



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA
DIRECCION GENERAL DE
INVESTIGACION AGROPECUARIA

**CENTRO DE
INVESTIGACIONES
AGRICOLAS
"ALBERTO BOERGER"**

**RENDIMIENTOS
Y RESPUESTA
A NPK DE
CEBADA CERVECERA**



MAYO, 1982



ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA

CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS

"ALBERTO BOERGER"

ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"

Rendimientos y respuesta a NPK de Cebada Cervecera

EDUARDO CAPURRO *
WALTER BAETHGEN **
AGUSTIN TRUJILLO ***
ASTUR BOZZANO ****

* Jefe del Proyecto Suelos, E.E.L.E., C.I.A.A.B.; hasta 1979.

** Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E., C.I.A.A.B.

*** Asesor Técnico y Director del Campo Experimental de Fábricas Nacionales de Cerveza.

**** Auxiliar Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.

RENDIMIENTOS Y RESPUESTA A NPK DE CEBADA CERVECERA CVR. BONITA EN EL SW DE URUGUAY. 1978 A 1980.

EDUARDO CAPURRO

WALTER E. BAETHGEN

AGUSTIN TRUJILLO

ASTUR S. BOZZANO

I. RESUMEN

Se instalaron veinte experimentos en tres años sobre fertilización NPK de cebada cervecera en Brunosoles y Vertisoles del SW de Uruguay. Los rendimientos de grano máximos variaron generalmente entre 2.000 y 2.500 kg/ha, con un promedio de 2.180 kg/ha y valores extremos de 1.020 y 3.520 kg/ha. La respuesta a N fue nula o negativa en algunos experimentos. Los experimentos con respuesta positiva a N mostraron una dosis económicamente óptima promedio de 73 kg de N/ha. Las eficiencias del nitrógeno para las dosis económicamente óptimas variaron entre 6.4 y 16.4, con un promedio de 11.9 kg de grano/kg de N. En 1979, que fue un año con precipitaciones previas a la siembra menores que el promedio y consecuentemente con sementeras excepcionalmente bien preparadas, los óptimos económicos fueron menores y los contenidos de nitratos de los suelos fueron mayores. Las dosis económicamente óptimas para N estuvieron muy pobremente asociadas con el contenido de materia orgánica y con el de nitratos, cuando éstos fueron considerados cada uno por sí solo. Sin embargo un modelo del tipo de líneas rectas intersectantes con las dosis económicamente óptimas decrecientes hasta un mínimo de cero presentó un $R^2 = 0.91$, después de eliminar dos experimentos afectados por ataque de *Helminthosporium* sp. Dicho modelo incluye términos lineales para el contenido de materia orgánica y para el de nitratos, y un término para la interacción entre ambas variables. La respuesta a P fue nula o negativa en algunos casos, incluyendo seis de los ocho experimentos de 1979, cuatro de los cuales presentaron bajos valores de P disponible en el suelo. Los experimentos con respuesta positiva a P presentaron una dosis económicamente óptima promedio de 54 kg P_2O_5 /ha. Las eficiencias del fertilizante fosfatado para las dosis económicamente óptimas variaron entre 5.0 y 15.1, con un promedio de 9 kg de grano/kg de P_2O_5 . La relación de las dosis económicamente óptimas, excluyendo los datos de 1979, con el P disponible del suelo determinado por el método Bray - 1 y por un método de Resinas Catiónicas, fue descrita apropiadamente por un modelo del tipo de líneas rectas intersectantes. De acuerdo con dicho modelo las dosis económicamente óptimas decrecen linealmente con el aumento del P disponible del suelo, desde 75 kg P_2O_5 /ha cuando el suelo presenta 3 ppm de P disponible, hasta cero cuando el P disponible en el suelo es de 12 ppm por el método de Bray - 1 o 20 ppm por el de Resinas Catiónicas. Las bajas respuestas al P en 1979 podían estar causadas por las mencionadas características de dicho año. La respuesta al K fue no significativa en todos los experimentos excepto uno. Esta ausencia general de respuesta concuerda con los valores de K intercambiable de los experimentos y de los suelos cultivados del SW de Uruguay, así como con la información existente sobre respuesta de los cultivos al K en esta zona.

1. SUMMARY

Twenty experiments on NPK fertilization of barley were conducted along three years on Mollisols and Vertisols in SW Uruguay. Top grain yields were frequently between 2.000 and 2.500 kg/ha, with an average of 2.180 kg/ha and extreme values of 1.020 and 3.520 kg/ha. Response to N was none or negative in some experiments. Experiments with positive response to N showed an average economic optimum rate of 73 kg N/ha. N efficiencies for the economic optimum rate varied from 6.4 to 16.4, with an average of 11.9 kg grain/kg N. Economic optimum rates were smaller and nitrate content of soils were larger in 1979, a year with below average presowing precipitations and concurrent exceptionally good prepared seedbeds. N economic optimum rates were very poorly associated to either soil organic matter or nitrate content when these were considered each one by itself. However, an intersecting straight lines type model with economic optimum rates decreasing up to a minimum of zero showed $R^2 = 0.91$ after deleting two experiments affected by *Helminthosporium* disease. The model involves linear terms for organic matter and for nitrate content, and a term for the interaction between both variables. Response to P was none or negative in some experiments, including six out of eight experiments of 1979, four of them with low soil available P. Experiments with positive response to P had an average economic optimum rate of 54 kg P_2O_5 /ha. P efficiencies for the economic optimum rate varied from 5.0 to 15.1, with an average of 9 kg grain/kg P_2O_5 . The relationship of economic optimum rates, excluding 1979 data, with soil available P determined by Bray - 1 and a Cationic Resins method was appropriately described by an intersecting straight lines type model. According to the model economic optimum rates decrease linearly with the increase in soil available P, from 75 kg P_2O_5 /ha when soil available P is 3 ppm, to zero when soil available P is 12 ppm by Bray - 1 or 20 ppm by the Cationic Resins method. Low responses to P in 1979 might be the result of the mentioned characteristics of the year. Response to K was nonsignificant in all but one experiment. This general lack of response is in agreement with soil exchangeable K values of the experiments and of cultivated soils in SW Uruguay, and with previous information on crop response to K in this area.

1. ANTECEDENTES Y METODOLOGIA

La información sobre respuesta de cebada cervecera a nitrógeno, fósforo y potasio en el Uruguay es relativamente escasa y en su mayor parte no se encuentra publicada. El Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger", la Facultad de Agronomía y compañías privadas han llevado a cabo experimentos sobre el tema. Esta información permitió directamente por un lado, y por comparación con el caso del trigo para el cual existe mucho más información por otro lado, formular recomendaciones sobre dosis de NPK. Las recomendaciones se encuentran condensadas en la "Guía para Fertilización de Cultivos" (16). Sin embargo, no existen antecedentes en el país de una red de experimentos regionales sobre fertilización de cebada cervecera, que aporte una base experimental amplia y específica para el cultivo.

