

ESTANCAMIENTO TECNOLÓGICO EN EL SECTOR AGRICOLA ARGENTINO: EL CASO DE LA FERTILIZACION DEL MAIZ *

ALAIN DE JANVRY **

Es correcto afirmar que luego de una década de experimentación científica realizada en la Argentina por instituciones públicas y privadas, las posibilidades biológicas y económicas del fertilizante comercial aplicado a la producción del maíz resultan sumamente confusas. Esto puede observarse a través de las posiciones contradictorias de varias empresas productoras de insumos agropecuarios que tratan de promover el uso de fertilizantes, mientras los servicios públicos de extensión y crédito no actúan en forma coordinada con ellas. La casi totalidad de los productores de maíz jamás han experimentado con fertilizantes comerciales y solamente un 0,2 % del área total fue fertilizada en 1968. Debido a ello, el maíz es cultivado en suelos donde los únicos medios de mantener la fertilidad es a través de rotaciones con leguminosas y el uso de abonos verdes. Esto ha conducido a una declinación secular de la fertilidad del suelo, la cual es particularmente notable en explotaciones pequeñas que siguen rotaciones más intensivas en cultivos que las grandes. Esta declinación en los rendimientos asociada con un uso más intensivo de la tierra, conduce a más bajas tasas de retornos a los recursos. Así es como, bajo las actuales condiciones económicas y tecnológicas, existe un premio por el uso extensivo de prácticas rotacionales, como quedó claramente evidenciado en el trabajo de Andruchowicz [1]. Aunque la cosecha genera un ingreso bruto por hectárea superior al doble de una destinada a pastura, los productores no pueden incrementar no-

* Me he beneficiado con los comentarios de los miembros del Proyecto Pro Economía Agraria. También agradezco las sugerencias constructivas de Víctor ELIAS y de Ana María CLARAMUNT en ocasión de la presentación de este trabajo en la Sexta Reunión de Centros de Investigación Económica en Rosario.

** Profesor de la Universidad de Buenos Aires y Asesor en el Proyecto Pro Economía Agraria de la Fundación Ford.

tablemente sus ingresos siendo puestos en la disyuntiva de cultivos intensivos y bajos rendimientos, o extensivos y bajas ventas. Surge así claramente la necesidad de grandes cambios en las técnicas de producción.

El objeto de este trabajo es determinar cuáles son las condiciones de producción bajo las cuales el uso de fertilizantes es económico. Obtenemos al mismo tiempo una aclaración parcial de las razones por las cuales el uso de fertilizantes es tan poco difundido en cultivos de maíz en la Argentina, en contraste con la mayoría de los países productores de este cereal. La evidencia obtenida permite también evaluar el impacto sobre la producción y los ingresos de la política económica de precios de fertilizantes. Finalmente, implica una nueva orientación en los trabajos de investigación sobre respuesta a fertilizantes y en el esfuerzo de extensión.

Dado que el uso de fertilizantes es un medio de restituir la fertilidad del suelo, existe un cierto grado de sustituibilidad entre la fertilidad del suelo y el uso de fertilizantes para obtener un nivel dado de rendimientos. Como resultado, la respuesta al fertilizante será más pronunciada en tierras de baja fertilidad relativa, estando estas tierras ubicadas generalmente en pequeñas explotaciones con intensivas rotaciones de tierras. Usaremos entonces especificaciones de funciones de producción que nos permitan cuantificar este fenómeno. Entre todos los experimentos realizados por INTA sobre respuesta del maíz al fertilizante, los de Marcos Juárez en 1967/68 [2] han sido efectuados en los suelos más agotados. Habiendo sido además estos experimentos cuidadosamente controlados, usaremos los resultados obtenidos allí como fuente de este trabajo.

La respuesta a fertilizantes tiene carácter probabilístico, ya que es función de variables climatológicas. Es importante entonces caracterizar el riesgo económico asociado con la toma de decisiones en diferentes condiciones de producción. Además, el hecho de analizar los resultados experimentales en un contexto estocástico permite extrapolar los pocos datos presentemente disponibles a otros años y a regiones vecinales. De la probabilidad de lluvia, podemos deducir la probabilidad de respuesta a fertilizantes y obtener distribuciones de frecuencia para las productividades medias y marginales del fertilizante. Estas luego nos indicarán para un nivel dado de los precios, cuales son las probabilidades de alcanzar el óptimo económico y de cubrir los costos con cada dosis de fertilizante.

El esquema del trabajo es el siguiente: en primer lugar obtenemos información sobre precios relativos de maíz y nitrógeno en Argentina y en otros países. Luego, realizamos un análisis de función de producción de los experimentos de Marcos Juárez. Para interpretar los resultados más ampliamente, calculamos los niveles probabilísticos de humedad del suelo, a partir de series temporales de lluvia y usando las relaciones entre lluvias y humedad del suelo. Se atribuyen, a partir de aquí, niveles probabilísticos a las productividades marginales y medias del fertilizante, bajo diversas condiciones de producción. Finalmente, discutimos las implicaciones de estos resultados para investigación, extensión y planes de acción en materia de política económica.

I - *Los Precios Relativos de Maíz y Nitrógeno*

Las dos principales fuentes de obtención de nitrógeno usadas actualmente en Argentina, son la urea y el amoníaco anhidro. Mientras en el mercado mundial el nitrógeno obtenido del amoníaco anhidro cuesta la mitad que el nitrógeno a partir de la urea, ellos alcanzan en Argentina similares niveles de precios, con una ligera relación inversa en 1969.

La importación de la urea y del amoníaco anhidro es fuertemente gravada en Argentina, manteniendo así altos precios internos. Mientras los actuales derechos de aduana para el amoníaco anhidro son del 70 % [3], el precio interno a nivel del productor agropecuario es más de tres veces mayor que su recíproco en Estados Unidos.

Podemos observar en el Cuadro I, los precios en dólares, a nivel de productor, de un kilogramo de amoníaco al 82 %, de un kilogramo de urea al 46 % y de un kilogramo de nitrógeno obtenido de estas dos fuentes, en los Estados Unidos y en Argentina. Podemos observar también la caída a través del tiempo en los precios del amoníaco en Estados Unidos, como resultado de los cambios tecnológicos y de las economías de escala en su producción. En 1969, el precio del amoníaco en Argentina es 316 % superior al estadounidense y el de la urea 140 % superior.

También aparece en el Cuadro I el precio relativo nitrógeno-maíz, P_N/P_M . Observamos que mientras el productor argentino necesita vender 8,1 kilogramos de maíz para comprar un kilogramo de nitrógeno a partir de la urea, el productor norteamericano sólo necesita

vender 3,8 kilogramos. La diferencia es aún más notable cuando el amoníaco es usado como fuente de obtención del nitrógeno, ya que en este caso, el productor norteamericano sólo necesita vender 2 kilogramos de maíz por 1 kilogramo de nitrógeno y el productor argentino 9,2 kilos.

Dado que el precio del maíz en Argentina es solamente el 68 % del precio norteamericano en 1969, el productor argentino tendrá que vender cerca del 50 % más de maíz que el productor norteamericano, para comprar una misma cantidad de fertilizante aún si pudiera comprar su nitrógeno al precio estadounidense. En el Cuadro I, la columna denominada " $P_{N,EE.UU.}/P_{M,Argentina}$ " da la relación de precios de los fertilizantes extranjeros al maíz argentino. Observamos que el productor argentino tendrá que vender 5,7 kilogramos de maíz, en lugar de 8,1, si pudiera comprar la urea al precio estadounidense. De la misma manera, sólo precisaría vender 2,9 kilogramos de maíz, en lugar de 9,2 para comprar 1 kilogramo de nitrógeno a partir del amoníaco, si se enfrentara al precio norteamericano.

Esta cifra de 2,9 representa el límite inferior de lo que le sería actualmente ofrecido al productor argentino en una economía de mercado abierto, esto es, sin tarifas de importación y sin considerar políticas de subsidios al nitrógeno, como en India o en Pakistán, o de precios sostén del maíz como en Méjico. En el análisis económico subsiguiente de la fertilización del maíz, usaremos una relación de precios de 10 para caracterizar la situación *actual* argentina y de 3,5 para describir la situación *potencial* para este mismo país.

