

FERTILIZACION NITROGENADA EN MAIZ EN LA ARGENTINA: RESULTADOS EXPERIMENTALES E IMPLICACIONES ECONOMICAS *

LUCIO G. RECA **

I. Introducción

Una de las características distintivas de la agricultura mundial en la última década y media ha sido la incorporación generalizada de fertilizantes químicos en la producción de cereales. Este proceso ha ocurrido tanto en países de elevado grado de desarrollo —típicamente USA y los países del MCE— como en áreas donde la necesidad acuciante de aumentar la oferta de alimentos impulsó a reformular drásticamente sistemas de producción agrícolas de larga tradición. India y Pakistán constituyen ejemplos de este segundo grupo.

El uso de fertilizantes se difunde si mediante su empleo se logran aumentar los rendimientos de grano por unidad de superficie en términos económicamente rentables para el agricultor. Su uso implica incrementar la productividad del factor tierra. En países o áreas donde se ha alcanzado la “frontera”, es decir, donde la totalidad de la tierra apta para ser cultivada es utilizada, va de suyo la importancia que pueden alcanzar los fertilizantes como instrumentos para obtener los aumentos de producción necesarios para satisfacer la demanda de una población creciente y en muchos casos de mayores ingresos per capita.

La difusión de los fertilizantes en la producción de cereales reconoce una causa fundamental: el avance técnico en la industria química que posibilitó su elaboración a costos decreciente en los últimos 30 años. Este proceso no ha sido continuo, sino que se han producido avances espectaculares —con las consiguientes reducciones de precios— seguidos de períodos durante los cuales los precios han conti-

* Agradezco los valiosos comentarios de Alain De JANVRY, Carlos PURICELLI y Alberto SOJIT, así como la colaboración de Carlos M. GARCIA, quien tuvo a su cargo el trabajo de computación.

** Profesor Titular de Economía, Universidad del Salvador, Director Nacional de Economía y Sociología Rural.

nuado declinando más suavemente. A su vez, la disponibilidad de nutrientes baratos motivó a los fitotecnistas a desarrollar variedades de plantas en función de un grado variable de fertilidad del suelo, regulada mediante la incorporación al suelo de cantidades variables de nutrientes. Dentro de este panorama general, la fertilización con nitrógeno constituye el capítulo más importante.

La Argentina es uno de los pocos países líderes en la producción de cereales donde a la fecha la utilización de fertilizantes químicos no sólo es casi inexistente, sino que las ventajas que pueden derivarse de su empleo son frecuentemente cuestionadas. Esta situación es a su vez consecuencia —en un sentido muy general— de la escasa atención que mereció la agricultura como fuente de crecimiento económico y que relegó durante años a un segundo plano las actividades de investigación y desarrollo en el campo agrícola.

Tal actitud ha cambiado favorablemente y en la última década se han hecho serios esfuerzos en el campo de la investigación agropecuaria, tanto en el sector público como en el privado. Pero estos esfuerzos, en el campo específico de los fertilizantes, distan de ser satisfactorios y la situación así planteada adquiere matices de cierta gravedad, pues de no lograrse aumentos sustanciales de productividad en las principales cosechas en los próximos años la posición competitiva de la Argentina en el mercado mundial de granos puede verse seriamente amenazada, con la imaginable secuencia de dificultades en la balanza de pagos y el proceso general de desarrollo del país.

La información sobre resultados experimentales logrados mediante el uso de fertilizantes en Argentina, es amplia, si bien dista de ser ideal. No hay certeza con respecto al grado de comparabilidad de experiencias llevadas a cabo en distintas áreas y sobre distintos cultivos y esta circunstancia seguramente ha contribuido a crear la confusión que existe con respecto a las posibilidades de uso de fertilizantes en la agricultura cerealera.

El presente trabajo consta de tres partes. En primer lugar (sección II), se analiza un cuidadoso ensayo de fertilización en maíz llevado a cabo en la Estación Experimental del INTA en Marcos Juárez, en la campaña 1967/68¹, postulando una función de pro-

¹ NOVELLO Pedro, PURICELLI Carlos y BORREL Jorge, *El contenido de Nitratos en el suelo y su relación con los rendimientos de distintas poblaciones de maíz*, Publicación Técnica N° 1 de la Estación Experimental del INTA de Marcos Juárez, mayo de 1969.

ducción "ad-hoc" donde la variable dependiente es producción de maíz y las independientes el contenido de materia orgánica en el suelo, la cantidad de nutrientes agregado en forma de fertilizante y la humedad en el suelo en dos momentos críticos del ciclo vegetativo del maíz².

En la sección III se analizan las implicaciones económicas del ensayo en cuestión, indicando a que precios resultaría rentable el empleo de nitrógeno en cultivos similares a los del ensayo experimental.

Finalmente (sección IV) se realizó una evaluación tentativa de los costos y beneficios asociados con el uso de fertilizantes si sus precios se aproximaran a los actualmente vigentes en el mercado internacional.

II. Una función de producción de maíz para distintos niveles de población

Como se indicara en la sección anterior, este trabajo se basa en el análisis e interpretación de un comprensivo ensayo a campo llevado a cabo por personal técnico de la Estación Experimental del INTA en Marcos Juárez, en la campaña 1967/68. A fin de generalizar los resultados allí presentados se supuso una función de producción del tipo Cobb-Douglas, con las siguientes características:

$$X = A F^{b_1} M^{b_2} P^{b_3} H_s^{b_4} H_r^{b_5}$$

donde:

X = Producción de maíz en kilogramos por hectárea.

