-siembra del test Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945), habiéndose adoptado el nivel crítico y las recomendaciones de fertilización desarrolladas en Argentina (Echeverría y García, 1998; Ferrari *et al.*, 2000; Berardo *et al.*, 2001). Los niveles críticos de K, que dependen de la textura del suelo, han sido adaptados de los provenientes del medio-oeste de EE.UU. (Cope y Rouse, 1973; Mallarino y Blackmer, 1994). Como la mayoría de los suelos de Uruguay tienen concentraciones de K intercambiable por encima de estos niveles, generalmente no se considera necesaria la fertilización potásica. Sin embargo, Morón y Baetghen (1996) reportaron que la concentración de K de hoja de cultivos de maíz de Uruguay fue generalmente inferior al nivel considerado crítico por algunos autores de otros países, por lo que podrían existir situaciones de deficiencia oculta de este nutriente, no detectadas por el análisis de suelo.

La recomendación de micronutrientes de algunos laboratorios, como el de la Estación Experimental "La Estanzuela" del INIA (Lab.-EELA), se ha basado en la metodología analítica y en los criterios de recomendación del Estado de San Pablo, Brasil (Galvão, 2002). Existen dudas, sin embargo, sobre la confiabilidad de las mismas, debido a las diferencias de suelos entre ambas regiones.

En la realidad productiva, la mayoría de las recomendaciones de fertilización no son efectuadas por los investigadores, sino por consultores privados, técnicos de cooperativas, vendedores de insumos y por los propios productores. Actúan también laboratorios privados de países desarrollados, que generalmente

recomiendan fertilizar con muchos nutrientes y con altas dosis, recomendaciones que frecuentemente no coinciden con los resultados de la investigación local e internacional. Esta situación genera una amplia gama de recomendaciones, lo que no implica que todas ellas sean igualmente válidas. Esta variabilidad de recomendaciones crea una gran confusión entre productores y técnicos acerca de qué criterio de fertilización adoptar. El objetivo de este trabajo fue comparar distintas recomendaciones de fertilización de maíz existentes en forma explícita o implícita en Uruguay y en otros países, utilizando como variables principales de comparación el rendimiento de grano y el retorno económico neto por fertilización. Todas estas evaluaciones se realizaron dentro de cultivos comerciales de maíz, manejados por el productor con una adecuada tecnología

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las Zafras I (1999-2000), II (2000-2001), y III (2001-2002), se instalaron 12 ensayos de fertilización en plantíos comerciales de maíz ubicados en el litoral oeste de Uruguay. El término sitio se refiere a la combinación de lugar y zafra de cada ensayo. La Tabla 1 incluye información relevante acerca de cada sitio.

De cada sitio, se recolectaron muestras en pre-siembra y V6, a una profundidad de 20 cm. para cada uno de los tratamientos analizados, a los cuales se les realizaron las determinaciones que figuran en la Tabla 2. Las muestras en pre-siembra fueron compuestas, enviándose una submuestra al Laboratorio de la Estación Experimental INIA La Estanzuela (EELA) para su análisis químico y otra submuestra a un labo-

Tabla 1. Información sobre fechas de siembra y cosecha, población de plantas, manejo anterior, y textura del suelo de los distintos sitios.

Zafra	Sitio	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Población (miles de plantas ha ⁻¹)	Cultivo y laboreo previo†	Textura del suelo‡
I	1-I	13/10/00	19/04/01	SD§	SSD	FAr
	2-I	30/09/00	03/04/01	SD	MLab	FAC
	3-I	06/11/00	10/04/01	SD	MLab	FL
	4-I	15/11/00	28/04/01	SD	MLab	FL
II	1-II	25/10/01	30/04/02	75	MLab	FACAr
	2-II	02/11/01	09/04/02	65	SSD	FAC
	3-II	11/12/01	15/07/02	60	MLab	FL
	4-II	05/01/02	09/09/02	55	MLab	FL
III	1-III	30/09/02	15/03/03	60	MLab	FAr
	2-III	28/09/02	15/04/03	65	SSD	FAC
	3-III	17/10/02	09/04/03	60	MLab	FL
	4-III	10/12/02	06/08/03	50	MLab	FL

† SSD = Soja en siembra directa, MLab = maíz con laboreo.

‡ FAr = Franco arenoso, FAC = Franco arcilloso, FL = Franco limoso, FACAr = Franco arcillo arenoso.