II - Una Función de Producción Experimental para Maíz Fertilizado

Los ensayos efectuados en 1967/68 por la Estación Experimental del I.N.T.A. en Marcos Juárez han sido ubicados en un triángulo formado por las Ciudades de Marcos Juárez, Casilda y Venado Tuerto. Es una zona tradicionalmente maicera con suelos algo más agotados que los de Pergamino, el centro del "corn-belt" argentino, debido al uso más intensivo de la tierra, pero de características ecológicas muy similares a las de Pergamino. Las variables sobre las cuales tenemos observaciones son:

Y Rendimiento de maíz en toneladas por hectárea.

CUADRO I
 PRECIOS DE NITROGENO Y MAIZ EN ARGENTINA Y OTROS PAISES

Países	Año	AMONIACO				kg. Urea 46 %	UREA		
		kg. Amon. 82 %	kg. N.	$\frac{P_N}{P_M}$	$\frac{P_N, EE.UU.}{P_M, Argent.}$		kg. N	$\frac{P_N}{P_M}$	$\frac{P_N, EE.UU.}{P_M, Argent.}$
		U\$\$	U\$\$	4/	5/	U\$\$	U\$\$		
EE.UU. ²	57-59	0,149	0,182	4,1	6,0	—	—	—	—
EE.UU. ²	67	0,113	0,138	2,9	3,9	0,105 ¹	0,227	4,8	6,5
EE.UU. ²	68	0,091	0,111	2,5	3,5	—	—	—	—
EE.UU. ²	69	0,076	0,092	2,0	2,9	0,084	0,182	3,8	5,7
Argentina ³	69	0,238	0,289	9,2	9,2	0,117	0,255	8,1	8,1
Argentina ³	69	0,229	0,279	8,8	8,8	0,114	0,248	7,8	7,8
Argentina ³	69	0,217	0,265	8,4	8,4	—	—	—	—
Argentina ³	69	0,267	0,326	10,3	10,3	0,132	0,286	9,1	9,1

¹ N. BORLAUG, "El Programa Coordinado de Investigación y Producción de Trigo del INTA", Informe Técnico 104, Mayo 1968.

² USDA, Agricultural Prices, Abril 15, 1969. El precio del maíz a nivel de productor fue obtenido de la misma publicación, Mayo 15, 1969. Es igual a 1,16 U\$\$/ton = 46,4 U\$\$/ton en Abril/Mayo de 1969, mientras que en 1968 era igual a 43,6 y en 1967 a 47,6.

³ Los precios de amoníaco son de Agar-Cross y los de urea de Shell, ambos en Pergamino. Los cuatro precios citados para amoníaco son: por tonelada, por dos toneladas y por más de ocho toneladas, todo al contado; por menos de dos toneladas financiadas al 16 % en 180 días. Los tres precios citados para urea son: por una y por dos toneladas al contado y para compras financiadas al 13 % de interés anual por 180 días.

⁴ P_N es el precio de 1 kilogramo de nitrógeno; P_M es el precio de un kilogramo de maíz, ambos a nivel de productor. El precio de maíz es el calculado por la Secretaría de Agricultura para la zona de Pergamino. Este es, en Marzo de 1970, de 13,50 pesos/kg. en Buenos Aires y de 11,10 en chacra. Este precio de chacra corresponde a 0,0317 dólar/kg.

⁵ El precio del nitrógeno en EE.UU. relativo al precio del maíz argentino indica cuantos kilogramos de maíz necesitará vender un productor argentino para comprar un kilogramo de nitrógeno, si pudiera comprar su nitrógeno al precio que enfrenta el productor estadounidense.

F Kilos de nitrógeno por hectárea. Las aplicaciones han sido hechas a 0, 30, 60 y 90 kg/ha.

M Porcentaje de materia orgánica en el suelo. Usamos este dato para caracterizar la fertilidad del suelo. Las observaciones han sido obtenidas en el intervalo de 2,4 a 3,3 %.

P Punto de marchitamiento en % de agua, en los 40 primeros centímetros de suelo. Indica el nivel de humedad del suelo por debajo del cual el agua no es aprovechable. Caracteriza entonces la propensión del suelo a liberar agua. Cuanto más alto es P,

menor es la cantidad de agua aprovechable para las plantas. Varía de 12,4 a 14,7 %, con un promedio de 13,8 %.

- HS Humedad del suelo en el momento de la siembra (6 al 14 de septiembre), en % de agua total sobre los 40 primeros centímetros de tierra. Se observó en el intervalo 21,84 a 25,02 %, con un promedio de 23,35 %.
- HF Humedad del suelo en el momento de la floración (12 al 14 de diciembre), también en % de agua total sobre los 40 primeros centímetros de tierra. Varía de 13,62 a 17,73 %, con un promedio de 16,13 %.
- D Densidad de plantas por hectárea en época de cosecha en miles. La siembra fue hecha a cuatro densidades: 20, 40, 60 y 90 mil plantas por hectárea.

Como estamos particularmente interesados en la sustitución potencial entre fertilizante y materia orgánica, especificamos una función de producción de Cobb-Douglas con una elasticidad de producción del fertilizante que es variable y función del nivel de materia orgánica. Es de la forma

$$Y = b_0 F^{b_1 + b_2 f(M)} M^{b_3} P^{b_4} HS^{b_5} HF^{b_6} D^{b_7} e^u,$$

donde b_0 es un término constante, $f(M)$ un polinomio en M de grado indeterminado y u un residual estocástico. En esta función, las elasticidades de producción del fertilizante y de la materia orgánica son, respectivamente,

$$\frac{\partial Y}{\partial F} \frac{F}{Y} = b_1 + b_2 f(M), \quad \frac{\partial Y}{\partial M} \frac{M}{Y} = b_3 + b_2 M \frac{\partial f(M)}{\partial M} \log F.$$

Usando la forma logarítmica de la función de producción, el mejor ajuste que obtenemos entre varias especificaciones de $f(M)$ es

$$\begin{aligned} \log Y = & -15.031 + .117 \log F - .010 M^2 \log F + 2.116 \log M \\ & (-5.192) \quad (3.003) \quad (-1.948) \quad (4.274) \\ & - 1.379 \log P + 3.463 \log HS + 1.940 \log HF + .392 \log D \\ & (-3.821) \quad (6.097) \quad (3.619) \quad (11.317) \end{aligned}$$

$R^2 = .768$, número de observaciones = 80. El nivel cero de fertilizante ha sido considerado como 1 kg/ha de nitrógeno.

Los datos entre paréntesis son los valores del estadígrafo de t . El ajuste es bueno en todos los criterios estadísticos. Todos los coeficien-

tes tienen los signos esperados y son significativamente distintos de cero al nivel de confianza del 95 %.

Observamos enseguida la importancia de la fertilidad y de la humedad del suelo sobre los rendimientos. Sin fertilizante, los rendimientos son, en tierras fértiles (3,3 % de materia orgánica), el doble de los alcanzados en tierras agotadas (2,4 %). Con las más altas condiciones de humedad del suelo observadas en la muestra, los rendimientos son casi tres veces más altos que los obtenidos con las condiciones más bajas observadas.

También se observa que la respuesta a fertilizantes es más alta en tierras agotadas que fértiles. Treinta kilogramos de nitrógeno producen un incremento de 1.039 kg. con 2,4 % de materia orgánica cuando es despreciable con 3,3 %.

III - Niveles probabilísticos de humedad del suelo

Para determinar la distribución de probabilidad de los rendimientos de maíz pronosticadas por la función de producción estimada, necesitamos estimar la distribución de probabilidad de la humedad del suelo a la siembra (septiembre) y a la floración (diciembre). Como existen pocos años de observaciones sobre humedad del suelo en campos de maíz, cuando tenemos largas series temporales sobre lluvia, debemos estimar la distribución de frecuencia de la humedad del suelo por un proceso indirecto: primero establecemos una relación entre humedad del suelo y lluvia; después obtenemos la distribución de frecuencia de la lluvia e inferimos de ésta la distribución de frecuencia de la humedad del suelo.