En 1978 se inició un convenio entre el Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" y Fábricas Nacionales de Cerveza, por el cual se han instalado experimentos regionales sobre fertilización de cebada cervecera en chacras de productores del suroeste del país (3) (4) (7). Se estudia la respuesta a nitrógeno, fósforo y potasio, utilizando un diseño de factorial incompleto que se presenta en el Cuadro 1A del Apéndice. La respuesta a nitrógeno se estudia a un nivel de 60 kg de P_2O_5 /ha y sin potasio. La respuesta a fósforo se estudia a dos niveles de nitrógeno, 0 y 70 kg/ha, y sin potasio. Para el análisis se selecciona la respuesta a fósforo a nivel 0 kg de N/ha cuando el nitrógeno tiene efecto nulo o negativo. Y se selecciona la respuesta a fósforo a nivel 70 kg de N/ha cuando el nitrógeno tiene efecto positivo. El potasio se estudia a dos dosis, 0 y 50 kg de K_2O /ha, a nivel 35 kg de N/ha y 60 kg de P_2O_5 /ha. Los fertilizantes se aplican a mano y la preparación de la tierra se realiza con la maquinaria de los productores. Para la siembra se utiliza maquinaria experimental o de los productores según su disponibilidad, haciéndose a razón de 300 semillas viables por metro cuadrado. Las fechas de siembra figuran en el Cuadro 2A del Apéndice. Se realiza control de malezas mediante la aplicación de herbicidas. Para la cosecha se emplea una cosechadora automotriz de parcelas.

En 1978, 1979 y 1980 se instalaron respectivamente 4, 8 y 8 experimentos y en 1981 hay en marcha 10 experimentos más. Los suelos corresponden a los suelos dominantes del área agrícola del litoral oeste del país: Brunosoles Eutríficos y Subéutríficos y Vertisoles según la clasificación uruguaya (1), que corresponden a Molisoles y Vertisoles en la 7a. aproximación de EE.UU. (20). La localización de los experimentos se presenta en el Cuadro 2A del Apéndice.

Se realizaron muestreos en la época de siembra para el análisis de suelos. Las muestras de suelo fueron secadas a 40°C durante 24 horas, molidas en molino a martillo y tamizadas en malla de 1 mm. Las técnicas de análisis empleadas son las descritas en las referencias que se mencionan a continuación, con las modificaciones que se detallan en la sección 3A del Apéndice: materia orgánica según Tinsley (19); nitratos en 1978 por el método del ácido fenoldisulfónico de

*Las fuentes utilizadas para N, P y K fueron respectivamente: urea, superfosfato común y cloruro de potasio.

Carson (8) y en los años siguientes mediante electrodo de nitratos según Carson (8); fósforo disponible por Bray - 1 (6) y por Resinas de Intercambio Catiónico según Zamuz y Castro (21); potasio intercambiable por extracción según Jackson (14) y lectura en fotómetro de llama.

Los resultados de cada experimento fueron analizados estadísticamente. Se emplearon las técnicas corrientes del análisis de varianza, con descomposición de las sumas de cuadrados agregadas en sumas de cuadrados con un grado de libertad por medio de contrastes ortogonales (18). Se consideró que existía respuesta a nitrógeno o fósforo cuando el componente lineal y/o el cuadrático eran significativos al nivel 10 o/o de probabilidad. Se consideró que existía respuesta al potasio cuando el contraste tratamiento $[35N - 60 P_2O_5 - 50 K_2O]$ versus tratamiento $[35N - 60 P_2O_5 - 0 K_2O]$ era significativo al nivel 5 o/o de probabilidad. Para el ajuste de modelos de regresión lineal, cuadrática y múltiple se empleó el método de Mínimos Cuadrados (11).

En este trabajo se presenta un análisis de los resultados obtenidos en 1978, 1979 y 1980. El mismo se basa fundamentalmente en la determinación de las dosis de nutrientes económicamente óptimas u óptimos económicos, según la metodología descrita por Heady, Pesek y Brown (12). El significado de los óptimos económicos a los efectos de formular recomendaciones de fertilización para casos concretos se discute en la sección 4 A del Apéndice. Los óptimos económicos fueron calculados sobre la base de una relación de precio del kg de N a precio del kg de cebada igual a 4,5; y relación de precio del kg de P_2O_5 a precio del kg de cebada igual a 3. Cuando alguna de dichas relaciones de precios es menor al valor aquí empleado, los correspondientes óptimos económicos aumentan en promedio 5 kg (N o P_2O_5)/ha por encima de los óptimos que figuran en este trabajo, por cada unidad que desciende la relación. La inversa es válida para los casos en que alguna de las relaciones de precios es mayor al valor aquí empleado. Los retornos a la inversión en fertilizante también varían en función de las relaciones de precios, aumentando en el orden de 25 o/o y disminuyendo en el orden de 15 o/o cuando respectivamente desciende o aumenta en una unidad la relación de precios en el caso del nitrógeno. En el caso del fósforo los retornos aumentan en el orden de 40 o/o y disminuyen en el orden de 20 o/o cuando la relación de precios respectivamente desciende o aumenta en una unidad.

2. RENDIMIENTOS DEL CULTIVAR BONITA

En cada experimento se calculó el promedio de los tres tratamientos de rendimiento más alto. Este rendimiento corresponde a condiciones de ninguna limitante, o en el peor de los casos muy poca, en cuanto a fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Como además la implantación, el control de malezas y la sanidad fueron buenos salvo casos excepcionales, los rendimientos obtenidos de la forma mencionada pueden ser considerados una aproximación a los rendimientos máximos que actualmente es posible esperar del cultivar Bonita en las chacras del suroeste del país.

Los rendimientos variaron entre 1.020 y 3.520 kg/ha y el promedio fue 2.180 kg/ha. El rendimiento más bajo correspondió a un Brunosol con muchos años de agricultura y muy deteriorado en sus propiedades físicas. El rendimiento más alto correspondió a un Vertisol que antes de la cebada tuvo durante 3 años un excelente cultivo de trébol rojo. En la mayor parte (55 o/o) de los experimentos el rendimiento máximo estuvo entre 2.000 y 2.500 kg/ha (Cuadro No. 1).

Cuadro 1: Rendimientos máximos de cebada cervecera cvr. Bonita en experimentos en chacras de productores.

RENDIMIENTOS MAXIMOS	NUMERO DE EXPERIMENTOS			TOTAL	
(kg/ha)	1978	1979	1980	NUMERO	o/o
1.000 - 1.500	2	1	-	3	15
1.500 - 2.000	-	1	1	2	10
2.000 - 2.500	2	4	5	11	55
2.500 - 3.000	-	1	2	3	15
3.000 - 3.500	-	-	-	-	-
3.500 - 4.000	-	1	-	1	5
Rendimientos máximos promedios (kg/ha)	1.920	2.230	2.260	2.180	

3. RESPUESTA AL NITROGENO

3.1 . Respuestas nulas o negativas

Como es usual en estos casos, existieron experimentos con respuesta positiva y experimentos con respuesta nula o negativa. Estos últimos se presentan en el Cuadro 2. Como también es usual, las chacras nuevas * mostraron en general respuesta nula o negativa. También se encontró este tipo de respuesta en el caso de Meickle, una chacra vieja cuyo cultivo fue afectado por problemas sanitarios causados por *Helminthosporium* (7). Y también se encontró respuesta nula o negativa en chacras viejas sobre suelos muy buenos sin mayor deterioro de sus propiedades físicas y químicas, con alto contenido de materia orgánica y 4 o más ppm de nitratos en el suelo (0 a 40 cm de profundidad) en la época de siembra, como los casos de Bartaburu (1979 y 1980) y Falcone (1980).

Cuadro 2: Experimentos con respuesta al N nula o negativa.