F = Cantidad de fertilizantes (nitrógeno) en kilogramos por hectárea.

M = Contenido en materia orgánica del suelo, expresado en porcentaje.

P = Punto de marchitamiento: contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, por debajo del cual la humedad del suelo no es aprovechable para las plantas.

² También se incluyó el "coeficiente de marchitamiento" como variable independiente, dada la distinta naturaleza de las parcelas donde se realizaron los ensayos.

H_s = Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, existente en el momento de la siembra.

H_t = Igual al anterior, al momento de la floración.

A = Término constante.

La especificación elegida permite individualizar el efecto de las principales variables que influyen sobre los rendimientos de maíz. De ninguna manera se formula en este caso una función de producción convencional, es decir una que incluyera la totalidad de los servicios productivos —medidos en calidad y cantidad— empleados en la producción de maíz. En este caso se supone que la técnica cultural empleada en todos los tratamientos ha sido la misma, con excepción de los factores cuyo efecto se individualiza al especificar la función (fertilizante, materia orgánica, etc.). El término constante (A) entonces capta el efecto de los restantes factores de producción considerados constantes para todos los ensayos.

En vista del amplio margen de variación en las densidades (número de plantas por hectáreas ensayadas), se decidió considerar esta variable exógena, es decir que se estimaron funciones de producción para cada una de las cuatro densidades ensayadas³.

En todos los casos se trabajó con veinte observaciones generadas a partir de 5 tratamientos⁴ y cuatro niveles de fertilización en cada uno de ellos (0-30-60-90 kg de nitrógeno por hectárea). Las funciones de producción construidas en la forma indicada fueron llevadas a formas logarítmicas y estimadas por mínimos cuadrados simples. Mediante este procedimiento los coeficientes resultante son las respectivas elasticidades parciales de la variable dependiente respecto a cada una de las variables independientes.

El Cuadro N° 1 resume los resultados obtenidos. En todos los casos los coeficientes tienen los signos esperados y en general son estadísticamente significativos. El poder explicativo de las ecuaciones

³ Si se adopta un criterio alternativo, es decir incluir el número de plantas por hectárea como una variable independiente más, los resultados son análogos a los del Cuadro 1. Sin embargo desde nuestro punto de vista se pierde información en el sentido de que el coeficiente de fertilizante es un valor intermedio (.043) de los obtenidos cuando se considera la densidad exógena.

⁴ Los cinco tratamientos elegidos fueron los números 1, 2, 3, 6 y 8 de la referida publicación para los cuales la información es completa.

es de alrededor del 80 % para las tres primeras densidades y cae al 65 % en el caso de 80.000 plantas por hectárea.

CUADRO 1
COEFICIENTES DE PRODUCCION DE MAIZ PARA VARIAS
DENSIDADES DE PLANTACION

Ecuación	Plantas/ha (a la siembra)	Constante	Fertilizante	Materia orgánica	Punto de mar- chitamiento	Humedad en el suelo		R ²	DW
						Siembra	Fiorac.		
1	20.000	— 5,676 (1,65)	0,017 (1,75)	2,013 (3,67)	—2,778 (6,33)	0,749 (1,11)	3,451 (5,48)	0,783	2,43
2	40.000	—16,671 (5,08)	0,026 (2,73)	2,330 (4,46)	—1,505 (3,58)	4,022 (6,28)	2,485 (4,14)	0,836	2,20
3	60.000	—20,338 (4,21)	0,067 (4,74)	2,382 (2,99)	—0,592 (1,04)	5,029 (5,30)	1,800 (1,96)	0,800	1,50
4	80.000	—18,909 (2,38)	0,069 (3,00)	1,665 (1,31)	—0,918 (0,90)	5,222 (3,36)	1,611 (1,11)	0,661	1,82

Nota: Los números entre paréntesis debajo de cada coeficiente, son los valores del test "t" de Student para cada coeficiente.

La elasticidad rendimiento-fertilizante crece a medida que aumenta el número de plantas por hectárea y en todos los casos, excepto el primero, la significancia estadística del coeficiente es muy alta ⁵. Este resultado es lógico e importante reflejando el hecho de que a medida que se incrementa la demanda de nutrientes del suelo como consecuencia del mayor número de plantas por unidad de superficie, el efecto del fertilizante se manifiesta con mayor intensidad.

El contenido de materia orgánica del suelo también aparece como una variable de relevancia, e instrumental para el logro de mayores rendimientos por hectárea ⁶. Los resultados obtenidos sugieren el rol cambiante de la materia orgánica y del fertilizante a medida que varía (aumenta) el número de plantas por hectárea: en efec-

⁵ Para la densidad de 20.000 pl/ha el coeficiente de fertilizante es marginalmente distinto de cero al por ciento de nivel de significancia.

⁶ El contenido de materia orgánica en los suelos donde se realizaron los ensayos, osciló entre 2,40 % y 3,30 %. Ver Apéndice I.

to en poblaciones de 20.000 plantas por hectárea el coeficiente de fertilizante es marginalmente significativo, en cambio el correspondiente al contenido de materia orgánica es estadísticamente muy fuerte. Dicha situación se invierte al considerar poblaciones de 80.000 plantas por hectárea, en cuyo caso el contenido de materia orgánica pierde poder explicativo en tanto que se exalta el efecto del fertilizante. Pero lo realmente importante es, con seguridad, tomar nota que en los rangos de poblaciones más frecuentemente encontrados en el gran cultivo (40.000-60.000) ambas variables son estadísticamente muy significativas.