3.1. La Relación entre la Lluvia y Humedad del Suelo

Medidas de la humedad del suelo en campos de maíz han sido obtenidas por Fagioli [4] desde el año 1963 en ocho chacras del área de Pergamino, con dos semanas de intervalo entre mediciones, desde noviembre a marzo. La humedad del suelo, H , es medida en % de agua total en los 50 primeros centímetros de suelo, y relacionada a

L mm de lluvia durante los últimos 15 días antes de la medición de humedad del suelo,

L_1 mm de lluvia durante los 15 días anteriores a los últimos 15.

También hacemos uso de variables binarias para representar el mes al cual pertenecen los últimos 15 días antes de medición. Estas

variables toman en cuenta dos factores: (1) diferencias de temperatura entre meses, que afectan la tasa de evapotranspiración: (2) el grado de desarrollo vegetativo del maíz que afecta la tasa de absorción del agua por las plantas. Usando enero como base, las variables binarias son:

$D_1 = 1$ en noviembre y antes

$D_2 = 1$ en diciembre

$D_3 = 1$ en febrero

$D_4 = 1$ en marzo y después

Las medidas de humedad del suelo de Fagioli provienen de la zona de Pergamino, mientras nosotros estamos interesados en la zona vecinal de Marcos Juárez. Aunque las características de suelo son fundamentalmente las mismas en las dos zonas, el contenido de materia orgánica en las tierras cultivadas en maíz es generalmente más bajo en Marcos Juárez pues las chacras son más chicas y el uso de la tierra más intensivo. Con un nivel más bajo de materia orgánica, el potencial del suelo para retener el agua es menor, y con él la humedad del suelo.

Además tenemos medidas de humedad del suelo de los ensayos de Marcos Juárez. Hemos agregado estas observaciones a las de Pergamino, e introducido, en la ecuación de regresión entre humedad del suelo y lluvia, una variable binaria MJ que asume el valor uno cuando la observación proviene de Marcos Juárez y cero cuando es de Pergamino.

El ajuste obtenido es

$$H = 14.148 + .084 L + .017 L_{-1} + 6.624 D_1 + 2.033 D_2 -$$

(26.615) (10.779) (3.838) (9.844) (3.245)

$$- .547 D_3 + 1.076 D_4 - 1.434 MJ$$

(- .794) (1.205) (-.832)

$$R^2 = .709, \text{ número de observaciones} = 118.$$

Como se esperaba, la cantidad de lluvia en los últimos 15 días tiene un impacto mucho mayor sobre la humedad del suelo que la lluvia en los 15 días anteriores. También, la variable binaria septiembre-noviembre tiene un coeficiente más alto que la de diciembre, siendo las temperaturas más bajas y los requerimientos de agua de las plantas, menores. Finalmente, la variable binaria Marcos Juárez tiene

un coeficiente negativo, reflejando el potencial más bajo de retención del agua de los suelos en este área.

Podemos ahora usar esta ecuación para pronosticar la humedad del suelo a la siembra y en la floración en la zona de Marcos Juárez para distintas condiciones de lluvia.

3.2. *Distribución de Frecuencia de la Lluvia y de la Humedad del Suelo*

Los estudios empíricos de Barger y Thom [5] han evidenciado que la frecuencia acumulada de la lluvia, en el intervalo de una o más semanas, es bien ajustada por la función Gamma Incompleta. Usando los informes mensuales de lluvia, disponibles desde el año 1923 en las estaciones climatológicas de Casilda, Venado Tuerto y Marcos Juárez, hemos ajustado la función de Gamma Incompleta.

$$F(X \geq x) = 1 - \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx,$$

donde X son los mm de lluvia en un mes. Se usa la aproximación de Thom del estimador de máximo a verosimilitud $\hat{\gamma}$ de γ , la cual es obtenida de la solución de la ecuación cuadrática

$$12 Z \gamma^2 - 6\gamma - 1 = 0,$$

donde Z es el logaritmo natural de la razón del promedio aritmético al promedio geométrico de X, es decir,

$$Z = \log \bar{X} - \frac{1}{n} \sum \log X,$$

siendo n el número de observaciones. El estimador de máximo a verosimilitud de β es (ver Wilks [6], P. 391).

$$\hat{\beta} = \bar{X} / \hat{\gamma}.$$

Hemos usado las tabulaciones de la función Gamma Incompleta de Karl Pearson [7] donde la función tabulada es

$$\Gamma(u, p) = \frac{1}{\Gamma(p+1)} \int_0^u (p+1)^{1/2} y^p e^{-y} dy \text{ donde}$$

$$p = \gamma - 1, \quad y = x / \beta \quad \text{y} \quad u = x / \beta \gamma^{1/2}.$$

Las estimaciones \bar{X} , $\hat{\gamma}$ y $\hat{\beta}$ obtenidas para septiembre y diciembre son:

Estación Climatológica	Septiembre			Diciembre		
	\bar{X} (mm)	$\hat{\gamma}$	$\hat{\beta}$	\bar{X} (mm)	$\hat{\gamma}$	$\hat{\beta}$
Marcos Juárez	44,11	0,89	49,68	92,22	1,29	71,57
Casilda	47,81	0,97	49,39	93,36	2,07	45,03
Venado Tuerto	51,29	0,91	56,64	90,68	1,86	48,83

El Cuadro II da las probabilidades porcentuales (F) de alcanzar o superar niveles específicos de lluvia mensual (X) en cada uno de los dos meses y de las tres estaciones climatológicas. Usando la relación establecida entre lluvia y humedad del suelo, obtenemos también una correspondencia entre frecuencia acumulada (F) y humedad del suelo en septiembre (HS) y en diciembre (HF).

En la función de producción que hemos especificado, los rendimientos son determinados por la humedad del suelo en los períodos de siembra y floración. Entonces, la distribución de frecuencia de los rendimientos es obtenida de la distribución de frecuencia conjunta de la humedad del suelo en los dos períodos. Podemos suponer que la lluvia en septiembre y diciembre son dos acontecimientos independientes. Como estamos considerando la humedad del suelo solamente en los 40 primeros centímetros de tierra, y en dos períodos a tres meses de intervalo, podemos también suponer que la humedad del suelo a la siembra y a la floración son dos acontecimientos independientes. La distribución de frecuencia conjunta de la humedad del suelo es entonces el producto de las distribuciones de frecuencia en cada período.

Como la distribución de frecuencia de la humedad del suelo en Casilda es un intermedio entre las de Venado Tuerto y de Marcos Juárez, y, además, las tres son muy parecidas, la usaremos para caracterizar la distribución de la humedad del suelo en el análisis económico siguiente. También la podemos usar para evaluar la generalidad de los resultados obtenidos por la Estación Experimental del I.N.T.A. en 1967/68. Indica que las condiciones de humedad en la siembra habían sido particularmente buenas, pues hay solamente de 10 (25,02 % de humedad) a 36 % (21,84 % de humedad) de chances de obtener condiciones iguales o mejores. Por el contrario, la humedad en la floración fue excepcionalmente mala pues hay de 70 (17,73 % de humedad) a 100 % (13,62 % de humedad) de chances de obtener iguales o mejores condiciones.

Del conocimiento de la distribución conjunta de frecuencia de la humedad del suelo a la siembra y floración, podemos obtener niveles probabilísticos de respuesta a fertilizantes, y también caracterizar las productividades medias y marginales del fertilizante en el espacio probabilístico. Podemos entonces determinar el riesgo económico asociado con el uso de fertilizante bajo varias condiciones de producción y de precios.