Año	Productor	Materia Orgánica ** (o/o)	Nitratos*** (ppm)	Tipo de Chacra
1978	Meickle	2.8	0.9	Chacra vieja
1978	Gasparri	1.9	27.1	Chacra nueva
1979	Bartaburu	5.2	4.2	Chacra vieja
1979	Jorajurúa	5.1	45.4	Chacra nueva
1979	Bonaglia	3.6	19.0	Chacra nueva
1980	Falcone	6.0	4.9	Chacra vieja
1980	Bartaburu	4.9	6.2	Chacra vieja

** 0 a 15 cm de profundidad

*** 0 a 40 cm de profundidad

3.2 . Respuestas positivas

Así como no en todas las chacras viejas se encontró respuesta al nitrógeno, tampoco en todas las chacras nuevas se constató respuesta nula o negativa. Es el caso de un experimento de 1978 en el campo experimental de Fábricas Nacionales de Cerveza. Previamente había tenido 3 años de alfalfa. Pero en el último año la alfalfa se encontraba muy deteriorada e invadida por gramilla (*Cynodon dactylon*) y el suelo tenía una cantidad de nitratos relativamente baja en el momento de la siembra. En este experimento el óptimo económico fue 52 kg de N/ha.

* Chacra nueva y chacra vieja se definen en la sección 5-A del Apéndice.

Cuadro 3: Distribución de los aumentos de rendimiento obtenidos con las dosis de N económicamente óptimas.

Aumentos de rendimiento (kg/ha)	Total de experimentos	
	Número	o/o
1 - 500	2	15
500 - 1000	7	54
1000 - 1500	3	23
1500 - 2000	—	—
2000 - 2500	1	8
Aumento promedio 865 kg/ha		

El Cuadro 3 presenta la distribución de aumentos de rendimiento producidos por la dosis de nitrógeno correspondiente al óptimo económico en los experimentos con respuesta positiva. Este aumento de rendimiento varió entre 300 y 2.130 kg de grano/ha y su promedio fue 865 kg/ha. En la mayoría de los casos, el 54 o/o, el aumento se situó entre 500 y 1000 kg/ha, y solamente en un 15 o/o de los casos fue inferior a 500 kg/ha.

Dividiendo el aumento de rendimiento por la dosis de nitrógeno necesaria para dicho aumento, se obtiene la eficiencia del nitrógeno en términos de kg de cebada/kg de N. Si el aumento de rendimiento es dividido por el costo del nitrógeno aplicado expresado en kg de cebada, se obtiene el retorno a la inversión en fertilizante nitrogenado, expresado como fracción de esa inversión. Por ejemplo, si el aumento de rendimiento es 1000 kg/ha y el costo del nitrógeno necesario para ese aumento equivale a 500 kg de cebada, el retorno es 1000 dividido 500, igual a 2. El costo del nitrógeno expresado en kg de cebada es el producto de la dosis de nitrógeno por la relación de precio del nitrógeno a precio de la cebada. Por lo tanto el retorno tal cual se calcula en este trabajo es el cociente de la eficiencia del fertilizante por la mencionada relación de precios. Es decir que dividiendo la eficiencia del nitrógeno por 4,5 se obtiene el retorno a la inversión en dicho nutriente. El Cuadro 4 presenta la distribución de las eficiencias del nitrógeno obtenidas con las dosis de nitrógeno económicamente óptimas, y los correspondientes retornos, para los experimentos con respuesta positiva.

Cuadro 4: Distribución de eficiencias y retornos a la dosis de N económicamente óptima.

Eficiencia (kg cebada/kgN)	Retorno	Total de experimentos	
		Número	o/o
4.50 - 6.75	1.00 - 1.50	1	8
6.75 - 9.00	1.50 - 2.00	1	8
9.00 - 11.25	2.00 - 2.50	5	38
11.25 - 13.50	2.50 - 3.00	2	15
mayor de 13.50	mayor de 3.00	4	31
Eficiencia promedio 11.9 kg cebada/kg N			
Retorno promedio 2.6			

Los casos con retornos entre 1 y 1.50 se podría considerar que, descontados los intereses y gastos de aplicación, no producen una ganancia que compense los riesgos que se corren. En el resto de los casos, el 92 o/o de ellos (Cuadro 4), la aplicación de nitrógeno produjo un importante beneficio económico. En promedio la inversión en este nutriente, en los casos en que existió respuesta, produjo 11.9 kg de cebada/kg de N y N\$ 2,6 por cada N\$ 1 invertido en el fertilizante.

Cuadro 5: Distribución de los óptimos económicos para N.

Óptimos económicos (kg N/ha)	Total de experimentos	
	Número	o/o
30 - 50	3	23
50 - 70	3	23
70 - 90	3	23
90 o más	4	31
Óptimo económico promedio	73 kg N/ha	

El Cuadro 5 presenta la distribución de las dosis de nitrógeno económicamente óptimas en los experimentos con respuesta positiva. Estas dosis variaron entre 33 y 105 kg de N/ha, con un promedio de 73 kg de N/ha. Existieron casos de respuesta lineal para los cuales la dosis económicamente óptima no puede ser calculada y a los efectos de este trabajo se la consideró igual a 105 kg de N/ha.

El cuadro muestra que existió una variación grande en las dosis económicamente óptimas u óptimos económicos, con un 31 o/o de casos con óptimos mayores de 90 kg de N/ha.

3.3. El efecto año

Una de las interrogantes que siempre surgen al estudiar la respuesta a la fertilización nitrogenada es si existen diferencias entre años. El Cuadro 6 sugiere que en este caso existieron.

Cuadro 6: Distribución de los óptimos económicos para N de experimentos con respuesta positiva en 1979 y 1980.

Óptimos económicos (kg N/ha)	Número de experimentos	
	1979	1980
20 - 40	1	—
40 - 60	1	—
60 - 80	1	3
80 - 99	—	1
100 o más	2	2
Óptimo económico promedio (kg N/ha)	70	85

En 1980 los óptimos económicos fueron todos mayores de 60 kg de N/ha y en promedio fueron 15 kg/ha más altos que en 1979. Interesa determinar si esta diferencia estuvo asociada a diferencias entre años en los contenidos de materia orgánica y/o nitratos. El Cuadro 7 muestra que en 1980 los contenidos de nitratos fueron más bajos que en 1979 y que no existieron mayores diferencias en los contenidos de materia orgánica. Es decir que en relación a 1979, los óptimos económicos más elevados de 1980 estuvieron asociados a una menor disponibilidad inicial de nitrógeno del suelo.

Cuadro 7: Distribución de los contenidos de materia orgánica y nitratos del suelo de los experimentos con respuesta positiva en 1979 y 1980.

Materia orgánica - (o/o) -	Número de experimentos		Nitratos (ppm)	Número de experimentos	
	1979	1980		1979	1980
1.5 - 2.5	2	1	1 - 5	4	6
2.5 - 3.5	2	3	5 - 10	1	2
3.5 - 4.5	2	2	10 - 15	-	-
4.5 - 5.5	2	1	15 - 20	1	-
5.5 - 6.5	-	1	mayor de 20	1	-
Promedio o/o	3.7	3.9	Promedio (ppm)	10,8	3.8

La causa de estas diferencias entre años parece razonable atribuirla a la diferencia de precipitaciones durante la época de preparación de tierras (Cuadro 8) y la consecuente diferencia en esta preparación y en las fechas de siembra (Cuadro 2 A del Apéndice).

Cuadro 8: Precipitaciones mensuales durante 1979 y 1980 y precipitaciones promedio en el período 1915-1976, registradas en La Estanzuela.

Meses	Precipitaciones (mm)		
	1979	Promedio	1980
Abril	35	105	122
Mayo	26	88	120
Junio	5	76	104
Julio	69	64	85
Total	135	333	431

En 1979 las precipitaciones durante la época de preparación de tierras estuvieron muy por debajo del promedio, lo que permitió una preparación anticipada y excelente, y siembras en fechas normales. En 1980 fue a la inversa : precipitaciones muy por encima del promedio, mala preparación de tierras y siembras atrasadas.