El punto de marchitamiento indica el límite por debajo del cual la humedad existente en el suelo deja de ser aprovechable para la planta. Se trata de una constante para cada suelo, y su inclusión en el modelo se debe a que el contenido de humedad del suelo no indica "per-se" la cantidad de agua disponible para las plantas. El signo negativo del coeficiente se debe a la relación inversa existente entre el umbral de humedad no aprovechable del suelo y el rendimiento⁷, en el caso que se mantuvieran constantes todas las otras variables. En dos casos el coeficiente es estadísticamente significativo y en los otros dos lo es sólo marginalmente.

La humedad en el momento de la siembra es otra variable de alto poder explicativo en particular para las densidades medias y superiores. La explicación natural de la baja significancia estadística de esta variable en el caso del menor número de plantas por hectárea es que la competencia por humedad, al comienzo del ciclo vegetativo no alcanza a ser lo suficientemente fuerte cuando el número de plantas por unidad de superficie es relativamente bajo. Por el contrario, el contenido de humedad del suelo en el momento de la floración adquiere fuerte relevancia estadística para tres de las cuatro densidades estudiadas, siendo sólo apenas significativo en el caso del máximo número de plantas por hectárea.

Este último hecho no resultaría claro, pues cabe suponer que la competencia por la humedad disponible se exalta a medida que aumenta la cantidad de plantas por unidades de superficie. Sin embargo, la mayor densidad exalta el efecto "sombrija" (canopy) so-

⁷ Alternativamente podría haberse incluido las variables H_s y H_r corregidas por el punto de marchitamiento, esto es $(H_s - P)$ y $(H_r - P)$. Los resultados obtenidos siguiendo dicho procedimiento son en líneas generales similares a los presentados en este artículo.

bre el suelo, disminuyendo la pérdida de agua por transpiración. Tal vez estos dos factores actuando en sentidos opuestos reducen la capacidad explicativa de la humedad en el suelo al momento de la floración para el mayor nivel de humedad ⁸.

La legitimidad de incluir las variables escogidas puede también apoyarse en los resultados que se obtienen al utilizar, además de las mencionadas, a la densidad como variable endógena. En este caso el número de observaciones alcanza a 80 y la ecuación resultante es ⁹:

$$\begin{aligned} \text{Log X} = & -15,449 + 0,043 \log F - 1,340 \log P + 3,557 \log H_s + \\ & (5,25) \quad (5,02) \quad (3,65) \quad (6,21) \\ & + 0,393 \log D + 2,046 \log H_i + 1,783 \log M \\ & (11,13) \quad (3,76) \quad (3,77) \\ R^2 = & .755 \quad DW = 1,59 \end{aligned}$$

Aquí todas las variables son significativamente distintas de cero al 1 % de probabilidad por lo menos. Es posible que al disminuir el número de observaciones por transformar la densidad (D) en una variable exógena, algunas de las variables —en particular las relacionadas con la humedad del suelo— disminuyan su significancia.

III. Implicaciones económicas

Las funciones de producción estimadas en la sección anterior permiten establecer, bajo ciertos supuestos que se especifican más adelante, el óptimo económico para el uso de fertilizantes nitrogenados.

En efecto, a partir de la transformación logarítmica de la función de producción:

$$\begin{aligned} 1) \text{ Log X} = & \log A + b_1 \log F + b_2 \log M + b_3 \log P + \\ & + b_4 \log H_s + b_5 \log H_i \end{aligned}$$

por derivación parcial se obtiene:

⁸ El Ing. Carlos PURICELLI me llamó la atención sobre las posibles implicaciones del efecto sombrilla.

⁹ Los símbolos corresponden a las variables descritas al comienzo de esta sección. D indica el número de plantas cosechadas por hectárea. Los números entre paréntesis debajo de los coeficientes son los valores t.

$$2) \frac{\partial \log X}{\partial \log F} = b_1$$

a su vez

$$\frac{\partial \log X}{\partial \log F} = \frac{\partial X}{X} : \frac{\partial F}{F} = \frac{\partial X}{\partial F} \frac{F}{X}$$

entonces

$$3) b_1 = \frac{\partial X}{\partial F} \cdot \frac{F}{X} \text{ es decir que el coeficiente } b_1 \text{ es la elasticidad parcial de la producción de maíz con respecto al fertilizante.}$$

Por su parte, el conocimiento de la elasticidad parcial permite estimar en cualquier punto de la curva de producción el respectivo producto marginal siempre que se conozcan las cantidades de insumo y producto correspondientes a dicho punto de la curva:

$$4) \text{ Producto marginal} = \text{PMg} = \frac{\partial X}{\partial F} = b_1 \frac{X}{F}$$

El conocimiento del producto marginal es de fundamental importancia para el análisis de la economicidad en el uso de fertilizantes. En efecto, la teoría de la firma indica que se utilizarán cantidades crecientes del factor variable hasta alcanzar el punto en que su producto marginal iguale al precio del insumo en términos del producto:

$$5) \frac{\partial X}{\partial F} = \frac{P_f}{P_x}$$

En otras palabras se llegará a la igualdad

$$\Delta X \cdot P_x = \Delta F \cdot P_f$$

a partir de $\Delta X \cdot P_x > \Delta F \cdot P_f$, es decir, desde posiciones donde el costo adicional del fertilizantes ($\Delta F \cdot P_f$) resulte menor que el beneficio adicional obtenido mediante su uso ($\Delta X \cdot P_x$). El Cuadro N° 2 presenta la información sobre productividad marginal en la fertilización de maíz para diversas densidades de plantas y dosis de nitrógeno por hectárea correspondientes al ensayo analizado.