§ SD = sin datos.

ratorio comercial de EE.UU. con representación local. Una tercer submuestra fue enviada al laboratorio de Fertilidad de Suelos de FAGRO (Lab. FSFA), para el análisis de NO_3^- . En V6 se recolectaron muestras de suelo por tratamiento de la profundidad de 0-20 cm, las que también fueron enviadas a este último laboratorio para análisis de NO_3^- . En todos los casos, las muestras fueron identificadas con el nombre del productor y no se explicitó que eran parte de un experimento.

Descripción de los tratamientos de fertilización

Los resultados analíticos de las muestras de suelo (Tabla 2) fueron utilizados para realizar cuatro recomendaciones de fertilización (RDF) con N, P, K, S y micronutrientes. Dos de estas RDF se originaron en información local o regional, por lo que fueron denominadas URU1 y URU2. Las otras dos se originaron en EE.UU. y se denominaron USA1 y USA2. Estas cuatro recomendaciones fueron consideradas como tratamientos. Se incluyó también un tratamiento Testigo, el cual no se fertilizó con ningún nutriente. El tratamiento URU1 corresponde a la RDF realizada por los autores de este trabajo. Está basada en el concepto del "nivel de suficiencia"; solamente se realizan recomendaciones para N, P y K en base a indicadores de suelo sin corregir por potencial de rendimiento del cultivo. El ajuste de N se hace en función de características del sitio y de la concentración de NO_3^- a V6 (Perdomo, 2000). La recomendación de P se basa en una modificación de la calibración el método de Bray-1 realizada en Argentina por Echeverría y García (1998), en la cual se considera un nivel crítico de 15 ppm de P. La fertilización con K se ajustó en base a una calibración no publicada (Zamalvide y Hernández, com. pers.) de K intercambiable del suelo, cuyo nivel crítico es de 0,30 meq. 100 g^{-1} de suelo para texturas más finas que franco-arenosa y de 0,25 meq. 100 g^{-1} para texturas franco-arenosa ó más gruesa. Esta RDF tiene el objetivo de recomendar dosis cercanas pero inferiores a las asociadas al rendimiento máximo, evitando desequilibrios y problemas de contaminación ambiental por sobrefertilización. El tratamiento URU2 es igual a URU1 para N y P, pero incluye también recomendaciones para Mg y micronutrientes (Zn, Fe) según Galvão (2002). Además, el nivel crítico de K en el suelo de URU2 es superior al de URU1 (0,50 versus 0,25 ó 0,30 meq. 100 g^{-1}), tal como parecen sugerir los resultados de Morón y Baetghen (1996). El tratamiento USA1 se refiere a las RDF que realiza un laboratorio privado de EE.UU. con presencia local, en base a un criterio no explicitado, pero basado probablemente en el de "mantenimiento". El tratamiento USA2 es el sistema de recomendación de la Universidad de Minnesota (Rhem et al., 2001). Para P y K,

USA2 combina los conceptos de "nivel de suficiencia" y de "subir y mantener", mientras que para N utiliza el de "balance". Los dos tratamientos "USA" requieren de la especificación de un rendimiento meta, que en este experimento fue de 12000 kg/ha.

La recomendación de N de los tratamientos "USA" se basó solamente en información analítica de suelos previo a la siembra, mientras que en caso de los "URU" la misma se definió con los datos de V6, y se aplicó en ese momento, aunque a la siembra se aplicó una dosis starter menor o igual a 30 kg/ha. En el caso de los tratamientos "USA", un tercio de la dosis total de N se aplicó a la siembra y el resto a V6; la razón de este fraccionamiento fue evitar pérdidas de N en momentos de poca demanda por el cultivo.

Las RDF de los dos tratamientos "URU" y de USA2 fueron realizadas por los autores de este trabajo utilizando las pautas respectivas. La RDF de USA1, en cambio, fue realizada directamente por el propio laboratorio comercial en base a los resultados de las muestras de suelo enviadas al mismo. Esto crea una diferencia metodológica con otros trabajos similares, como los de Olson *et al.* (1982) en EE.UU. y de Ewanek en Canadá (citado por Black, 1993), ya que en estos casos la mayoría de las recomendaciones habían sido realizadas por laboratorios privados.