CUADRO II

DISTRIBUCION ACUMULADA ESTIMADA (F) DE LA LLUVIA MENSUAL (X) Y DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN SEPTIEMBRE (HS) Y EN DICIEMBRE (HF)

SEPTIEMBRE

Venado Tuerto			Casilda			Marcos Juárez		
F (%)	X (mm)	HS (%)	F (%)	X (mm)	HS (%)	F (%)	X (mm)	HS (%)
100,00	0	19,34	100,00	0	19,34	100,00	0	19,34
78,67	80,8	19,89	80,34	9,7	19,83	78,67	9,4	19,81
63,46	21,6	20,44	65,29	19,4	20,33	63,46	18,7	20,30
51,52	32,3	20,99	53,23	29,2	20,82	51,52	28,0	20,77
41,98	43,1	21,54	43,47	38,9	21,32	41,98	37,4	21,25
34,28	53,9	22,09	35,54	48,6	21,83	34,28	46,8	21,72
28,04	64,7	22,64	29,08	58,3	22,31	28,04	56,2	22,20
22,96	75,4	23,19	23,82	68,0	22,81	22,96	65,3	22,68
18,83	86,2	23,74	19,51	77,7	23,30	18,83	74,9	23,15
15,45	97,0	24,29	15,99	87,5	23,80	15,45	84,2	23,63
12,68	107,8	24,34	13,11	97,2	24,29	12,68	93,6	24,11
10,42	118,6	25,39	10,75	106,9	24,79	10,42	103,0	24,59
8,56	129,3	25,94	8,82	116,6	25,29	8,56	112,3	25,07
7,04	140,1	26,49	7,22	126,3	25,78	7,04	121,7	25,54
5,79	150,9	27,03	5,93	136,1	26,28	5,79	131,0	26,02
4,76	161,7	27,58	4,87	145,8	26,77	4,76	140,4	26,50
3,92	172,4	28,13	4,00	155,5	27,27	3,92	149,8	26,98
3,23	183,3	28,68	3,28	165,2	27,76	3,23	159,1	27,45
2,66	194,0	29,23	2,69	174,9	28,26	2,66	168,5	27,93
2,19	204,8	29,78	2,21	184,6	28,75	2,19	177,8	28,40
1,80	215,6	30,33	1,82	194,4	29,25	1,80	187,2	28,88
1,49	226,4	30,88	1,49	204,1	29,75	1,49	196,6	29,36
1,22	237,2	31,48	1,23	213,8	30,24	1,22	205,9	29,84
1,01	247,9	31,98	1,01	223,5	30,74	1,01	215,3	30,37
0,85	258,7	32,53	0,83	233,2	31,23	0,85	224,7	30,80
0,69	269,5	33,08	0,68	243,0	31,73	0,69	234,0	31,27
0,56	280,3	33,63	0,56	252,7	32,22	0,56	243,4	31,75
0,47	291,1	34,18	0,46	262,4	32,72	0,47	252,8	32,22
0,38	301,8	34,73	0,38	272,1	33,21	0,38	262,1	32,70
0,32	312,6	35,28	0,31	281,8	33,71	0,32	271,4	33,18
0,27	323,4	35,83	0,25	291,5	34,20	0,27	280,8	33,66

CUADRO II
(Continuación)

DICIEMBRE

Venado Tuerto			Casilda			Marcos Juárez		
F (%)	X (mm)	HF (%)	F (%)	X (mm)	HF (%)	F (%)	X (mm)	HF (%)
100,00	0	14,75	100,00	0	14,75	100,00	0	14,75
96,40	13,3	15,42	97,22	12,9	15,40	88,95	16,2	15,57
87,59	26,6	16,10	90,13	25,9	16,06	75,94	32,5	16,40
77,35	39,9	16,78	80,78	38,9	16,73	63,82	48,7	17,23
66,81	53,2	17,46	70,61	51,8	17,39	53,14	65,0	18,06
56,76	66,5	18,14	60,58	64,8	18,05	43,96	81,2	18,90
47,61	79,8	18,81	51,19	77,8	18,71	36,19	97,5	19,72
39,54	93,1	19,49	42,74	90,7	19,37	29,69	113,7	20,54
32,57	106,5	20,17	35,34	103,7	20,03	24,28	129,9	21,36
26,64	119,8	20,85	28,98	116,7	20,69	19,82	146,2	22,20
21,67	133,0	21,53	23,60	129,6	21,36	16,14	162,5	23,03
17,53	146,3	22,21	19,10	142,7	22,02	13,13	178,7	23,86
14,13	157,7	22,89	15,38	155,6	22,68	10,66	194,9	24,69
11,34	173,0	23,57	12,33	168,6	23,34	8,64	211,2	25,51
9,08	186,3	24,24	9,85	181,5	24,00	7,00	227,4	26,34
7,24	199,6	24,92	7,85	194,5	24,67	5,66	243,7	27,18
5,76	212,9	25,60	6,21	207,4	25,32	4,58	259,9	28,00
4,58	226,2	26,28	4,91	220,4	25,98	3,70	276,2	28,83
3,61	239,5	26,96	3,88	233,4	26,65	2,99	292,4	29,66
2,87	252,8	27,64	3,05	246,3	27,31	2,41	308,7	30,50
2,26	266,1	28,32	2,39	259,3	27,97	1,94	324,9	31,32
1,78	279,4	29,00	1,87	272,3	28,73	1,57	341,2	32,14
1,40	292,7	29,67	1,47	285,2	29,30	1,26	357,4	32,98
1,11	306,0	30,35	1,14	298,2	29,96	1,02	373,7	33,80
0,86	319,4	31,03	0,89	311,2	30,61	0,82	389,9	34,63
0,68	332,7	31,71	0,69	324,2	31,28	0,66	406,2	35,46
0,53	346,0	32,39	0,54	337,1	31,94	0,53	422,4	36,20
0,41	359,3	33,07	0,42	350,1	32,60	0,43	438,7	37,12
0,32	372,6	33,75	0,33	363,0	33,26	0,34	454,9	37,90
0,25	385,9	34,43	0,25	376,0	33,92	0,27	471,2	38,77
0,20	399,2	35,10	0,19	389,0	34,59	0,22	487,4	39,60

IV - Economía del Uso de los Fertilizantes en Maíz

La función de producción que hemos estimado indica que existe cierto grado de sustitución entre la humedad del suelo en la siembra y la humedad en la floración, para alcanzar un nivel dado de producto. También, entonces, un nivel dado de productividad media (PMe)

o marginal (P_{Ma}) del fertilizante puede ser obtenido con un número infinito de combinaciones de HS y HF. Estas combinaciones determinan en el espacio (HS, HF) lo que podemos llamar curvas de "iso-productividad marginal" y de "iso-productividad media". El nivel de probabilidad de alcanzar a sobrepasar cualquier nivel específico de P_{Ma} o de P_{Me} es entonces la integral, en el espacio de las probabilidades, a lo largo de las curvas de iso-P_{Ma} o de iso-P_{Me}, de la función de densidad conjunta de HS y de HF. Estas probabilidades son más altas que la probabilidad acumulada conjunta de cualquier par de valores de HS y HF que permita alcanzar o superar un nivel dado de P_{Ma} o P_{Me}. Serían iguales sólo si no existiera sustituibilidad en la producción entre HS y HF.

Siendo la productividad marginal del fertilizante

$$\frac{\partial Y}{\partial F} = (b_1 + b_2 M^2) b_0 F^{b_1 + b_2 M^2 - 1} M^{b_3} P^{b_4} HS^{b_5} HF^{b_6} D^{b_7};$$

la curva de iso-productividad marginal de nivel P_{Ma₀} entre HF y HS es

$$HF = HS^{-b_5/b_6} P_{Ma_0}^{1/b_6} \left[(b_1 + b_2 M^2) b_0 F^{b_1 + b_2 M^2 - 1} M^{b_3} P^{b_4} D^{b_7} \right]^{-1/b_6}$$

$$= K_0 HS^{-b_5/b_6} \text{ (por definición de } K_0 \text{).}$$

Nos da, para cualquier nivel posible de HS, el nivel correspondiente de HF necesario para alcanzar un nivel específico P_{Ma₀} de productividad marginal.