CUADRO 2

PRODUCCION DE MAIZ PARA VARIAS DENSIDADES Y APLICACIONES DE FERTILIZANTES Y SUS RESPECTIVOS PRODUCTOS MARGINALES

Densidad (Pl/ha)	Kg de nitrog. por ha	kg de maíz por ha	Producto físico marginal
	—	2.830	—
20.000	30	3.000	1,70
	60	3.030	0,85
	90	3.040	0,58
	—	3.640	—
40.000	30	3.980	3,45
	60	4.050	1,76
	90	4.100	1,18
	—	3.730	—
60.000	30	4.690	10,47
	60	4.910	5,48
	90	5.050	3,76
	—	3.660	—
80.000	30	4.630	10,65
	60	4.850	5,58
	90	4.990	3,83
	—	—	—

Nota: Productos marginales estimados según explicación en el texto. La producción de maíz por hectárea ha sido calculada a partir de las ecuaciones del cuadro 1, asignando a cada una de las variables independientes el valor promedio de los cinco ensayos considerados.

Las densidades extremas de 20.000 y 80.000 plantas por hectárea no revisten mayor interés. La primera no representa condiciones usuales de cultivo. Sin embargo, hay un detalle de importancia: las bajas productividades marginales con respecto a fertilizante indican que para tal densidad, el contenido de materia orgánica del suelo resulta una fuente suficiente de nitrógeno y que el “techo” de producción se alcanza con el nitrógeno aportado por la materia orgánica, no existiendo capacidad de aprovechamiento para mayores cantidades de nutrientes. La densidad mayor (80.000 plantas/ha) se descarta, pues no hay diferencia con los rendimientos obtenidos en poblaciones de 60.000 plantas/ha, no justificándose entonces incrementar la población por encima de tal cifra, cuando el propósito del cultivo es la obtención de grano¹⁰.

¹⁰ La situación puede cambiar si el cultivo se evalúa en función de la producción de materia verde por hectárea.

En consecuencia, nuestro análisis se concentrará en las dos categorías intermedias: 40.000 y 60.000 plantas por hectárea. Los rendimientos de maíz en las parcelas sin fertilizar son virtualmente iguales (2 % de diferencia) para ambas densidades. Con 40.000 plantas por hectárea, el máximo efecto de fertilizantes se logra mediante el agregado de 30 kilogramos de nitrógeno por hectárea, sin que se aumenten los rendimientos con mayores dosis. El incremento logrado con la primera dosis de fertilizante es suficientemente modesto como para permitir cifrar grandes esperanzas de obtener aumentos sustanciales de producción por unidad de superficie mediante el uso de fertilizantes. El factor limitante parece ser en este caso el bajo número de plantas por hectárea.

Claramente surge la complementaridad entre la población y el nivel de fertilizante al analizar el comportamiento de las parcelas con 60.000 plantas de maíz por hectárea. Como se mencionara en el párrafo anterior el rendimiento inicial —sin agregado de fertilizante—, es similar para parcelas con 40.000 y con 60.000 plantas por hectárea. Al incorporar nitrógeno el comportamiento de ambas difiere sustancialmente y es así que para 60.000 plantas por hectárea los rendimientos se incrementan en 30 %, mediante el agregado de 60 kg de nitrógeno por hectárea, en tanto que para 40.000 pl/ha el incremento es de sólo 10 %. En ese punto, el producto marginal del fertilizante para un cultivo de 60.000 pl/ha es 5,48, vale decir que en condiciones de perfecta certidumbre sobre el resultado de la aplicación del nutriente, el productor aplicaría 60 kg de nitrógeno por hectárea si $\frac{P_f}{P_x} = 5,48$ o, alternativamente, si el precio de un kilogramo de nitrógeno puesto en chacra y aplicado igualara al precio de 5,48 kg de maíz en planta. Si la relación fuera mayor, esto es, si el productor necesitara más maíz para pagar por una unidad de nitrógeno, obviamente emplearía menores cantidades de fertilizante. Si por ejemplo, se requirieran 10 kg de maíz en planta para comprar 1 kg de nitrógeno ($P_f = 10 P_x$), la condición de equilibrio mencionada anteriormente¹¹, restringiría el uso de fertilizante a 30 kg de nitrógeno por hectárea.

A esta altura del análisis es necesario conocer cuál es la relación entre el precio del maíz y del fertilizante imperante en la Argenti-

¹¹ Ver página 336, ecuación 5.

na. El conocimiento de la misma permitirá establecer si existe allí un cuello de botella que impida alcanzar mayores niveles de producción mediante un uso más difundido de fertilizantes. El paso siguiente será ver si es posible y/o conveniente modificar tal situación.