Siembra, fertilización y cosecha

Las tareas de siembra, fertilización y cosecha se realizaron con maquinaria comercial rentada a distintos productores. A la siembra, el fertilizante fue incorporado al suelo al costado y debajo de la hilera de semillas, excepto cuando se fertilizó con dosis altas de K donde el fertilizante fue aplicado presiembra al voleo e incorporado con disquera. Los micronutrientes y el Mg también se aplicaron presiembra mediante aspersión al suelo, previa disolución de los productos que los contenían en agua. En la Zafra III no se aplicaron micronutrientes. En V6, el N se aplicó al voleo sin incorporar. Las parcelas fueron de un área considerablemente superior a la de los ensayos tradicionales; el área fertilizada de cada tratamiento fue de 24 filas de ancho por 200 m de largo, aunque existieron variaciones menores en algunos sitios. El área de cosecha fue de 12 filas por 100 m de largo. El grano cosechado de cada parcela fue depositado en un contenedor de peso conocido, estimándose el rendimiento de la diferencia de peso del contenedor con y sin grano, ajustándose luego el rendimiento obtenido a 14,5% de humedad. Las fuentes de fertilizantes usadas para aplicar N, P, K y S fueron seleccionadas de las disponibles en el país, utilizándose principalmente fosfato diamónico, cloruro de potasio, superfosfato común, superfosfato triple y urea.

Estimación de índices de resultado económico

Los precios de fertilizantes utilizados en los cálculos económicos de fertilización fueron los vigentes en fechas cercanas a su aplicación. Los precios de los productos con micronutrientes fueron obtenidos de droguerías, pero como fueron demasiado elevados no se consideraron para calcular el costo de la fertilización. El precio del maíz fue cercano al vigente en cada zafra, 100 USD/ton para la primer zafra y 90 USD/ton para las otras dos.

El incremento de rendimiento por fertilización se calculó de la diferencia entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento del Testigo, mientras que el ingreso neto por fertilización se obtuvo multiplicando el incremento de rendimiento por el precio del maíz. El costo de fertilización con cada nutriente se estimó multiplicando el precio por la dosis, y el costo total de fertilización se obtuvo sumando los costos de todos los fertilizantes aplicados dentro de

una combinación de sitio y tratamiento. Finalmente, el retorno neto por fertilización (RNPF) se calculó de la diferencia entre el ingreso neto por fertilización y el costo total de la misma. Este índice económico permite detectar situaciones en que el incremento del valor del cultivo obtenido por fertilización es inferior a los gastos incurridos en fertilizante (Mallarino y Blackmer, 1992).

Análisis estadístico

El rendimiento y el RNPF fueron analizados por ANOVA usando un diseño de bloques completos al azar, en el cual cada sitio fue considerado como un bloque, y cada parcela de fertilización (y el Testigo para el rendimiento) fue asignada como tratamiento. El efecto de la zafra no fue considerado en este análisis. La suma de cuadrados de los tratamientos se dividió en contrastes ortogonales, y se realizó además un contraste no ortogonal entre URU1 y USA2

Tabla 2. Concentraciones de bases intercambiables (Ca, Mg, K), S-SO₄⁻, materia orgánica (MO), pH, micronutrientes (B,Fe,Mn,Zn), y P en muestras de suelo tomadas pre-siembra, así como concentraciones de N en forma de nitrato (N-NO₃⁻) a la siembra (S) y V6 en los tratamientos Testigo (Test), URU1 y URU2, para los distintos sitios experimentales.