Esta información indica que precipitaciones muy por debajo del promedio en la época de preparación de tierras, con la consecuente excelente preparación, aumentan la disponibilidad inicial de nitrógeno en el suelo y hacen conveniente reducir la fertilización con este nutriente en el orden de 15 kg de N/ha en relación a años con precipitaciones por encima del promedio.

3.4. Relación del óptimo económico con el contenido de materia orgánica y de nitratos del suelo.

El coeficiente de correlación entre el óptimo económico y el contenido de materia orgánica del suelo (0 a 15 cm de profundidad) fue muy bajo: -0.26 . Esta correlación equivale a un R^2 de 0.07, el cual significa que utilizando el modelo lineal, el contenido de materia orgánica del suelo explicó solamente un 7 o/o de la variación en el óptimo económico. La correlación tiene la limitante de que la información que aporta es de valor cuando la relación entre las variables en estudio es lineal, y carece de todo valor cuando la relación tiene forma de curva. Para considerar la posibilidad de una relación con forma de curva se estudió el modelo cuadrático. Este también tuvo un R^2 bajo (0.29), confirmando que la asociación entre el óptimo económico y el contenido de materia orgánica del suelo fue pobre. La representación gráfica de la relación entre ambas variables, para considerar la posibilidad de curvas más complejas, también confirmó lo mismo. La conclusión es que el dato de contenido de materia orgánica del suelo no sirvió por sí solo para hacer una estimación de la dosis de nitrógeno económicamente óptima para las condiciones en que fueron realizados los experimentos.

La relación entre el óptimo económico y el contenido de nitratos del suelo (0 a 40 cm de profundidad) en el momento de la siembra fue estudiada en la misma forma, obteniéndose resultados comparables: correlación de -0.56 , que equivale a un R^2 de 0.32; y R^2 de 0.43 para el modelo cuadrático. La conclusión es que el dato de contenido de nitratos del suelo tampoco sirvió por sí solo para hacer una estimación de la dosis de nitrógeno económicamente óptima para las condiciones en que se realizaron los experimentos.

Ante la incapacidad del contenido de materia orgánica y el de nitratos para, cada uno por sí solo, predecir el óptimo económico para nitrógeno, se estudió un modelo que incluye ambas variables simultáneamente. El modelo se presenta en la Figura 1 y es del tipo de modelos de líneas rectas intersectantes (2): el óptimo económico desciende linealmente con el aumento del contenido de nitratos y con el aumento del contenido de materia orgánica del suelo (sector de óptimos económicos decrecientes), hasta alcanzar un mínimo de cero en el cual se mantiene indefinidamente (sector de óptimo económico constante, o "plateau" del modelo). El ajuste del modelo fue realizado solamente con el sector de óptimos económicos decrecientes, es decir básicamente con los experimentos que tuvieron óptimos económicos mayores de cero.

Este ajuste se realizó por medio de una regresión múltiple y se presenta en el cuadro de la Figura 1. La ecuación que describe el sector de óptimos económicos decrecientes tiene un término lineal para nitratos, un término lineal para materia orgánica y un término para la interacción entre nitratos y materia orgánica, es decir un término para el producto de ambos valores.

La figura muestra el óptimo económico predecido por el modelo según el nivel de nitratos del suelo, para 3 niveles de materia orgánica, entre 2 o/o y 4.5 o/o. Este es el rango de valores de materia orgánica de los suelos con que la ecuación fue ajustada, de manera que la misma no debe ser usada con valores de materia orgánica menores de 2 o/o ni mayores de 4.5 o/o. Es decir, para suelos con más de 4.5 o/o de materia orgánica lo más apropiado es utilizar 4.5 en la ecuación y no el valor real de materia orgánica del suelo. Y similarmente para suelos con menos de 2 o/o de materia orgánica. Cuanto más nitratos hay, menor es el óptimo económico. Según el modelo los suelos con 4.5 o/o de materia orgánica tienen un óptimo económico de 102 kg de N/ha cuando el nivel de nitratos en el suelo es cero. Este óptimo desciende 25.5 kg de N/ha por cada ppm que aumenta el nivel de nitratos hasta hacerse cero con 4 ppm de nitratos. Por encima de 4 ppm la ecuación da valores negativos, que corresponden a un óptimo económico de cero.

En el conjunto de todos los experimentos del Cuadro 9 el modelo explicó el 55 o/o de la variación en los óptimos económicos, es decir tuvo un R^2 de 0.55. Este valor indica una precisión mediocre en la estimación de los óptimos económicos. Sin embargo, dicho valor del R^2 es causado fundamentalmente por la falta de ajuste entre los valores observados y predecidos en un experimento ya mencionado que fue afectado por ataque de *Helminthosporium* (Meickle, 1978). Se justifica entonces eliminar este experimento, así como el de Grondona 1978, a los efectos de obtener una estimación de la precisión del modelo en ausencia de esta enfermedad. En este caso el R^2 pasa a ser 0.91, que es un valor excepcionalmente alto para este tipo de estudios.

Cuadro 9: Comparación del óptimo económico para N obtenido en experimentos con el óptimo económico predecido en base a nitratos y materia orgánica.

Productor	Años	Óptimo económico	
		Obtenido	Predecido
Gasparri	1978	0	0
Bartaburu	1979	0	0
Bonaqlia	1979	0	0
Jorajuría	1979	0	0
Falcone	1980	0	0
Piriz	1979	38	31
Cóccolo	1979	41	35
Fáb. Nal. de Cerveza	1978	52	48
Echenique	1980	88	73
Alayon	1980	103	99
Bárcenas	1979	105	89
Cóccolo	1980	105	97
Gonnet	1979	105	106
Meickle	1978	0	106
Grondona	1978	33	62
Gallo	1979	63	88
Meickle	1980	75	36

Es de señalar que el modelo no considera ningún efecto año como el discutido en la sección 3.3, lo cual no fue obstáculo para obtener una precisión elevada. Esto se debe a que las diferencias entre años en los óptimos económicos estuvieron asociadas a diferencias en el contenido de nitratos del suelo (sección 3.3), que sí es tenido en cuenta. Por esta vía indirecta el modelo consideró el efecto año sin necesidad de hacerlo directamente. Es decir que cuando se utiliza el modelo no sería necesario tener en cuenta las precipitaciones durante la época de preparación de tierras y la calidad de dicha preparación, a los efectos de formular recomendaciones de fertilización nitrogenada.

La conclusión es que considerando simultáneamente el contenido de materia orgánica y el contenido de nitratos del suelo en un modelo del tipo de líneas rectas intersectantes, fue posible obtener una estimación muy precisa de la dosis de nitrógeno económicamente óptima para condiciones de ausencia de ataque de *Helminthosporium*. Esta precisión puede ser explicada por el hecho de que el modelo combina un índice de la disponibilidad inmediata de nitrógeno (el contenido de nitratos), con un índice de la capacidad del suelo para mineralizar nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (el contenido de materia orgánica). Considerando el contenido de materia orgánica y el contenido de nitratos separadamente uno del otro, por el contrario, no fue posible obtener una estimación aceptable del óptimo económico para nitrógeno. Esto sugiere que tanto la disponibilidad inmediata como la mineralización a lo largo del ciclo del cultivo fueron fuentes de nitrógeno muy importantes. Según el modelo desarrollado, la fertilización nitrogenada en suelos con bajo porcentaje de materia orgánica debe ser sustancialmente más elevada que en suelos con similar contenido de nitratos y alto porcentaje de materia orgánica, excepto cuando los nitratos superan las 20 ppm. El requerimiento de fertilizante nitrogenado de suelos con alto porcentaje de materia orgánica fue extremadamente sensible al contenido de nitratos en el rango de valores bajos. Los suelos con bajo porcentaje de materia orgánica presentaron una sensibilidad mucho menor,

pero sobre un rango de valores de nitratos mucho más amplio. Esta interacción podría ser el reflejo de una interacción similar ocurriendo a nivel del suministro de nitrógeno del suelo a las plantas, es decir a nivel del balance de los procesos de mineralización y de pérdidas.