Como conocemos las funciones de densidad de HS y de HF, podemos determinar la frecuencia de alcanzar o superar el nivel P_{Ma₀} de productividad marginal, por integración de la función de densidad conjunta de HS y de HF a lo largo de la curva de iso-P_{Ma}:

$$\Pr (P_{Ma} \geq P_{Ma_0}) = \int_{HS=0}^{\infty} \int_{HF=K_0 HS^{-b_5/b_6}}^{\infty} f(HS) f(HF)$$

d HS d HF.

Siendo P_N el precio del nitrógeno y P_M el precio del maíz, y suponiendo que todos los demás insumos que entran en la produc-

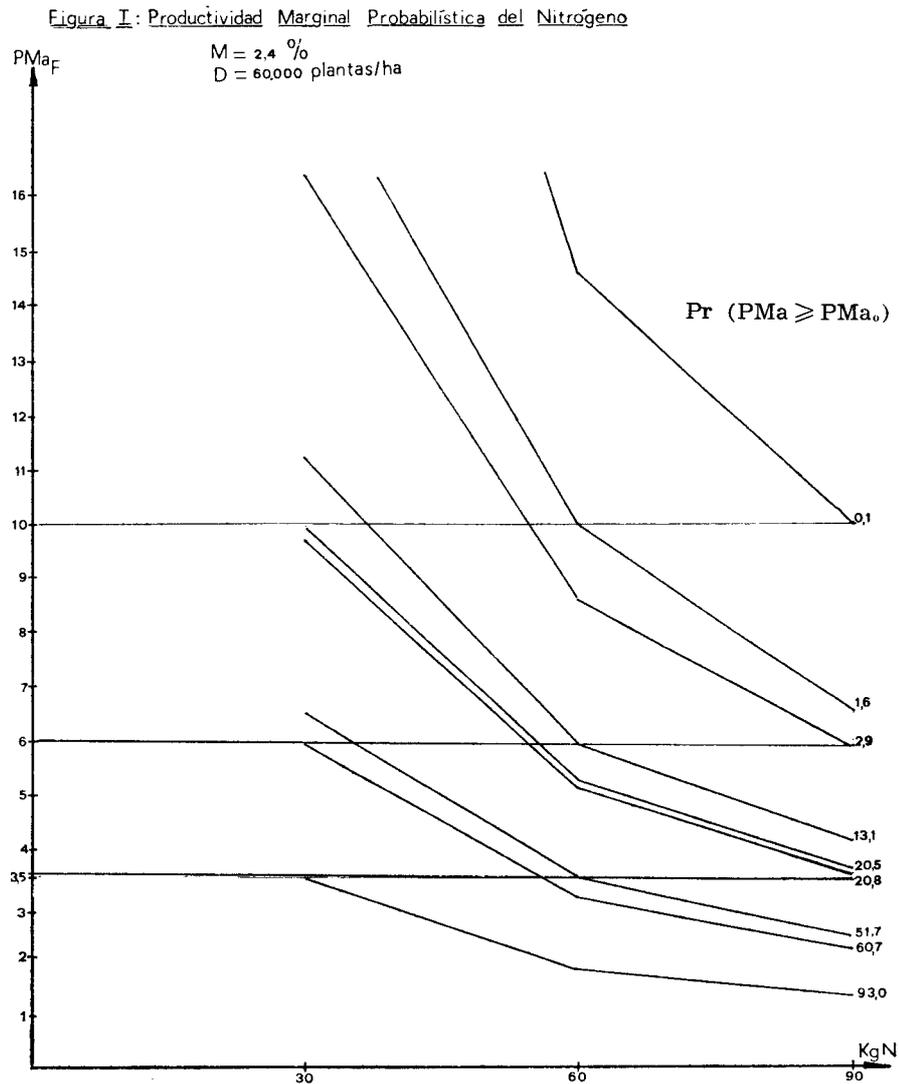
ción del maíz son gratis, la dosis de nitrógeno que maximiza el beneficio es dado por la igualdad $P_{Ma} = P_N/P_M$. Hemos evaluado la función de iso-PMa para niveles de P_{Ma_0} igual al nivel actual [10] y potencial (3,5) de precios relativos, y también para una situación intermedia donde $P_N/P_M = 6$. Trasponemos, después, esta iso-función en el espacio de las probabilidades usando las funciones de distribución de HS y HF, e integramos para obtener $Pr (P_{Ma} > P_{Ma_0})$. Como $f(HS)$ y $f(HF)$ son funciones de distribución Gamma Incompleta con parámetros estimados α y β que no son números enteros, resulta imposible una solución analítica para esta integración doble. Sin embargo, la integración numérica resulta fácil con una computadora, y es el método que hemos seguido. En el Cuadro III presentamos los resultados obtenidos con las tres dosis de fertilizantes 30, 60 y 90 kg. de N/ha, y los niveles 2,4; 3,0 y 3,3 % de materia orgánica del suelo.

Con el fin de ilustrar, la Figura I da las curvas de productividad marginal del fertilizante en tierras cansadas. Hemos representado las curvas donde se obtiene igualdad entre la productividad marginal y el precio relativo para cada una de las tres dosis y cada uno de los tres niveles de precios mencionados anteriormente. Esta igualdad nos da un punto en cada uno de las nueve curvas de PMa, siendo definido cada punto por un par de valores ($P_{Ma_0} = (P_N/P_M)_0$, F_0). La frecuencia de curvas de PMa que pasan por estos puntos o por encima de ellos es igual a $Pr (P_{Ma} > P_{Ma_0})$, y se indica en el Cuadro I. El resto de las curvas de PMa con un mismo nivel de frecuencia está dado por

$$\log P_{Ma} = \log P_{Ma_0} + (b_1 + b_2 M^2 - 1) (\log F_0 - \log F).$$

Representaciones gráficas similares pueden ser obtenidas para otros niveles de materia orgánica del suelo.

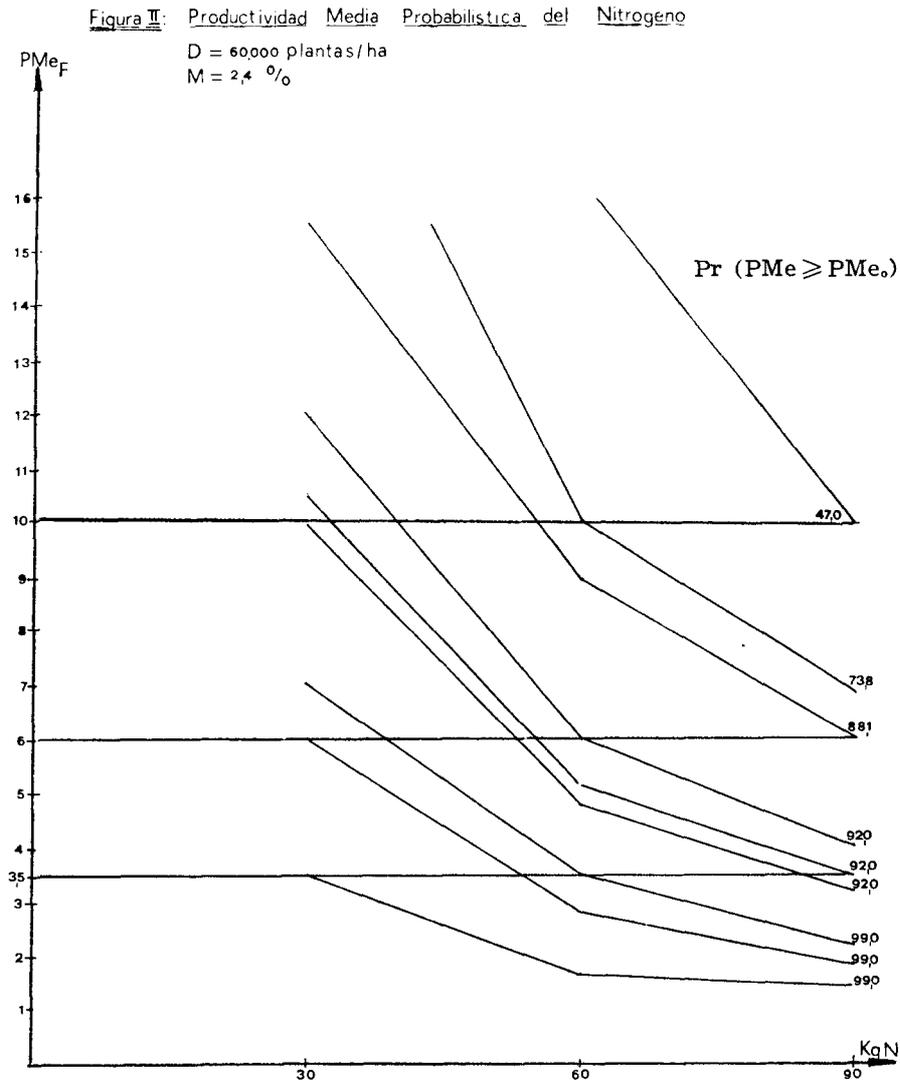
En el Cuadro III, damos también el rendimiento de maíz asociado con cada igualdad $P_{Ma_0} = (P_N/P_M)_0$. Es denotado por Y_{max} . La probabilidad de alcanzar un nivel de rendimiento por lo menos igual a éste es $Pr (P_{Ma} > P_{Ma_0})$. Por ejemplo, en la primera fila del Cuadro III, vemos que con 2,4 % de materia orgánica y un precio relativo de 10, hay una probabilidad del 20,5 % para que la dosis óptima de fertilizante sea 30 kg o más. Eso es equivalente a decir que con 30 kg de nitrógeno, el nivel de rendimiento que maximiza el beneficio según la función de producción estimada es de 56,6