Za- fra	Si- tio	Ca	Mg	K	MO	pH H ₂ O	S- SO ₄ ⁻	P Bray1	B	Fe	Mn	Zn	N-NO ₃ ⁻			
													S- Test	V6- Test	V6- URU1	V6- URU2
		meq 100 g ⁻¹			%		----- ppm -----									
I	1-I	9,66	1,59	0,21	2,2	5,5	7,5	18	0,41	119,6	19,4	2,1	11	13	27	24
	2-I	35,81	3,10	1,05	5,2	6,7	6,0	8	0,93	66,8	11,1	1,2	5	12	13	14
	3-I	9,10	2,38	0,61	3,9	5,9	3,2	9	0,72	278,5	34,5	3,2	9	SD	11	13
	4-I	9,20	2,43	0,38	2,8	6,2	4,1	11	0,91	172,7	24,8	2,7	7	SD	11	9
II	1-II	17,51	2,30	0,48	4,7	6,2	7,4	17	2,83	115,6	19,4	0,8	7	4	6	4
	2-II	19,93	2,81	0,84	6,8	5,8	12,2	7	2,93	85,5	11,1	1,2	17	8	10	9
	3-II	12,83	2,54	0,40	4,5	6,1	5,2	5	0,52	167,7	34,5	3,0	9	5	7	7
	4-II	9,35	2,38	0,19	2,3	6,0	15,9	19	0,90	180,7	24,8	2,3	4	4	6	6
III	1-III	8,01	2,03	0,42	2,5	5,9	6,1	3	0,51	241,1	44,5	1,9	25	18	23	24
	2-III	28,22	2,32	1,08	5,5	7,1	8,2	6	0,56	55,9	23,4	2,1	31	15	18	19
	3-III	13,81	2,53	0,73	3,6	6,1	11,5	7	0,52	167,7	34,5	3,0	21	15	19	22
	4-III	12,32	2,43	0,29	2,5	6,0	14,2	9	1,92	180,7	34,8	2,3	28	12	18	19

SD = sin datos.

Tabla 3. Dosis promedio de varios nutrientes aplicadas por cuatro tratamientos de fertilización. Los promedios corresponden a 12 sitios-año, producto de la combinación de 4 sitios y 3 zafras.

Tratamiento	Nutrientes							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg	B	Zn	
		----- kg/ha -----						
URU1	84	61	10	0	0	0	0	
URU2	81	68	29	15	0	0	1	
USA1	151	109	70	17	2	1	1	
USA2	147	51	17	1	1	0	0	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dosis de nutrientes recomendadas

Existieron importantes diferencias de fertilización entre tratamientos para el promedio de las tres zafras. En el caso de N y P, las dosis promedio de URU1 y URU2 fueron similares, pero las de K y S fueron diferentes (Tabla 3). A su vez, la dosis promedio de P de USA2 fue levemente inferior a las de URU1 y URU2, pero la de N fue superior, y la de K intermedia. Debido a que en USA2 no se fertilizó con S, este tratamiento fue más similar a URU1 que a URU2. El tratamiento USA1 recomendó las mayores dosis de todos los nutrientes, por lo que según la terminología de Olson *et al.* (1982), sería el menos “conservador” de todos. Resulta importante señalar que las diferencias de fertilización entre URU1, URU2 y USA2 se debieron exclusivamente a diferencias de interpretación de los mismos datos analíticos, ya que los análisis de suelo fueron procesados en el mismo laboratorio. En el caso de USA1, en cambio, estos datos fueron diferentes, ya que los análisis de suelo fueron realizados por la misma empresa que realizó las recomendaciones. Sin embargo, las diferencias analíticas entre estos dos laboratorios no fueron importantes, por lo que las diferencias de recomendación se debieron mayormente a diferentes filosofías de recomendación.

Rendimiento y respuesta a la fertilización

En el promedio de las tres zafras existió un importante incremento de rendimiento por fertilización, el que fue superior a 2000 kg/ha (Fig. 1) y estadísticamente significativo (datos no mostrados). Las diferencias entre los tratamientos fertilizados fueron, en cambio, relativamente pequeñas (cercasas a 500 kg/ha), aunque el promedio de los tratamientos “USA” fue significativamente mayor que el de los “URU”. Sin embargo, el tratamiento que produjo el mayor rendimiento (USA2) no difirió significativamente de URU1. A su vez, la diferencia entre el tratamiento que recomendó las mayores dosis (USA1) y el que recomendó las menores (URU 1) fue de 478 kg/ha. Por lo tanto, las recomendaciones de algunos de estos tratamientos podrían haber sido excesivas, ya que con fertilizaciones menores se obtuvieron rendimientos similares. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Olson *et al.* (1982) en EE.UU. y por Ewanek en Canadá (citado por Black, 1993).