4. RESPUESTA AL FOSFORO

4. 1. Respuestas nulas o negativas

El Cuadro 10 presenta los casos en que la respuesta al fósforo fue nula o negativa. En coincidencia con la literatura internacional las respuestas negativas fueron infrecuentes. Solamente en el establecimiento del Sr. Piriz puede considerarse que existió dicho tipo de respuesta. Estos casos infrecuentes pueden ser atribuidos al error experimental.

Cuadro 10: Experimentos con respuesta al P nula o negativa.

Año	Productor	Fósforo disponible	
		Bray* (ppm)	Resinas* (ppm)
1978	Meickle	29	33
1978	F.N.C.	9	18
1979	Bárcenas	24	33
1979	Bartaburu	14	24
1979	Bonaglia	7	7
1979	Piriz	5	6
1979	Cóccolo	5	4
1979	Gonnet	4	5
1980	Meickle	30	41
1980	Bartaburu	17	26
1980	Falcone	14	18

* 0 a 15 cm de profundidad.

Los experimentos que aparecen en el cuadro 10 generalmente corresponden a chacras con un contenido de fósforo disponible más o menos elevado. Sin embargo también aparecen cuatro experimentos que tuvieron niveles de fósforo disponible bajos (4 a 7 ppm). Los cuatro experimentos corresponden al año 1979, lo que sugiere la existencia de un efecto año.

4. 2. El efecto año

Las características particulares del año 1979 fueron discutidas en la sección 3.4, y podrían explicar la ausencia de respuesta en cuestión. La excelente preparación de tierras de 1979 presumiblemente determinó un desarrollo radicular y una mineralización de fósforo especialmente favorables. El desarrollo radicular, por una parte, está directamente relacionado a la capacidad de las plantas para extraer fósforo del suelo, a causa de la baja movilidad de este nutriente. Por lo tanto una determinada cantidad de fósforo disponible en el suelo puede ser insuficiente en condiciones normales y suficiente en condiciones de una gran producción de raíces. El fósforo mineralizado, por otra parte, podría haber sido incompletamente detectado por los métodos de análisis. Solamente dos de los ocho experimentos de 1979 mostraron respuesta positiva al fósforo, y uno de ellos (Gallo) presentaba un suelo deteriorado, inapropiado para producir un desarrollo radicular y una mineralización de fósforo favorables. El otro experimento (Jorajuría) será comentado en la sección 4.4.

4. 3. Respuestas positivas

En el cuadro 11 se presenta la distribución de aumentos de rendimiento obtenidos con las dosis de fósforo económicamente óptimas, en los experimentos con respuesta positiva. Dichos aumentos variaron entre 141 y 870 kg/ha, y el promedio fue 480 kg/ha. En el 66 o/o de los casos la dosis de fósforo económicamente óptima produjo un aumento de 200 a 800 kg de grano por ha, y en el 22 o/o el aumento fue inferior a 200 kg/ha.

Cuadro 11: Distribución de los aumentos de rendimiento obtenidos con las dosis de P económicamente óptimas.

Aumentos de Rendimiento (kg/ha)	Total de Experimentos	
	Número	o/o
1 - 200	2	22
200 - 400	2	22
400 - 600	1	11
600 - 800	3	33
más de 800	1	11
Aumento promedio 480 kg/ha		

El Cuadro 12 muestra la distribución de eficiencias y retornos a las dosis de fósforo económicamente óptimas, definidas en forma similar al caso del nitrógeno. En todos los casos el retorno fue mayor de 1.50. Es decir que la fertilización fosfatada produjo un beneficio económico importante en todos los experimentos que tuvieron respuesta positiva. En promedio se obtuvieron 9 kg de grano/kg de P_2O_5 . El retorno promedio fue 3.0; es decir que en los experimentos con respuesta positiva la dosis de fósforo económicamente óptima produjo en promedio N\$ 3.0 por cada N\$ 1 invertido en el fertilizante.

Cuadro 12: Distribución de eficiencias y retornos a la dosis de P económicamente óptima.

Eficiencia (kg cebada/kg P_2O_5)	Retorno	Total de Experimentos	
		Número	o/o
4.5 - 7.5	1.5 - 2.5	5	56
7.5 - 10.5	2.5 - 3.5	1	11
10.5 - 13.5	3.5 - 4.5	1	11
mayor de 13.50	mayor de 4.50	2	22
Eficiencia promedio 9.0 kg cebada/kg P_2O_5			
Retorno promedio 3.0			

La distribución de las dosis de fósforo económicamente óptimas para los experimentos con respuesta positiva se presenta en el Cuadro 13. En los casos de respuesta lineal se consideró un óptimo económico igual a la máxima dosis de fósforo empleada en los experimentos (90 kg de P_2O_5 /ha), en forma similar a lo aplicado para el nitrógeno. En el 78 o/o de los casos el óptimo económico se situó entre 20 y 60 kg de P_2O_5 /ha, y el promedio fue 54 kg/ha.

Cuadro 13: Distribución de los óptimos económicos para P.

Óptimo Económico (kg P_2O_5 /ha)	Total de Experimentos	
	Número	o/o
20 - 40	2	22
40 - 60	5	56
60 - 80	0	0
Más de 80	2	22

Óptimo económico promedio 54 kg P_2O_5 /ha

Se aprecia que los óptimos económicos para fósforo (en kg de P_2O_5 /ha) en general fueron inferiores a los óptimos económicos para nitrógeno (en kg de N/ha). Los aumentos de rendimiento, e incluso las eficiencias, fueron también inferiores en el caso del fósforo. Sin embargo el retorno promedio para el fósforo fue mayor que para el nitrógeno, ya que la diferencia en las relaciones de precio fue más importante que la diferencia en las eficiencias.

4.4. El efecto nivel de rendimiento y/o exceso de nitrógeno

Las chacras con un contenido de fósforo disponible elevado generalmente no mostraron respuesta positiva al fósforo. Sin embargo en el establecimiento del Sr. Jorajuría el fósforo disponible fue 18 ppm y 30 ppm por los métodos Bray I y Resinas respectivamente, y la fertilización fosfatada a la dosis económicamente óptima de 44 kg de P_2O_5 /ha produjo un aumento de rendimiento de 664 kg de grano/ha, lo cual significa una eficiencia de 15 kg de grano/kg de P_2O_5 . El experimento presentó dos particularidades que podrían explicar esta, en principio, inesperada respuesta. La primera particularidad es que el rendimiento máximo fue 3520 kg/ha, muy superior a los rendimientos máximos de los demás experimentos. La literatura internacional registra numerosas referencias de que la respuesta a los nutrientes en general, incluyendo el fósforo (5), aumenta marcadamente a medida que el nivel de rendimiento se eleva.

La segunda particularidad es que la cebada tuvo un problema de vuelco muy importante, asociado a una gran disponibilidad del nitrógeno. En estas condiciones lo que normalmente es una disponibilidad de fósforo innecesariamente elevada puede pasar a ser una disponibilidad necesaria, a los efectos de reducir el desbalance de nutrientes en las plantas causado por el exceso de nitrógeno (10) (17).