En cuanto al precio del maíz, la magnitud relevante es en este caso el precio neto de los gastos de cosecha, comercialización y flete. Es decir, el precio del maíz en planta que multiplicado por el incremento de producción permitirá establecer el beneficio adicional ($\Delta X P_x$) atribuible al empleo de fertilizante. Dicho precio se obtuvo así:¹²

. Precio por quintal, marzo 1970		\$ 13,50
. Cosecha, ensilado y secado	\$ 2,40	
. Flete ferroviario a puerto	„ 1,04	
. Acarreo a estación, carga y pesaje	„ 0,76	„ 4,20
Precio del quintal de maíz en planta		\$ 9,30

En cuanto al nitrógeno, el precio que interesa para este análisis es el de la unidad de nitrógeno aplicado al cultivo. La información sobre esta materia está sujeta a errores mayores que en el caso de maíz, dado que por su escaso uso no existe un mercado transparente. El precio de la tonelada de urea al productor oscila entre 420 y 450 pesos por tonelada. Se elige este producto por ser, dentro del escaso empleo que alcanzan los fertilizantes en la región pampeana, el de mayor difusión. Dado que la urea contiene 46 % de nitrógeno y tomando como precio medio al productor \$ 425, el kilogramo de nitrógeno resulta a \$ 0,92 aproximadamente. Siendo el precio del maíz \$ 0,093 por kg, el precio relativo resultante de casi 10, sólo justificaría el uso de la menor dosis de fertilizante si existieran condiciones de perfecta certidumbre.

Con tal panorama de precios, no sorprende el magro empleo de fertilizantes en la agricultura cereal argentina. ¿Cabe modificar la situación? Esta es la pregunta que inmediatamente surge al comprobar la decepcionante situación existente en materia de precios relativos. Para modificar la relación de precios puede actuarse sobre uno o ambos componentes. En nuestro caso en particular, interesa saber

¹² Información suministrada por el Grupo de Costos Agropecuarios de la Dirección Nacional de Economía y Sociología Rural, abril 1970.

si es posible aumentar el precio del maíz, disminuir el del nitrógeno, o actuar sobre ambos a la vez, de tal modo que disminuya el precio relativo P_I/P_x .

La Argentina vende más de la mitad de su producción de maíz en el mercado internacional donde enfrenta una demanda muy elástica que en primera aproximación puede considerarse horizontal. En tales circunstancias el precio del maíz constituye un dato, sólo susceptible de ser modificado a nivel del productor a través de modificaciones del tipo de cambio o disminuciones en los derechos de exportación. La primera medida esta fuera de consideración por parte del Gobierno y la segunda reportaría un aumento en el precio del maíz al productor de \$ 0,01 por kg, aproximadamente, con lo que el precio relativo descendería a algo menos de 10.

Como se ve, ninguna modificación sustancial puede esperarse a partir de los precios del maíz, excepto que provengan de un cambio en la demanda internacional, eventualidad fuera de nuestro control.

La perspectiva es muy distinta si se consideran los precios del nitrógeno. El cuadro N° 3 da una idea clara de la evolución y nivel actual de precios de los principales fertilizantes nitrogenados, en USA y en la Argentina. Cabe llamar la atención sobre el nivel y evolución de dichos precios en particular las drásticas reducciones ocurridas en el precio del amoníaco anhidro.

CUADRO 3
EVOLUCION DE LOS INDICES DE PRECIOS DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS A NIVEL DE PRODUCTOS (1965 = 100)

Año	Estados Unidos de América			Argentina	
	Amoníaco anhidro 82 % (1)	Urea 46 % (2)	Sulfato de Amonio 21 % (3)	Urea 46 % (4)	Sulfato de Amonio 21 % (5)
1964	105,4	103,2	100	—	—
1965	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1966	95,3	93,9	96,0	77,1	83,6
1967	87,4	90,4	95,6	87,6	109,8
1968	66,9	81,2	93,0	77,1	96,7
1969	54,0	69,5	—	80,0	88,5

Nota: Precios deflacionados por los Indices de Precios Implícitos en el producto bruto en dólares (USA) y pesos de 1968 (Argentina). Información suministrada por distribuidores de fertilizantes (Argentina) y obtenida para EE.UU. de varios números del USDA "Agricultural Prices" y FAO. Las columnas correspondientes a sulfato de amonio se han incluido a título ilustrativo. Sus posibilidades de empleo en cerealicultura son casi nulas en virtud del bajo contenido en nitrógeno. Índice 100 = 131, 113 y 64 dólares para las columnas (1), (2) y (3); 494 y 286 pesos ley 18.188 para las columnas (4) y (5).

Frente a los 75 dólares por tonelada que en 1969 pagaba el agricultor norteamericano por una tonelada de amoníaco anhidro, su colega argentino debía desembolsar casi 3 veces ese valor. No hay entonces motivo de sorpresa por la escasa difusión de los fertilizantes nitrogenados en la Argentina, si a esta abismal diferencia de precio se suma el mayor precio recibido por los agricultores norteamericanos por su producción agrícola. La diferencia de precios también existe, pero en menor grado, en el caso de la urea, adonde alcanza alrededor de 1,50. Tales diferencias se deben primordialmente a dos causas: la alta protección imperante para la industria local y los altos costos asociados con la comercialización de fertilizantes en un mercado incipiente y muy limitado.