Existieron, sin embargo, importantes diferencias entre zafras (Tabla 4). Los mayores incrementos de rendimiento por el agregado de fertilizante se obtuvieron en la Zafra I (4113 kg/ha), en la cual el rendimiento promedio de los tratamientos fertilizados fue 18% superior al promedio de las tres zafras, y el rendimiento del Testigo fue 5% inferior al correspondiente promedio. En las otras dos zafras estos incrementos fueron menores a 2000 kg/ha. En la segunda zafra esto se debió por un menor rendimiento general, ya que los tratamientos fertilizados rindieron solo el 72% del rinde promedio de estos tratamientos en las tres zafras. En la tercer zafra, el rendimiento de los tratamientos fertilizados fue similar al de la primer zafra (110% con respecto al promedio de las tres zafras), pero el rendimiento del Testigo fue también elevado (136% del promedio correspondiente), lo que determinó una baja respuesta a la fertilización. El bajo rendimiento de la segunda zafra puede ser atribuido en parte a que no se pudo aplicar N en V6 en dos de los sitios, debido a condiciones de exceso hídrico de los suelos, lo que impidió entrar con la maquinaria. Cabe señalar que el rendimiento no estuvo fuertemente limitado por las lluvias en ninguna zafra, ya que en los tres ciclos estas fueron superiores al promedio histórico.

Las diferencias entre los tratamientos fertilizados fueron mínimas en la Zafra II, cercanas al promedio de las tres zafras en la Zafra I, y mayores al promedio en la Zafra III. En esta zafra, el rendimiento asociado a USA1, el tratamiento que recomendó las mayores dosis de fertilización de todos los tratamientos, fue superior en 770 kg/ha a URU1, el que recomendó las menores. A su vez, el rendimiento de USA2 fue superior en 1105 kg/ha al de URU1. Además, a diferencia de las zafras anteriores, en todos los sitios de esta zafra el rendimiento de USA2 fue superior al de URU1. Este resultado pudo haber sido en parte consecuencia del agregado de dosis subóptimas de N en V6 en URU1 y URU2 en los cuatro sitios de la Zafra III, aunque algo similar pudo haber ocurrido en el Sitio 1 de la Zafra I. Estas bajas dosis fueron inducidas por las altas concentraciones de NO_3^- en V6 en URU1 y URU2, muy superiores a las del Testigo (Tabla 2). Una posible interpretación de este error de recomendación es que estas altas concentraciones fueron resultado de la residualidad del N aplicado a la siembra y no de un alto aporte de N del suelo. Esta interpretación parece confirmarse, ya que a

Tabla 4. Rendimiento promedio de grano de maíz por tratamiento y zafra.

Zafra	Test	URU1	URU2	USA1	USA2
----- kg/ha -----					
I	5554	9570	8988	10032	10078
II	4073	5964	5514	5965	6210
III	7959	8451	8896	9423	9359

través de todos los sitios, la diferencia de concentración de NO_3^- entre URU1 y el Testigo se relacionó positivamente con la diferencia de rendimiento entre USA2 y URU1 (Fig. 2). Si no hubiera existido residualidad del N aplicado a la siembra, sería de esperar que URU1 y el Testigo presentaran concentraciones similares de NO_3^- . Es posible que este error pudiera haberse evitado si se hubiera realizado el muestreo de V6 tomando las muestras de suelo de la entrefila, lo más lejos posible del lugar de aplicación del fertilizante a la siembra.

Retorno neto por fertilización

En el promedio de las tres zafras, los tratamientos afectaron significativamente el RNPF, la única diferencia estadísticamente significativa (datos no mostrados) fue el mayor RNPF de USA2 con respecto a USA1 (Fig. 3). Este último tratamiento fue el que recibió las mayores dosis de fertilización y presentó el menor resultado económico. No existieron diferencias significativas entre URU1 y USA2, los dos tratamientos que recomendaron las fertilizaciones más conservadoras. Este resultado señala la importancia de considerar el incremento de rendimiento y los costos de fertilización para evaluar los resultados de la fertilización, y no solamente el rendimiento.

En la Zafra I, el RNPF promedio de todos los tratamientos fue de 306 USD/ha, luego descendió a 71 USD/ha en la Zafra II y a 47 USD/ha en la Zafra III. La principal causa del mejor resultado económico de la primera zafra fue el alto incremento de rendimiento por fertilización. El menor resultado económico de la segunda zafra se debe principalmente a que el rendimiento de todos los tratamientos fue menor, mientras que en la tercer zafra el rendimiento fue alto, pero fue bajo el incremento de rendimiento por fertilización. El menor resultado económico de