Esta información indica que para cultivos de cebada en el Sur de Uruguay la fertilización con una dosis mínima de fósforo podría ser altamente conveniente aunque la disponibilidad de fósforo en el suelo sea elevada, cuando antecedentes y tecnología permitan aspirar a niveles de rendimiento muy altos y/o anticipar problemas de exceso de nitrógeno. Es necesaria más información para la verificación de esta hipótesis y para la determinación de la importancia relativa de los dos factores mencionados.

4.5. Relación del óptimo económico con el fósforo disponible del suelo

La relación de la dosis de fósforo económicamente óptima de cada experimento, u óptimo económico, con el correspondiente contenido de fósforo disponible del suelo se muestra en forma gráfica en las figuras 2 y 3. Cada punto indica el valor de ambas variables para un experimento en particular. La Figura 2 corresponde al fósforo disponible determinado por el método Bray -I y la Figura 3 al determinado por el método de Resinas Catiónicas. En ambas figuras se advierte que los puntos pertenecientes a 1978 y 1980 tienden a una relación común, en que el óptimo económico descende con el aumento del fósforo disponible en el suelo, hasta un mínimo de cero. Los puntos pertenecientes a 1979, por el contrario, se apartan notoriamente de la tendencia de los otros dos años. En general los óptimos económicos de 1979 ya son iguales a cero con niveles del orden de 5 ppm de fósforo disponible. Existe una excepción, constituida por el punto que marca un óptimo económico de 44 kg de P_2O_5 /ha con un nivel de 18 ppm de fósforo disponible en la Figura 2, y con un nivel de 30 ppm en la Figura 3. Esta excepción corresponde al experimento discutido en la sección 4.4.. El caso general de la respuesta al fósforo en 1979 fue discutido en las secciones 4.1 y 4.2..

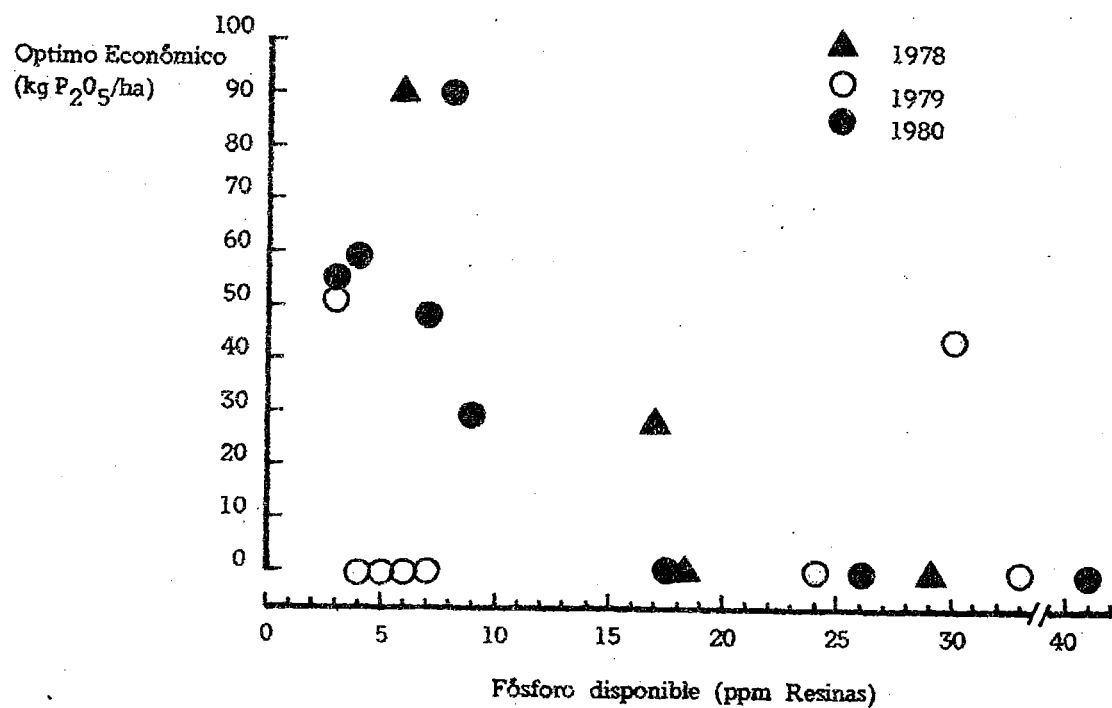
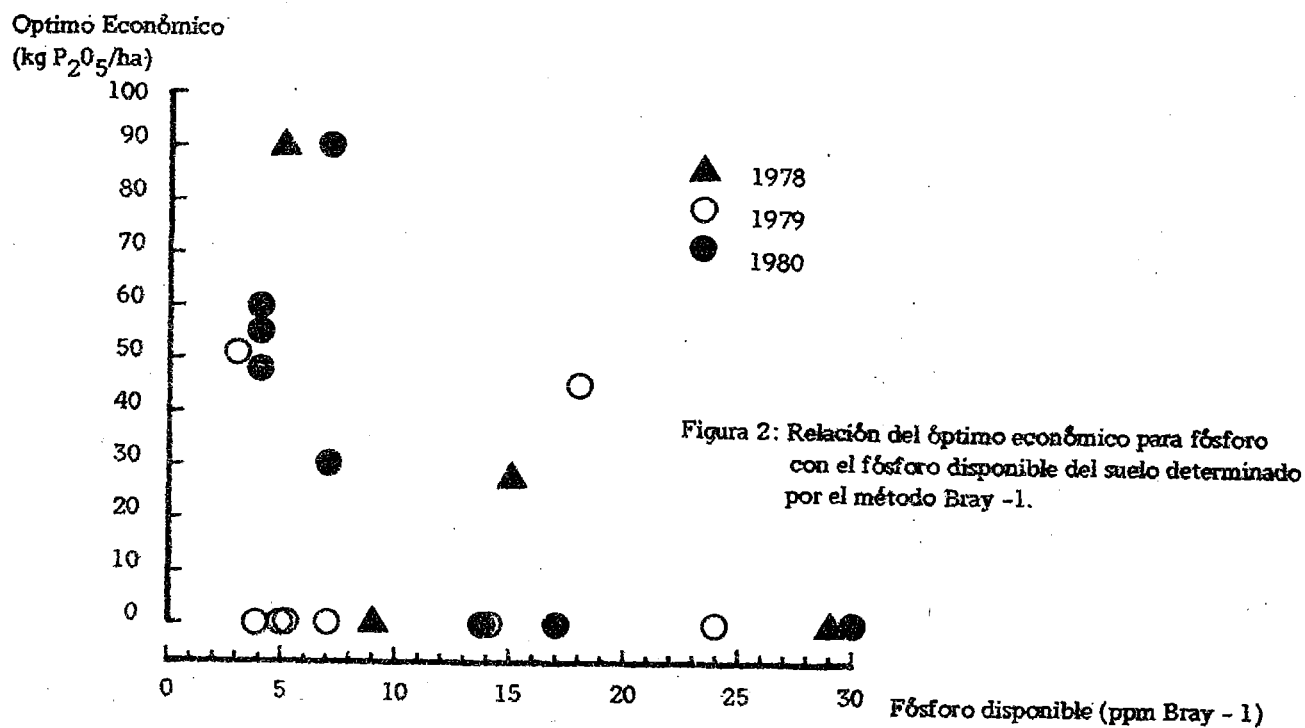


Figura 3: Relación del óptimo económico para fósforo con el fósforo disponible del suelo determinado por el método de Resinas Cationicas.