quintales, y que este nivel de rendimiento tiene una probabilidad del 20,5 % de ser alcanzado o superado.

Para hacer una evaluación de la economía del uso de los fertilizantes en un contexto probabilístico, es útil usar la productividad marginal y la productividad media del fertilizante. La productividad marginal, cuando se la compara al precio relativo, indica la dosis *óptima* de fertilizante, para una actitud dada acerca del riesgo. Pe-

ro el uso de fertilizante es económico —aunque el beneficio no sea más el máximo— cuando la productividad marginal está por debajo del precio relativo y, por lo tanto, la productividad media por encima del mismo. Cuando la productividad media iguala al precio, el costo de fertilizante es exactamente cubierto por el valor del incremento de producción debido al fertilizante. Si la productividad media pasa por debajo del precio, entonces el uso del fertilizante es



deseconómico. Una vez determinado el nivel óptimo de fertilizante en base a la productividad marginal y a un nivel aceptable de riesgo, podemos pues hacer uso de las funciones probabilísticas de productividad media para encontrar cual es la probabilidad de por lo menos *cubrir el costo* a este nivel de uso del fertilizante. Cada elección de una dosis de fertilizante puede entonces ser caracterizada por dos probabilidades: la probabilidad de no exceder la dosis económicamente óptima y la probabilidad de cubrir el costo.

De nuevo hay una infinidad de combinaciones de niveles de humedad del suelo a la siembra y a la floración que permite alcanzar un nivel dado de productividad media PMe_0 con una cierta dosis de fertilizante a niveles dados de materia orgánica, densidad de plantas y punto de marchitamiento. Están dadas por las funciones de iso-productividad media:

$$HF = HS^{-b_5/b_6} (PMe_0 \cdot F)^{1/b_6} \left[b_0 (F^{b_1 + b_2 M^2} - 1) M^{b_3} P^{b_4} D^{b_7} \right]^{-1/b_6}$$

$$= K_{\infty} HS^{-b_5/b_6} \quad (\text{por definición de } K_{\infty}).$$

Por integración a lo largo de estas curvas de iso-PMe en el espacio probabilístico, podemos determinar la probabilidad de alcanzar o superar cualquier nivel específico PP_0 de productividad media:

$$Pr (PMe \geq PMe_0) = \int_{HS=0}^{\infty} \int_{HF=K_{\infty} HS^{-b_5/b_6}}^{\infty} f(HS) f(HF) dHS dHF$$

Hemos evaluado estas integrales por integración numérica para $PMe_0 = (P_N/P_M)_0 = 10, 6$ y $3,5$ con las tres dosis de nitrógeno $F_0 = 30, 60$ y 90 kg/ha. Los resultados aparecen en el Cuadro III.

En la Figura II, representamos las curvas de productividad media que pasan por cada uno de los nueve puntos ($PMe_0 = (P_N/P_M)_0, F_0$); y damos la frecuencia correspondiente $Pr (PMe \geq PMe_0)$. El resto de las curvas de PMe con mismo nivel de frecuencia es obtenido de

$$\log PMe = \log (PMe_0 \cdot F_0) - \log F.$$

Se ve que la forma de las curvas de productividad media con un mismo nivel de frecuencia no es afectada por el nivel de materia orgánica. Por el contrario, el nivel de materia orgánica influye so-

bre la probabilidad que estos niveles de P_{Me} sean igualados o superados. En la Figura II, se observan los niveles de Pr (P_{Me} ≥ P_{Me_o}) para 2,4 % de materia orgánica.

Damos también en el Cuadro III el rendimiento Y_{min} que corresponde a la igualdad P_{Me_o} = (P_N/P_M)_o. Es el rendimiento mínimo, necesario para cubrir los costos. Tiene la misma probabilidad de ser alcanzado o superado que Pr (P_{Me} ≥ P_{Me_o}). Por ejemplo en la primera fila del Cuadro III, en tierras cansadas y bajo la situación actual de precios relativos, la probabilidad que 30 kg de nitrógeno no supere la dosis económicamente óptima es solamente 20,5 % cuando la probabilidad de por lo menos cubrir el costo es de 92 %. El rendimiento necesario para cubrir el costo es 18,4 quintales, y este rendimiento tiene una probabilidad del 92 % de ser alcanzado o superado.

De las productividades marginales y medias podemos calcular la tasa interna marginal de retorno al usar fertilizantes. Con la dosis óptima de fertilizante, cuando P_{Ma} = P_N/P_M, la tasa interna de retorno, en porcentaje, es

$$TIR = 100 \left(\frac{P_{Me}}{P_{Ma}} - 1 \right) = 100 \left[\frac{F^{b_1 + b_2 M^2} - 1}{(b_1 + b_2 M^2) F^{b_1 + b_2 M^2}} - 1 \right]$$

Estas tasas se ven en el Cuadro III. Caracterizan el óptimo económico correspondiendo a cada nivel de materia orgánica, de precio y de fertilizante. Así, por ejemplo, con 2,4 % de materia orgánica, precios relativos de 10 y una dosis de nitrógeno de 30 kg/ha, hay 20,5 % de chances de conseguir por lo menos 5,66 toneladas/ha lo que corresponde a una tasa interna de retorno superior en un 208 %. Cuando los precios relativos bajan de 10 a 6, la misma tasa de retorno tiene una probabilidad del 62,4 % de ser alcanzada o superada pues requiere solamente un rendimiento de 3,40 toneladas o más.

Como el cultivo del maíz requiere siete meses y como la casi totalidad de la cosecha es vendida en el octavo mes después de la siembra, las tasas internas de retorno del Cuadro III deben ser multiplicadas por 1,5 para ser transformadas en tasas anuales. Luego, estas tasas y sus riesgos pueden ser comparadas a los costos de oportunidad del capital y a los niveles específicos de riesgo que les corresponden, para decidir la ventaja económica del uso del fertilizante.