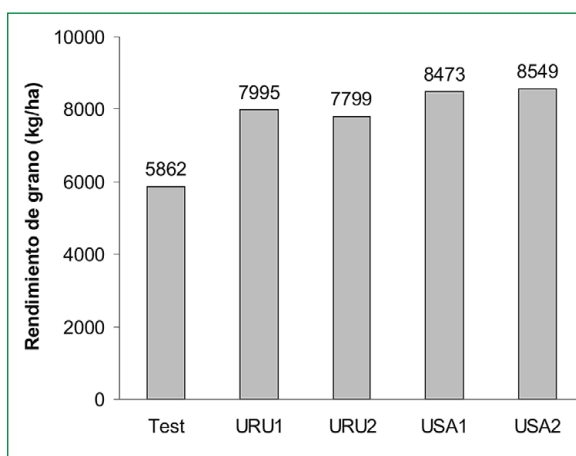


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz de cinco tratamientos de fertilización. Cada valor es el promedio de 12 sitios experimentales, producto de la combinación de 4 sitios y tres zafras.

la segunda y tercer zafra también fue afectado por el menor precio del maíz, y el de la tercera por el mayor costo de los fertilizantes.

Resulta importante destacar que las recomendaciones más conservadoras (URU1 y USA2) fueron más eficientes en términos económicos (Fig. 3) pero no limitaron los rendimientos, ya que estos fueron similares o mayores al de los de los tratamientos URU2 y USA1, que recomendaron las dosis mayores de nutrientes. La excesiva recomendación de fertilización de USA1 estuvo determinada en parte por el hecho de que solo se alcanzó el 70% del rendimiento meta utilizado; es indudable que si se hubiera utilizado un rendimiento meta menor las dosis de fertilizantes recomendadas habrían sido menores. De todas maneras, esta alta recomendación de fertilización de USA1 también se debe a las propias características del modelo, ya que en el caso de USA2 se utilizó el mismo rendimiento meta pero las recomendaciones fueron menores.

Como ya se señaló, el costo de los micronutrientes no fue considerado dentro del costo de la fertilización, pero su consideración habría afectado favorablemente el resultado económico de URU1, ya que éste fue el único tratamiento que no incluyó estas recomendaciones, y habría perjudicado especialmente el de USA1. Además, en este estudio no fue considerado el costo ambiental de la fertilización, el cual obviamente es de difícil valoración, aunque su inclusión también hubiera favorecido el resultado económico de las recomendaciones más conservadoras.

Balance entre el aporte y la extracción de nutrientes

Se ha señalado que los análisis económicos basados en RNPF pueden ocultar el costo de reposición de los nutrientes extraídos por el cultivo (Flores y Sarandón,

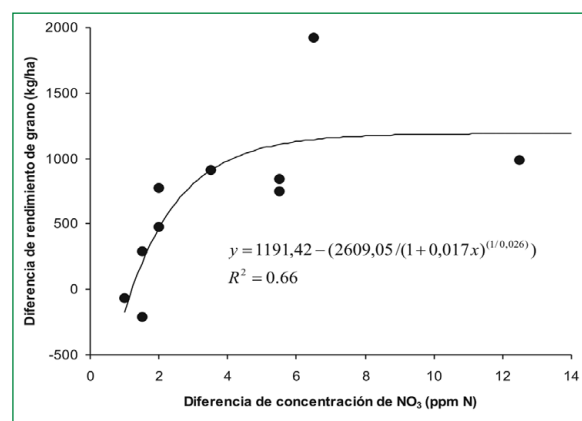


Figura 2. Relación entre la diferencia de rendimiento de grano entre los tratamientos URU1 y USA2 y la diferencia de concentración de NO_3^- entre el tratamiento URU1 y el Testigo. La concentración de NO_3^- fue determinada en V6 a la profundidad de 0-20 cm del suelo.