La relación común observada para los años 1978 y 1980 en las figuras 2 y 3, puede ser apropiadamente descrita por un modelo de líneas rectas intersectantes del tipo de los presentados por Anderson y Nelson (2). Se empleó la metodología propuesta por estos autores, realizando sucesivos ajustes con el Modelo III. Para cada ajuste se utiliza un valor máximo de fósforo disponible, que corresponde al valor donde comienza el "plateau" del modelo, es decir el valor a partir del cual el óptimo económico es cero. De todos los ajustes realizados se selecciona el de menor cuadrado medio para el error. El ajuste seleccionado para el método Bray-1 y el ajuste seleccionado para el método de Resinas Catiónicas se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Modelos para predecir el óptimo económico para P, en base al fósforo disponible del suelo determinado por los métodos Bray I y Resinas Catiónicas.

		BRAY - 1		RESINAS	
Óptimo Económico (kg P_2O_5 /ha)		$101 - 8,4 P_b$		$88 - 4,4 P_r$	
R^2		0,68		0,74	
Fuente de Variación G.L.		C.M.	F.	C.M.	F.
Modelo	1	9.048,4	20,98**	9.854,0	28,10**
Error	10	431,2		350,7	

P_b : fósforo disponible del suelo (en ppm, 0 a 15 cm de profundidad) por el método Bray - 1, hasta un máximo de 12 ppm

P_r : fósforo disponible del suelo (en ppm, 0 a 15 cm de profundidad) por el método Resinas Catiónicas, hasta un máximo de 20 ppm.

** : significativo al nivel 1 o/o

El modelo para el método Bray - 1 predice un óptimo económico de 101 kg de P_2O_5 /ha cuando el valor de fósforo disponible es cero. Este óptimo desciende 8,4 kg de P_2O_5 /ha por cada ppm que aumenta el fósforo disponible del suelo, hasta llegar a cero con 12 ppm, o más.

El modelo para el método de Resinas Catiónicas predice un óptimo económico de 88 kg de P_2O_5 /ha cuando el valor de fósforo disponible es cero. Este óptimo desciende 4,4 kg de P_2O_5 /ha por cada ppm que aumenta el fósforo disponible del suelo, hasta llegar a cero con 20 ppm o más. Se observa que el modelo para Bray - 1 predice óptimos económicos más altos que el modelo para Resinas cuando el fósforo disponible es cero. En otras palabras, el intercepto del modelo para Bray - 1 es más alto. Sin embargo ambos modelos predicen óptimos económicos similares cuando el fósforo disponible es del orden de 3 ó 4 ppm, que son los valores más bajos encontrados en este trabajo. Los métodos Bray - 1 y Resinas se caracterizan, precisamente, por resultar en similar número de ppm en el rango de valores bajos de fósforo disponible. En el rango de valores altos el número de ppm determinado por Bray - 1 se corresponde en promedio con un número de ppm sustancialmente más elevado en el método de Resinas.

El Cuadro 14 permite apreciar que el modelo para el método de Resinas tuvo un R^2 mayor que el modelo para el método Bray - 1. Es decir que el primero explicó una proporción más alta de la variación en los óptimos económicos para fósforo. Sin embargo la diferencia no resultó estadísticamente significativa al nivel 10 o/o de probabilidad de acuerdo al test de Hotelling (13).

El Cuadro 15 presenta la comparación de los óptimos económicos predichos por los modelos descritos con los óptimos económicos obtenidos en los experimentos. Se aprecia que la concordancia entre valores predichos y obtenidos en general es buena, lo cual es también indicado por los valores de R^2 del Cuadro 14. Dicha concordancia es relativamente pobre en el caso particular de los dos últimos experimentos del Cuadro 15, que son responsables de que los R^2 no sean todavía más elevados.

Cuadro 15: Comparación del óptimo económico para P obtenido en experimentos de 1978 y 1980, con el óptimo económico predecido en base a fósforo disponible del suelo.

Productor	Año	Optimo económico obtenido	Optimo económico predecido	
			Bray - 1	Resinas
Meickle	1978	0	0	0
Bartaburu	1980	0	0	0
Meickle	1980	0	0	0
Falcone	1980	0	0	9
Fáb. Nal. de Cerveza	1978	0	25	9
Grondona	1978	28	0	13
Etchenique	1980	30	42	48
Rodríguez	1980	48	67	57
Cóccolo	1980	55	67	75
Banchero	1980	59	67	70
Gasparri	1978	90	59	62
Alayón	1980	90	42	53

Se concluye que empleando modelos de líneas rectas intersectantes en base al contenido de fósforo disponible del suelo determinado por el método Bray - 1 o por el método de Resinas Catiónicas, se obtuvo una buena precisión en la predicción de las dosis de fósforo económicamente óptimas para las condiciones de los años 1978 y 1980. Los experimentos de 1979 no fueron utilizados en el ajuste de los modelos porque la respuesta al fósforo en este año fue marcadamente inferior a la respuesta observada en los otros dos años. Esta diferencia podría deberse a condiciones climáticas que permitieron una preparación de tierras excepcionalmente favorable en 1979.

5. RESPUESTA AL POTASIO

Solamente uno de los 20 experimentos en tres años que aquí se analizan, mostró respuesta significativa al potasio al nivel 5 o/o de probabilidad. El Cuadro 16 muestra la razón de esta falta de respuesta.

Cuadro 16: Distribución de los contenidos de potasio del suelo en todos los experimentos.

Potasio (meq. / 100 g)	Total de experimentos	
	Número	o/o
0.2 - 0.4	2	10
0.4 - 0.6	4	20
0.6 - 0.8	4	20
0.8 - 1.0	6	30
1.0 - 1.2	3	15
más de 1.2	1	5
Promedio (meq/100 g)	0.78	

El contenido de potasio intercambiable en los suelos de los experimentos fue alto, variando entre 0.24 y 1.46 meq/100 g, con un promedio de 0.78 meq/100 g. Esta información concuerda con la información disponible de otras fuentes, que indica para los suelos de texturas medias y pesadas del área agrícola uruguaya altos valores de potasio intercambiable en los suelos (16) y general ausencia de respuesta a la fertilización con potasio en los cultivos extensivos (9).

El experimento con respuesta al potasio fue realizado en 1978 en el establecimiento del Sr. Meickle. Se obtuvo un aumento de rendimiento de 444 kg de grano/ha por aplicación de 50 kg de K_2O /ha. El contenido de potasio intercambiable del suelo fue 0.89 meq/100 g, valor con el cual se esperaría ausencia de respuesta al potasio. Casos infrecuentes como éste pueden ser atribuidos al error experimental. Particularmente, un experimento en veinte es una proporción de 5 o/o, que es la probabilidad de error Tipo I de acuerdo al nivel de significancia elegido. Sin embargo en este caso especial la existencia de respuesta al potasio también podría ser explicada, ya que un estudio de laboratorio detectó alta infección de Helminthosporium sp. en el grano de cebada. El potasio podría haber aumentado la resistencia del cultivo a esta enfermedad, o podría haber ayudado a escapar en parte a la misma mediante el adelantamiento en el ciclo que dicho elemento frecuentemente produce (7).

APENDICE

Sección 1A. Diseño utilizado en los experimentos.

Tratamiento	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
1	0	0	0
2	0	30	0
3	0	60	0
4	0	90	0
5	30	60	0
6	70	60	0
7	05	60	0
8	70	0	0
9	70	30	0
10	70	90	0
11	35	60	50

Tamaño de parcela : 1.75 m x 14.5 m : 25,375 m²

Número de repeticiones : 3

Superficie cosechada: 0.65 m x 12 m : 7,8 m²

Sección 2A. Localización y fecha de siembra de los experimentos.