CUADRO III

Productividades Probabilísticas Marginales y Medias del Fertilizante

M	$\frac{P_N}{P_M}$	F	$\Pr (P_{Ma} \geq \frac{P_N}{P_M})$	$\Pr (P_{Me} \geq \frac{P_N}{P_M})$	$Y_{max.}$	$Y_{min.}$	TIR
%	kg/kg	kg/ha	%	%	ton/ha	ton/ha	%
2,4	10	30	20,5	92,0	5,66	1,84	208
2,4	6	30	60,7	99,0	3,40	1,10	208
2,4	3,5	30	93,0	99,0	1,98	0,64	208
2,4	10	60	1,6	73,8	11,59	3,19	263
2,4	6	60	13,1	92,0	6,95	1,91	263
2,4	3,5	60	51,7	99,0	4,06	1,12	263
2,4	10	90	0,1	47,0	17,62	4,46	295
2,4	6	90	2,9	88,1	10,58	2,68	295
2,4	3,5	90	20,8	92,0	6,17	1,56	295
3,0	10	30	4,3	82,8	13,62	4,19	225
3,0	6	30	26,3	92,0	8,18	2,52	225
3,0	3,5	30	69,8	99,0	4,77	1,47	225
3,0	10	60	0,1	40,4	28,41	7,33	288
3,0	6	60	2,2	90,5	17,05	4,40	288
3,0	3,5	60	17,5	92,0	9,95	2,56	288
3,0	10	90	0,0	17,2	43,66	10,30	324
3,0	6	90	0,2	57,7	26,19	6,18	324
3,0	3,5	90	3,8	91,9	15,28	3,61	324
3,3	10	30	0,0	8,1	47,94	14,30	236
3,3	6	30	0,2	38,5	28,77	8,58	236
3,3	3,5	30	4,1	83,8	16,78	5,00	236
3,3	10	60	0,0	0,9	101,06	25,10	303
3,3	6	60	0,0	7,9	60,64	15,05	303
3,3	3,5	60	0,1	39,8	35,38	8,79	303
3,3	10	90	0,0	0,1	156,36	35,39	342
3,3	6	90	0,0	2,2	93,79	21,22	342
3,3	3,5	90	0,0	17,5	54,72	12,39	342

En tierras cansadas (2,4 % de materia orgánica), hay 20,5 % de chances para que la dosis económicamente óptima de nitrógeno sea igual o más alta que 30 kg/ha bajo las condiciones presentes de precio. Por otra parte, existen 92 % de chances de cubrir el costo. Las chances de alcanzar el óptimo económico con 30 kg de nitrógeno suben a 60,7 % bajo condiciones intermedias de precio y a 93 % bajo precios potenciales. Las chances de cubrir el costo bajo estas dos situaciones de precio es prácticamente del 100 %.

Cuando la probabilidad de no exceder la dosis óptima con 60

kg/ha baja hacia niveles negligibles bajo las condiciones presentes de precio (1,6 %), ella queda igual a 51,7 % bajo los precios potenciales, con una probabilidad de cubrir el costo cercana al 100 %. Claramente, cuanto más bajo el precio relativo, más bajo el riesgo al usar cualquier dosis específica de fertilizante.

Con 3 % de materia orgánica —lo cual parecería ser el promedio para la tierra en maíz en la zona de Marcos Juárez— hay solamente 4,3 % de chances para que la dosis óptima sea igual o más alta que 30 kg con los precios presentes, pero todavía 82,8 % de chances de cubrir el costo. Con los precios potenciales, estos porcentajes suben al 69,8 % para el óptimo y al 99 % para cubrir el costo.

En las tierras ricas, con 3,3 % de materia orgánica, la probabilidad de llegar al óptimo económico con 30 kg o más es casi nula bajo las condiciones presentes e intermedias de precio. Es del orden del 4,1 % con los precios potenciales. Las chances correspondientes de cubrir el costo son 8,1 %, 38,5 % y 83,8 %.

El cuadro III y las Figuras I y II que le corresponden pueden ser leídas en la dirección contraria de la seguida en la discusión anterior. En lugar de buscar el nivel de riesgo asociado con cada dosis específica de fertilizante, podemos elegir a-priori un nivel aceptable de riesgo y determinar la dosis de fertilizante que le corresponde. Este nivel aceptable de riesgo puede ser especificado o para la solución óptima, o para la solución que permite cubrir el costo, o para ambos.

Para resumir en forma muy general los resultados obtenidos podemos decir que:

(1) El uso de fertilizantes es totalmente antieconómico en *tierras fértiles* (3,3 % de materia orgánica o más) bajo las condiciones actuales de precio. También bajo los precios potenciales, el nivel óptimo de fertilización del maíz sería muy probablemente debajo de 30 kg/ha en estas tierras, dado las variedades y métodos culturales actuales.

(2) En tierras de *menor fertilidad*, digamos 2,8 % de materia orgánica y menos, existe una alta probabilidad de cubrir el costo de 30 kg de nitrógeno por hectárea aún con los precios del momento, pero la dosis económicamente óptima será probablemente por debajo de 30 kg. Con los precios potenciales, pueden ser aplicadas dosis de 30 kg y más con gran seguridad, tanto para cubrir el costo como para alcanzar el óptimo económico.

V - Implicaciones para Investigación y Política Económica

El análisis económico de los experimentos de Marcos Juárez tiene implicaciones importantes sobre la ubicación de los ensayos de

fertilización de maíz y sobre el uso y beneficio potencial de los fertilizantes en este cultivo. Hemos encontrado que, con las variedades de maíz y las prácticas culturales actualmente usadas, existen muy pocas chances de obtener respuestas económicas a la fertilización, incluso con precios potenciales, cuando la tierra es más fértil que 3,3 % de materia orgánica. Este resultado es totalmente consistente con los de INTA-CIMMYT-FF en 1968/69 [8] que indican que no hay respuesta física significativa en tierras con más de 3,5 % de materia orgánica. Es también confirmado por el análisis hecho por Koenig [9] de todos los otros ensayos del INTA.

Aunque es pertinente realizar ensayos para descubrir la función de producción de maíz para el total del intervalo de variación de los insumos, es lógico pensar que los ensayos deberían ser concentrados en el intervalo de variación de los insumos donde hay respuesta física creciente al fertilizante. También, dentro de este intervalo, los ensayos deberían ser ubicados principalmente a estos niveles de los insumos, que corresponden a una respuesta económica al fertilizante para una amplia gama de precios relativos posibles. En el caso presente, los ensayos deberían ser ubicados en campos con menos de 3,3 a 3,5 % de materia orgánica. Estos campos se encuentran generalmente en chacras chicas y medianas que tienen rotaciones de cultivos más intensivos que las explotaciones grandes.

En la zona de Pergamino, Zafanella [10] encontró que el nivel promedio de fertilidad del suelo en cultivos es de 3,5 % de materia orgánica. Este dato indicaría entonces que no hay necesidad de fertilizantes en más o menos la mitad de la superficie actualmente sembrada de maíz. En la zona de Marcos Juárez, la fertilidad promedio parece estar más cerca del 3 %, lo que indica un uso potencial del fertilizante en más de la mitad de las hectáreas sembradas.

Dado que alrededor de la mitad del área maicera de Pergamino tiene un uso potencial para fertilizante, y dado que esta superficie corresponde a las chacras más chicas, es interesante determinar cual es el porcentaje de las empresas en esta zona que podrían usar fertilizantes. Del censo de 1960, conocemos la distribución de las empresas por superficie en el partido de Pergamino, y el área total sembrada de maíz. Estos datos aparecen en el Cuadro IV. De la encuesta de Andruchowicz [11], conocemos el porcentaje promedio de la superficie total cultivada en maíz para cada tamaño de empresa. Pode-

CUADRO IV

Distribución de las Chacras del Area Maicera de Pergamino

Superficie en Has. 1960	5	5-25	25-100	101-200	201-400	401-1000	1000- 2500	2501- 5000	5000 10000	Total	Fuentes y Comentarios
Area Total	513	8.800	83.773	55.553	38.463	37.817	38.684	16.820	0		Censo de 1960
% en Maíz	30	27	25	24	22	19	16	15			Tesis de Andruchowicz y extrapolaciones.
Area en Maíz	154	2.376	29.943	13.333	8.462	7.185	6.189	2.523	0	61.165	Calculado.
Area en Maíz										58.182	Censo 1960.
Area ajustada	146	2.260	19.922	12.683	8.049	6.835	5.887	2.400	0	58.182	Calculado.
Area Acumulada	146	2.406	22.328	35.011	43.060	49.895	55.782	58.182			1/2 Area Total Maicera = 29.091 Has.
Tamaño Chacra Ha. Promedio				109							Tamaño de Chacra de Ha. promedio.
Nº de Chacras	165	469	1.417	397	139	63	24	5	0	2.679	
Nº Acumulativo			2.087		592						Nº acumulado de chacras por encima y debajo de 109 Has.
Frecuencia de Chacras			78 %		22 %						Frecuencia de chacras por encima y debajo de 109 Has.

mos entonces deducir el área total de maíz para empresas de distintos tamaños.