No es el objeto de este trabajo explorar los costos asociados con la modificación de la política tarifaria de fertilizantes. Para nuestro propósito basta indicar que es posible lograr reducciones sustanciales en los precios del fertilizante nitrogenado modificando la política de derechos de importación o subsidiando su consumo y que —presumiblemente tal reducción en el precio, al incrementar el mercado, permitirá posteriores reducciones debidas a economías de escala en la comercialización de los fertilizantes. Si se tiene en cuenta que el derecho de importación del amoníaco anhidro-fertilizante por sí mismo así como materia prima en la producción de urea— es de 70 %, parece prudente estimar que la remoción de esta tarifa (o un subsidio equivalente al consumo) bajará el precio de la unidad de nitrógeno —en cualquiera de sus formas— drásticamente. Por ejemplo, si el precio del nitrógeno descendiera a \$ 0,46 por kilogramo (un 100 % de reducción) y con iguales precios del maíz, el precio relativo disminuiría a 5 aproximadamente.

En tales circunstancias, sí cabría esperar una adopción sustancial de los fertilizantes en la producción de maíz¹³ con el stock de variedades actualmente cultivadas en nuestro país. Esta es una consideración de suma importancia, pues es bien conocido que resulta posible desarrollar variedades de cereales cuya producción de grano es altamente sensible a la presencia de mayores cantidades de nutrientes en el suelo.

¹³ Con respecto a la generalizada reserva que existe acerca de la aleatoriedad en el uso de fertilizantes, dadas las muy variables condiciones de humedad existentes durante el ciclo vegetativo del maíz, ver Apéndice II.

Sin duda que en el futuro parte de la labor fitotécnica en la Argentina se conducirá teniendo este objetivo en consideración, pero lo importante a esta altura es señalar que, modificando los precios relativos nitrógeno/maíz del modo expuesto, podría de inmediato hacerse un uso económicamente beneficioso del fertilizante con las variedades actualmente disponibles en la Argentina.¹⁴ Este es un aspecto realmente trascendente que puede puntualizarse gracias a los cuidadosos ensayos llevados a cabo por la Estación Experimental de Marcos Juárez.

IV. — Se ha mostrado que es posible modificar la relación de precios nitrógeno/maíz de tal forma que con poblaciones de 60.000 plantas por hectárea y aplicaciones del orden de los 60 kilogramos de nitrógeno sería posible lograr incrementos de producción de 1.300 kilogramos por hectárea (ver cuadro Nº 2). Supongamos que dichos rendimientos sólo superaran al testigo en 1.000 kg por hectárea cubriendo así el riesgo de años con déficit de humedad, etc.

En tales circunstancias, el “proyecto fertilizante” a nivel de la chacra —y con precios del insumo reducidos— se comportaría así:

$$\text{Beneficio: } 1.000 \text{ kg/ha} \times \$ 0,093 \text{ kg} = \$ 93/\text{ha}$$

$$\text{Costo: } 60 \text{ kg N/ha} \times \$ 0,50/\text{kg N} = \$ 30/\text{ha}$$

$$\text{B/C} = 3,10$$

Por cierto que la relación B/C obtenida puede ser ajustada por muchos factores, y aun así continuaría siendo un proyecto de alta rentabilidad.¹⁵

Cabe finalmente preguntarse qué importancia puede tener la adopción de fertilizantes en el panorama agropecuario argentino. A juicio del autor hay dos consideraciones fundamentales y mutuamente relacionadas:

a) Aumentar la producción de maíz, cuya demanda como grano

¹⁴ Para una elaboración más detenida sobre las implicancias de este punto, ver HERDT R. y MELLOR John, *The Contrasting Response of Rice to Nitrogen: India and the U.S.A.* Journal of Farm Economics, 1963.

¹⁵ La tasa interna de retorno del proyecto sería $r = \frac{B}{C} - 1 = 210 \%$.

Un proyecto es habitualmente considerado como de alta rentabilidad cuando supera la barrera del 30 % de tasa retorno.

forrajero en el mundo está en fuerte expansión. No parece excesivamente optimista pensar que al facilitarse a los agricultores la compra de fertilizantes a precios próximos a los internacionales, puede lograrse, en promedio y en los próximos años, un aumento de producción del orden del millón de toneladas anuales de maíz (1 Tn/ha en un millón de hectáreas) atribuibles solamente al uso de fertilizantes con el stock actual de variedades.

En efecto, es conocido el hecho de que una parte sustancial de la producción de maíz se lleva a cabo en la región pampeana en explotaciones chicas, cuyo tamaño impide la rotación agricultura-ganadería. En dichas explotaciones el tenor de materia orgánica del suelo es frecuentemente bajo, llegando a niveles donde el uso del fertilizante nitrogenado puede suplir el escaso contenido en materia orgánica.¹⁶ De acuerdo al censo agropecuario de 1960, de los casi dos millones de hectáreas de maíz cultivadas en 1959/60 en la región pampeana, el 32 % se localizaba en explotaciones de hasta 100 ha de extensión y el 41 % correspondía a explotaciones entre 100 y 400 ha. Los aumentos continuos en el área sembrada con maíz que han ocurrido en la última década se deben en buena medida, a la utilización de tierras de explotaciones más grandes, donde el contenido de materia orgánica en el suelo puede regularse mediante rotaciones y por lo tanto la necesidad de fertilizar para aumentar rendimientos es