2002). Por lo tanto, aunque en el corto plazo las fertilizaciones bajas sean más rentables podrían llevar en el largo plazo a una disminución de la fertilidad de los suelos. Aunque este trabajo no tuvo el objetivo de estudiar estos efectos de largo plazo, igualmente se utilizó el rendimiento promedio de los 12 sitios para estimar la extracción esperada de N, P y K de cada tratamiento, utilizando los parámetros de extracción propuestos por INPOFOS (1999). Se estimó luego para cada tratamiento el balance aporte-extracción, es decir la diferencia entre la dosis de N, P y K aplicada y los correspondientes valores de extracción. Se observó que para N, el balance de los dos tratamientos "URU" fue negativo en aproximadamente 30 kg/ha, mientras que el de los "USA" fue positivo en una cantidad similar. El balance de P, en cambio, fue positivo en 3, 6 y 22 kg/ha para URU1, URU2 y USA1, respectivamente, mientras que en USA2 fue deficitario pero solo en 3 kg/ha. En el caso de K, todos los tratamientos tuvieron un balance negativo (-24, -7 y -20 kg/ha para URU1, URU2 y USA2, respectivamente), excepto USA1, donde fue positivo (24 kg/ha). Con respecto a estos resultados, cabe señalar que no se justificaría fertilizar con dosis mayores de N para reponer lo extraído, debido al inherente riesgo de pérdida de este nutriente. En Uruguay, la rotación de cultivos y pasturas parece ser un modo más sustentable de mantener el contenido de N orgánico del suelo en un nivel adecuado. Por otra parte, la existencia de un balance negativo de K no debería preocupar aún, ya que los contenidos de este nutriente en la mayoría de los suelos agrícolas del Uruguay están todavía muy por encima del nivel crítico, y de acuerdo a Mallarino (2005), en estas situaciones no debería emplearse el concepto de mantenimiento. El balance de P, en cambio, fue mayormente positivo, pero eventuales caídas tampoco debería alarmar, ya que éstas se podrían fácilmente detectar y corregir a través del análisis de suelo y la fertilización. Una política similar se podría emplear cuando la concentración de K del suelo descendiera a un nivel cercano al crítico.

CONCLUSIONES

Los criterios de fertilización que recomendaron la aplicación de altas dosis de nutrientes produjeron rendimientos similares de maíz, pero retornos económicos inferiores a otros más "conservadores", que recomendaron dosis menores. La aplicación de estos criterios más conservadores, basados en conceptos de mantenimiento y/o suficiencia, tampoco ocasionaron desbalances importantes de nutrientes en los suelos, y los mismos posiblemente tengan un menor riesgo de contaminación del agua y del aire. De todas maneras, es necesario considerar que la aplicación continua de estos criterios más conservadores de

fertilización puede ocasionar en el largo plazo extracciones importantes de algunos nutrientes como K, los que eventualmente tendrían ser repuestos al suelo por fertilización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los Servicios Agropecuarios del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca de Uruguay, dentro del llamado a Proyectos de Validación Tecnológica. Se agradece a la Empresa Agrotierra S.A. y a los productores Carlos Chambón, Miguel Carballedo, José Pedro Cristina y Walter y Arturo Brhem, en cuyos predios se realizaron estos ensayos. Se agradece además a los Ing. Agrs. Verónica Ciganda (Ph.D.) y Claudio Pons, que colaboraron al comienzo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Berardo A., S. Ehrh, F. Grattone y F. García.** 2001. Corn yield response to phosphorus fertilization in the Southeastern Pampas. *Better Crops International* 15 (1):3-5.
- Black, C.A.** 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publisher. Boca Raton, FL, USA.
- Blackmer A.M., D. Pottker, M.E. Cerrato y J. Webb.** 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. *J. Prod. Agric.* 2:103-109.
- Blackmer A.M., Voss, R.D. y A.P. Mallarino.** 1997. Nitrogen fertilizer recommendations for Corn in Iowa. Pm-1714. Iowa State University, University Extension, Ames, Iowa. [Online] Disponible en <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1714.pdf> (verificado 8 de setiembre de 2005).
- Bray R.H., y L.T Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cope J.T. y R.D. Rouse.** 1973. Interpretation of soil test results. p. 35-54. En L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA, Madison, WI.

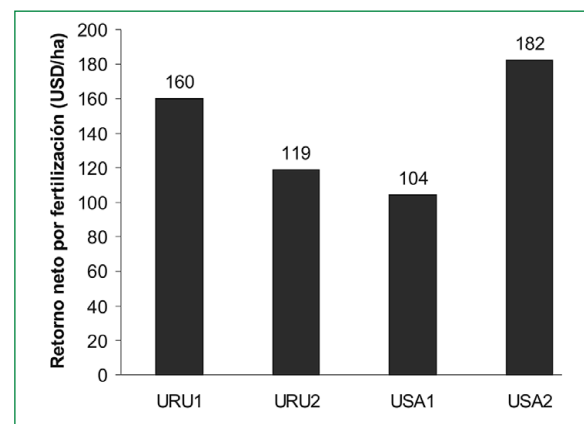


Figura 3. Retorno neto por fertilización (RNPF) de maíz de cuatro tratamientos de fertilización. Cada valor corresponde al promedio de 12 sitios experimentales, producto de la combinación de 4 sitios y tres zafras.