Si acumulamos la superficie cultivada en maíz cuando el tamaño de las empresas crece, podemos determinar cuál es el tamaño de chacra para el cual la mitad de la superficie de maíz se encuentra en chacras menores que ésta, y la mitad en chacras mayores. Del Cuadro III, vemos que esta chacra tiene 109 ha. Si ahora acumulamos el número de chacras hasta 109 ha, encontramos que el 78 % de las empresas en Pergamino están por debajo de este tamaño. Entonces, mientras existe un uso potencial para fertilizantes en un 50 % de la superficie maicera, este potencial afecta un 78 % de las empresas de la zona.

Si consideramos ahora donde han sido ubicados los ensayos anteriores, por ejemplo los del año agrícola 1968/69, podemos ver que 46 % de los ensayos eran en campos con más de 3,5 % de materia orgánica y en consecuencia sin respuesta física al fertilizante. Si establecemos a 3,3 % el nivel de fertilidad por encima del cual no hay respuesta económica, entonces son 73 % los ensayos que han sido ubicados afuera del intervalo de variación de los insumos económicamente interesantes. Esto sucede porque las estaciones experimentales o trabajan en sus tierras propias, las cuales son subutilizadas y descansadas, o con empresarios grandes que les son más receptivos y siguen rotaciones extensivas de cultivo.

Como los ensayos han sido ubicados de manera similar desde el año 1962 cuando se empezaron los estudios sobre fertilizantes, y dado que el nivel de fertilidad del suelo en las parcelas experimentales o no fue registrado, o no fue usado en el análisis de los resultados (por lo tanto impidiendo una interpretación de la respuesta a fertilizantes en función de fertilidad del suelo), no resulta sorprendente que la información sobre la ventaja económica de la fertilización quede tan contradictoria: sin control de la fertilidad del suelo, la frecuencia de los ensayos sin respuesta económica es del 73 %, indicando entonces una baja probabilidad de éxito y desalentando el uso de fertilizante, lo cual es precisamente lo que ha sucedido. En contraste, cuando se toma en cuenta la fertilidad del suelo, hemos encontrado que la probabilidad de éxito, al usar fertilizantes en tierras con menos de 3,3 % de materia orgánica, es por supuesto alta, aún bajo las condiciones presentes de precio. Careciendo de información técnica y económica apropiada, los productores argentinos no han podido usar fertilizan-

tes aún en las situaciones donde es al momento provechoso usarlos. Este hallazgo da énfasis a la necesidad urgente de un esfuerzo mayor de investigación técnica y económica coordinada, y de extensión.

Hemos encontrado que si el precio del nitrógeno bajara hacia los niveles del mercado internacional, el uso de fertilizante podría ser extendido hasta tierras de fertilidad promedia y que dosis grandes podrían ser aplicadas, permitiendo alcanzar altas tasas de retorno con bajos riesgos y elevados niveles de producción. Dado que la Argentina enfrenta una demanda muy elástica para su maíz en el mercado mundial, indica que valiosos retornos privados y sociales, resultarían de una reducción del costo del fertilizante. Como las tierras que más requieren fertilizantes están ubicadas en chacras chicas y medianas con rotaciones intensivas, estas reducciones de costos no pueden ser logradas solamente por medio del sistema actual de doble desgravación impositiva, ya que estas empresas generalmente no alcanzan al ingreso mínimo imponible. Las reducciones de costos resultarán de precios más bajos al nivel de la chacra. Serán obtenidos al ubicar la industria nacional de fertilizantes en un contexto más competitivo por una apertura de las fronteras, al desarrollar facilidades de almacenamiento para facilitar importaciones a granel, al mejorar la eficiencia del mercado nacional de distribución y al ofrecer líneas baratas de crédito a los productores eficientes.

NOTAS Y CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ANDRUCHOWICZ, E., Use and Productivity of Resources in the Corn Producing Area of Argentina, Tesis de Master, Universidad de Texas AEM, 1970.
Nitrogenada del Suelo y su Relación con los Rendimientos de Distintas Poblaciones de Plantas de Maíz, Estación Experimental
- [2] I.N.T.A., El Contenido de Nitratos, Humedad y la Fertilización Agropecuaria de Marcos Juárez, *Publicación Técnica N° 1*, 1969.
- [3] RECA, L., Fertilización Nitrogenada de Maíz en la Argentina: Resultados experimentales e implicaciones económicas, *Económica*, Instituto de Investigaciones Económicas, La Plata, set-dic. 1970.
- [4] FAGIOLI, M., Balance de la Humedad del Suelo en el Cultivo de Maíz, en Relación a la Sequía de Verano en la Región Pampeana, I.N.T.A., Estación Experimental de Pergamino, trabajo no publicado.
- [5] BARGER, G. y H. THOM, Evaluation of Drought Hazard, *Agronomy Journal* 41: 1949, 519-526.
- [6] WILKS, S., *Mathematical Statistics* (Wiley, New York, 1962).

- [7] PEARSON, K., *Tables of the Incomplete Gamma Function* (London, 1922).
- [8] INTA - CIMMYT - FF, Informe Resumido de las Investigaciones Sobre Productividad del Maíz en la Pampa Húmeda, año 1968/69, INTA, Estación Experimental de Pergamino, 1969.
- [9] KOENING, R., Economía de la Fertilización Nitrogenada del Maíz en la Pampa Húmeda, Tesis de Master, Escuela para Graduados en Economía Agrícola, Buenos Aires, de próxima aparición.
- [10] I.N.T.A., La Productividad del Suelo en la Región de Pergamino en Relación con Factores Ambientales, Tecnológicos, Económicos y Sociales, I.N.T.A., Estación Experimental de Pergamino, Mayo de 1964.
- [11] ANDRUCHOWICZ, E., op. cit.

**ESTANCAMIENTO TECNOLÓGICO EN EL SECTOR AGRÍCOLA ARGENTINO:
EL CASO DE LA FERTILIZACIÓN DEL MAÍZ**

Resumen

Argentina es uno de los únicos grandes productores de maíz, donde no se hace uso de fertilizantes en este cultivo, teniendo como resultado rendimientos del orden de la mitad de los obtenidos en los EE.UU. Buscamos en este trabajo cuales son algunos de los factores limitantes del uso de fertilizantes, cuales son las condiciones de producción bajo las cuales su uso puede ser económico, cual es el riesgo económico incurrido al usarlos y que tipo de implicaciones estos hechos tienen para investigación agronómica, extensión y política económica. Desarrollamos para estos propósitos un método para evaluar el riesgo económico en el contexto de funciones de producción. Encontramos que es posible usar fertilizantes en tierras cansadas, aún bajo las condiciones actuales de precio, y que esta posibilidad se extendería a más de la mitad de la superficie maicera actual y a la gran mayoría de los productores, si el precio del nitrógeno bajara a niveles existentes en el mercado internacional.

**TECHNOLOGICAL STAGNATION IN THE ARGENTINE AGRICULTURAL SECTOR:
THE CASE OF CORN FERTILIZATION**

Summary

Argentina is one of the only major corn producers where that crop is grown without chemical fertilization, with resulting yields of the order of half the ones obtained in the United States. In this paper we try to isolate some of the limiting factors to the use of fertilizers, to

determine which are the production conditions under which their use may be economical, to evaluate what is the economic risk incurred in using them and to spell out what implications do these findings have for agronomic research, extension and economic policy. We develop for this purpose a method to quantify risk in the context of production functions. We find that it is possible to use fertilizers profitably in soils of depleted fertility even under the present price conditions, and that this possibility would extend to more than half of the present corn acreage and to a large majority of producers if nitrogen prices would fall towards world market levels.