¹⁶ Esta afirmación descansa en los resultados logrados en el primer año de ensayos cooperativos INTA-CIMMYT (campaña agrícola 1968/69, sobre técnicas culturales en maíz. En efecto, al resumir los resultados de 11 ensayos (pág. 56 del informe mimeografiado "First Annual Report of The Cooperative Inta-Cimmyt — Ford Foundation corn and wheat Improvement Program, 1969"), se señala que la respuesta de los rendimientos de maíz a la aplicación de fertilizantes nitrogenados fue estadísticamente significativa en 6 localizaciones donde el contenido de materia orgánica del suelo oscilaba entre 2.70 % y 3.50 % y en cambio no se observaron mayores rendimientos de maíz estadísticamente significativos en suelos cuyos contenidos en materia orgánica oscilaron entre 3.58 y 5.52 %. El primer grupo de localizaciones corresponde —en primera aproximación— a establecimientos de pequeña y mediana extensión donde el uso continuo del suelo en la producción de cereales y oleaginosos durante muchos años ha deprimido el nivel de materia orgánica, en tanto el segundo grupo —alto contenido en materia orgánica y ausencia de respuesta a la aplicación de fertilizante— tipifica unidades agrícolas de mayor extensión donde el contenido de materia orgánica puede mantenerse a mayor nivel empleando rotaciones. En consecuencia desde el punto de vista de política económica el empleo de fertilizantes debe analizarse preferentemente con relación a los predios pequeños y medianos.

mucho menor. Restringiendo nuestro análisis a las explotaciones de hasta 400 ha y considerando que la totalidad de las de hasta 100 ha y la mitad de las ubicadas en la escala de 100 a 400 ha tienen suelos empobrecidos en materia orgánica donde la producción de maíz se beneficiaría mediante la aplicación de fertilizantes nitrogenados, puede considerarse, en primera aproximación, que alrededor de un millón de hectáreas de maíz podrían ser ventajosamente abonadas todos los años.

b) Frente al problema del minifundio y tierras empobrecidas, tal como se insinúa y seguramente se acentuará en la zona agrícola tradicional de la región pampeana, el fertilizante actúa como un sustituto de la tierra, permitiendo además al agricultor realizar un uso más intenso del factor tierra (por ejemplo, haciendo tres cosechas en dos años) y consecuentemente, mejorar su ingreso. Esta consideración es de la mayor importancia por sus repercusiones, tanto sociales como económicas.

V. — *Conclusiones.*

A partir de un ensayo sobre aspectos del uso de fertilizantes en maíz, realizado por la Estación Experimental de Marcos Juárez en 1967/68, se ha analizado las posibilidades de un mayor uso de este insumo y su repercusión económica.

Se concluye que con la estructura actual de precios no hay en general incentivo alguno para su empleo, pero que de operarse modificaciones en la relación de precios existe un amplio campo para su uso, con el stock de variedades de maíz existente. Dado que el ensayo estudiado sólo cubre un año, en el Apéndice II se analiza brevemente si las condiciones de lluvias imperantes en la campaña pueden o no considerarse típicas de la zona en estudio.

APENDICE I

LA INFORMACION ESTADISTICA *

Ensayo Nº	Kilogramo nitrógeno/ha	Punto permanente de marchitamiento %	Humedad de siembra %	Plantas cosechadas por hectárea	Kilogramo de maíz por hectárea	Humedad en floración %	Materia orgánica %
1	0	14.67	22.66	22.380	2.740	17.73	2.60
				34.523	2.980		
				45.476	2.641		
				60.000	2.298		
				21.666	2.840		
	30	37.380	4.119				
		48.195	3.678				
		56.190	3.382				
		23.090	3.382				
		36.428	3.973				
	60	56.666	4.810				
		71.428	4.944				
		21.428	3.132				
		35.714	3.530				
		48.333	5.095				
90	73.809	5.796					
	19.285	2.286	15.92	2.80			
	35.714	3.522					
	48.809	4.070					
	68.571	3.652					
19.285	2.825						
30	34.761	3.978					
	49.285	4.664					
	64.761	4.385					
	20.952	2.491					
	38.333	4.293					
60	52.666	5.227					
	69.047	5.970					
	21.904	2.380					
	37.142	3.791					
	53.809	4.821					
90	68.428	4.497					
	18.333	2.765	17.05	2.40			
	34.761	4.083					
	46.428	4.337					
	70.238	5.002					
20.714	2.810						
30	37.619	4.095					
	49.524	4.814					
	64.290	5.313					

APENDICE I (Continuación)

Ensayo Nº	Kilogramos nitrogeno/ha	Punto permanente de marchitamiento %	Humedad de siembra %	Plantas cosechadas por hectárea	Kilogramos de maíz por hectárea	Humedad en floración %	Materia orgánica %	
	60			19.761	2.883			
				36.193	4.376			
				50.000	5.216			
				65.000	5.548			
	90			18.095	3.341			
				34.290	4.474			
				46.428	5.060			
6	0	13.23	24.07	62.380	5.060	16.31	2.80	
				21.190	3.369			
				43.571	4.789			
				56.428	4.536			
				66.900	4.638			
				21.428	3.575			
	30				37.380	5.448		
					51.900	6.155		
					67.142	6.155		
	60				21.190	4.131		
					38.800	5.346		
					51.900	5.900		
90				72.619	5.297			
				21.428	3.589			
				39.045	5.283			
				55.476	7.066			
8	0	12.40	21.84	71.190	7.268	13.62	3.30	
				22.633	3.221			
				38.571	3.524			
				51.666	3.626			
				63.333	3.727			
				22.142	3.019			
	30				37.143	4.131		
					51.666	4.030		
					66.904	3.221		
	60				23.095	3.120		
					38.809	3.423		
					52.857	4.536		
90				64.761	3.825			
				21.428	2.816			
				37.857	3.524			
				50.000	3.727			
				63.095	3.727			

* Fuente: PURICELLI, Carlos y colaboradores: obra citada.