- Echeverría H. y F. García.** 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Ferrari M., J. Ostojic, L. Ventimiglia, H. Carta, G. Ferraris, S. Rillo, M. Galetto y F. Rimatori.** 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". Rosario, 28 de abril de 2000. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- Flores C.C. y S.J. Sarandón.** 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la región pampeana Argentina. Rev. Fac. Agron. La Plata. 105(1):52-67.
- Fox R.H., G.W. Roth, K.V. Iversen y W. Piekielek.** 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. Agron. J. 81:971-974.
- Galvão E.Z.** 2002. Micronutrientes. p. 185-226. En D.M.G. Souza & E. Lobato (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina-DF EMBRAPA Cerrados.
- García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi.** 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. ALANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- INPOFOS Cono Sur** (Oficina Regional para el Cono Sur del Potash y Phosphate Institute y el Potash and Phosphate Institute of Canada). 1999. Planilla de cálculo para estimar requerimientos nutricionales de cultivos de grano y forrajeros. [Online] Disponible en: [http://www.ppi-pic.org/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/573A3BBA6EF828E903256960006DCF C7?opendocument&navigator=home+page](http://www.ppi-pic.org/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/573A3BBA6EF828E903256960006DCF C7?opendocument&navigator=home+page). Verificado el 22 de febrero de 2006.
- Klausner S.D., W.S. Reid y D.R. Bouldin.** 1993. Relationships between late spring soil nitrate concentrations and corn yields in New York. J. Prod. Agric. 6:350-3354.
- Mallarino A.P. y A.M.Blackmer.** 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn. Agron. J. 84:850-856.
- Mallarino A.P. y A.M.Blackmer.** 1994. Profit-maximizing critical values of soil test potassium for corn. J.Prod. Agric. 7:261-268.
- Mallarino A.P.** 2005. Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con maíz y soja en el cinturón del maíz. Inpofos Informaciones Agronómicas. 28:9-15.
- Meisinger J.J., V.A. Bandel, J.S. Angle, B.E. O'Keefe y C.M. Reynolds.** 1992. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. Soil. Sci. Soc. Am. J. 56:1527-1532.
- Melchiori R., O. Papparotti y W. Paul.** 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz: Nitratos en prees-cardillada. Serie de Extensión No. 11. EEA INTA Paraná. Entre Ríos.
- Morón A. y W. Baetghen.** 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Serie Técnica 73. INIA. Uruguay.
- Olson R.A., K. D. Frank, P.H. Grabouski y G. W. Rhem.** 1982. Economic and agronomic impacts of varied philosophies of soil testing. Agron. J. 74:492-499.
- Perdomo C. H., V. S Ciganda, E. Borghi y G.Wornicov.** 1998. Evaluación del test de nitrato en suelo para las condiciones de maíz en Uruguay. p. 337. En XXIII Reunao Brasileira Fertilidade de Solo e Nutricao de Plantas. FertBio 98. Resumos. Caxambu (MG). Brasil.
- Perdomo C. H.** 2000. Recomendaciones de fertilización nitrogenada de maíz. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. [Online] Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/fert/web/investiga/investigacion.html> (verificado el 8 de setiembre de 2005).
- Rhem G. M., J. L. Schmitt y R. Eliason.** 2001. Fertilizer recommendations for agronomic crops in Minnesota: fertilizer suggestions for corn. University of Minnesota Extension Service. [Online] Disponible en <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropystems/components/6240f.html> (verificado el 8 de setiembre de 2005).
- Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert y G. Domínguez.** 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. Agron. J. 92:1176-1183.
- Standford G.** 1973. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. J. Environ. Qual. 2:159-166.

Nueva publicación



La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005

La Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP), implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común. Los objetivos generales de la Red son:

- Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región
- Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada

- Costo de la publicación: \$10 (diez pesos argentinos)
- Costo de envío: \$4 (cuatro pesos argentinos)
- La publicación puede ser adquirida contactando a: IPNI Cono Sur At. Sra. Laura Pisauri. Tel/Fax (54) 011 4798 9939 lpisauri@ipni.net