APENDICE II

*LAS LLUVIAS EN 1967/68 CON RELACION AL PROMEDIO
DE PRECIPITACIONES EN EL PERIODO 1959/60-1969/70*

Dado que el ensayo de técnicas culturales en maíz analizado se realizó en la campaña 1967/68, es pertinente investigar en qué medida las lluvias de ese año son representativas del promedio de lluvias primavera-estivales en la región donde se condujeron los ensayos. Con tal fin se computaron los promedios de lluvias caídas en 7 de las 8 localizaciones del ensayo para los siguientes períodos: setiembre-febrero; setiembre-noviembre y diciembre-febrero; setiembre-octubre; noviembre-diciembre y enero-febrero, y en cada uno de los casos se calculó el estadígrafo "t" a fin de establecer si la lluvia caída en la campaña 1967/68 difería o no significativamente del promedio del período 1959/1969.

Considerando el semestre en su conjunto, 5 de las 7 localizaciones muestran lluvias significativamente más altas en el año de los ensayos, lo que induciría a pensar que en conjunto se trató de un año de lluvias más favorables que el promedio. Al examinar las lluvias trimestrales (setiembre-noviembre y diciembre-febrero) se nota que la discrepancia entre el año 1967/68 y el promedio se centra en el primer trimestre (lluvias primaverales) en el que las mismas cinco localizaciones muestran lluvias superiores al promedio; en cambio las

Valores de la distribución "t" de Student:

Lluvias de 1967/68 comparadas con el promedio de 1959/60-1969/70

Localidad	Períodos					
	Semestres		Trimestres		Bimestres	
	A	B	C	D	E	F
El Cantor	0,586	0,656	1,357	2,843	2,911	3,905
Armstrong	5,414	6,562	0,892	9,275	1,987	0,578
Montes de Oca	0,924	0,939	0,478	0,176	1,263	0,582
Marcos Juárez	7,018	7,598	1,069	9,356	4,754	4,709
Cañada de Gómez	3,296	5,935	0,873	8,051	3,381	1,305
Arequito	4,532	6,265	1,423	7,776	1,993	0,071
Casilda	6,788	6,151	5,993	7,757	2,259	6,279

Nota: Período A: setiembre-febrero; B: setiembre-noviembre; C: diciembre-febrero; D: setiembre-octubre; E: noviembre-diciembre y F: enero-febrero, calculados por H. Garutti.

lluvias estivales de la campaña 1967/68 sólo en un caso difieren significativamente del promedio.

La situación es diferente —desde el punto de vista del manejo del cultivo y de su productividad— al examinar el comportamiento de las lluvias por bimestre. En este caso se observa que el año 1967-68 ha sido diferente del promedio en 5 de las 7 localizaciones para las que se dispuso de datos en el primer bimestre, en tanto que en sólo dos casos en noviembre-diciembre y en tres para enero-febrero las lluvias difirieron significativamente del promedio decenal. Estas circunstancias brindan un claro criterio para decidir sobre el uso de fertilizantes: teniendo en cuenta que su efecto se manifiesta plenamente con condiciones de humedad favorable, su aplicación puede diferirse hasta el término de la primavera si el año se presenta favorable, evitando de esta forma un gasto que puede no llegar a ser retributivo.

FERTILIZACION NITROGENADA EN MAIZ EN LA ARGENTINA: RESULTADOS EXPERIMENTALES E IMPLICACIONES ECONOMICAS

Resumen

La utilización de fertilizantes minerales en la producción de cereales es muy restringida en la Argentina, aduciéndose para ello diversas razones tales como falta de experiencias sistemáticas, falta de respuesta y altos precios de los fertilizantes. El presente trabajo, basado en experiencias de campo realizadas por una Estación Experimental oficial, explora los resultados obtenidos en cultivos de maíz a la aplicación de fertilizantes tomando en cuenta además el efecto de otras variables, tales como contenido de materia orgánica del suelo y humedad en diversos momentos del ciclo vegetativo. El autor concluye en que con la estructura actual de precios agrícolas (factor-producto) la generalización del uso del nitrógeno para la producción de maíz es problemática.

NITROGENOUS FERTILIZATION IN MAIZE IN ARGENTINE: EXPERIMENTEL RESULTS AND ECONOMICS CONSEQUENCIES

Summary

This paper deals with the use of commercial fertilizers in grain production in Argentina. The very limited use of these inputs is frequently explained in terms of the lack of response, lack of experience and high prices of fertilizers. Experiments conducted by the Experimental Station of Marcos Juárez are the basis for the analysis made here, where a non conventional production function is estimated, taking into account as independent variables fertilizer, organic matter content and soil moisture at different points of the season. The author concludes that with the existing structure of prices (high relative prices of nitrogen), there is not much incentive for farmers to adopt them as a usual practice.