Año	Departamento	Localidad	Productor	Fecha de siembra
1978	Colonia	La Horqueta	Grondona	3/8
1978	Colonia	Nueva Helvecia	F. N. C.	18/8
1978	Rocha	Balizas	Gasparri	24/8
1978	Soriano	Cañada Nieto	Meickle	16/8
1979	Colonia	San Juan	Cóccolo	26/7
1979	Colonia	Campana	Barcenaz	17/8
1979	Colonia	Viboras	Jorajuría	14/6
1979	Colonia	Artilleros	Gonnet	26/7
1979	Colonia	San Pedro	Bonaglia	27/7
1979	Río Negro	Young	Píriz	21/7
1979	Soriano	Dolores	Gallo	17/8
1979	Soriano	Dolores	Bartaburu	13/6
1980	Soriano	Cañada Nieto	Meickle	9/8
1980	Soriano	Dolores	Bartaburu	20/8
1980	Soriano	Palo Solo	Alayón	8/8
1980	Soriano	Palo Solo	Banchero	8/8
1980	Colonia	Campana	Rodríguez	9/8
1980	Río Negro	A ^o Negro	Falcone	15/8
1980	Colonia	San Juan	Cóccolo	12/8
1980	Río Negro	Col.C.M.Gutiérrez	Etchenique	16/8

Sección 3A. Modificaciones en las técnicas de análisis de suelos.

1. FOSFORO DISPONIBLE POR BRAY - 1.

El tiempo de agitado es de 5 minutos y la colorimetría según Murphy y Riley (15).

2. FOSFORO DISPONIBLE POR RESINAS DE INTERCAMBIO CATIONICO:

Después de agitar se deja decantar 30 minutos y se agregan 10 gotas de H_2SO_4 5N, dejando reposar hasta que aclare (máximo 90 minutos). Se toma la alícuota para colorimetría.

3. POTASIO INTERCAMBIABLE

Se emplea muestra de suelo secada, molida y tamizada según se indicó en la sección 1. Se utilizan 10 gramos de suelo y 1000 ml de acetato de amonio.

4. NITRATOS

Se pesan 25 gramos de suelo y se agregan 125 ml de agua. Se utiliza $CuSO_4$ como agente floculante. Se filtra después de agitar.

Sección 4A. Significado de la dosis económicamente óptima para la formulación de recomendaciones.

Para determinar la dosis económicamente óptima correspondiente a cierto lugar se realiza en el mismo un experimento con varias dosis y se obtiene la curva de respuesta. Posteriormente por medio de un cálculo matemático muy sencillo se determina cual es la dosis que maximiza el ingreso descontado el costo del fertilizante. Obsérvese que en esta determinación no hay riesgo ninguno porque al calcular el óptimo económico ya se sabe exactamente que pasó, es decir se conoce la curva de respuesta. Cuando un técnico hace una recomendación sobre fertilización, la situación es diferente. El técnico aplica cierto sistema a modelo, que en el caso de nitrógeno puede ser en base a nitratos y materia orgánica como el que se presenta en este trabajo, o en base historia de la chacra y tipo de suelo como en la Guía para Fertilización de Cultivos, puede ser en base a fósforo disponible para el caso de este nutriente, o cualquier otro sistema. Por más preciso que sea este sistema hay siempre un riesgo apreciable de que el mismo proporcione un valor erróneo. En parte porque en circunstancias normales todos los sistemas tienen errores. Y en parte porque pueden darse circunstancias anormales que modifiquen la respuesta a la fertilización y que ningún sistema puede predecir. Por ejemplo un ataque de enfermedades, o la pérdida del cultivo por factores climáticos.

Es decir que cuando se formula una recomendación si interviene el riesgo, y en estos casos la determinación de un óptimo económico se complica enormemente. Porque los riesgos son diferentes en el tiempo y son diferentes para cada productor. Y las consecuencias en el caso de pérdidas económicas también. El efecto de esto es que el óptimo económico para las condiciones de riesgo en que se realizan las recomendaciones puede ser menor al estimado por los sistemas de recomendaciones. Esto es particularmente cierto para productores con problemas financieros y para dosis altas, y por eso es, por ejemplo, que en la Guía para Fertilización de Cultivos se presentan dos recomendaciones, una máxima y otra mínima. Este efecto del riesgo en el sentido de reducir el óptimo económico, especialmente en el caso del fósforo, es por lo menos parcialmente compensado por el efecto residual del fertilizante, lo cual introduce todavía más complicaciones al análisis. En un balance de todos estos factores se concluye que ecuaciones y gráficas como las que se muestran en este trabajo, basadas en óptimos económicos calculados sin considerar el factor riesgo, en general deben ser usadas para determinar la dosis máxima que se podría recomendar. Para posteriormente decidir si lo más apropiado es utilizar esa dosis máxima o utilizar una dosis menor, en base a una evaluación en acuerdo con el productor de los riesgos, de la actitud del productor (que es quien corre los riesgos) frente a los mismos, y de los beneficios a esperar del fertilizante residual.

Sección 5A. Definiciones de tipo de chacra (adaptado de la Guía para la Fertilización de Cultivos, 1976).

Suelos

Brunosoles Sub-éutricos

Brunosoles Eutricos

Vertisoles

Chacra vieja: Después del cuarto cultivo consecutivo, partiendo de una pradera o campo natural.

Chacra nueva: Hasta el cuarto cultivo consecutivo después de pradera o campo natural.

BIBLIOGRAFIA

1. ALTAMIRANO, A. et al (1976) Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay Tomo I: Clasificación de Suelos. D.S.F. - M.A.P.
2. ANDERSON, E.L. and NELSON, L.A. (1975) A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. *BIOMETRICS* 31 (2): 303-318.
3. BAETHGEN, W.E.; CAPURRO, E.; TRUJILLO, A.; BOZZANO, A. (1980). Fertilización de Cebada Cervecera. Resultados de 1979. Informe. Estación Experimental La Estanzuela. CIAAB. MAP.
4. BAETHGEN, W.E.; TRUJILLO, A.; BOZZANO, A. (1981). Fertilización de Cebada Cervecera. Resultados de 1980. Informe. Estación Experimental La Estanzuela. CIAAB. MAP.
5. BARBER, S.A. (1967) The Changing Philosophy of Soil Test Interpretations. In: *Soil Testing and Plant Analysis*. S.S.S.A. Special Publication No. 2.
6. BRAY, R.H. and KURTZ, L.T. (1945) Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59:39-45.
7. CAPURRO, E. y TRUJILLO, A. (1979). Respuesta de la cebada cervecera a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Resultados de 1978. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay* 20:31 (1981). También: Facultad de Agronomía, 2a. Reunión Técnica (1979). También: CIAAB, mimeografiado (1979).
8. CARSON, P.L. (1975). Recommended Nitrate-Nitrogen Tests. In: *Recommended Chemical Soil Test Procedures-North Dakota St.Un.Bull.No.499*.
9. CLAASEN, N. y RABUFFETTI, A. (1971) Uso de fertilizantes en el cultivo de trigo. In: *El trigo en el Uruguay.E.E.M.A.C. Facultad de Agronomía*.
10. COPE, F. and HUNTER, J.G. (1967) Interactions between Nitrogen and Phosphate in Agriculture (I and II) Phosphorus in Agriculture. *Bull. Doc. No. 46*.
11. DRAPER, N.R. and SMITH, H. (1966). *Applied Regression Analysis*. New York. J.Wiley & Sons.(Ed).
12. HEADY, E.O.; PESEK, J.T. and BROWN, W.G. (1955). Crop Response Surfaces and Economic Optima in Fertilizer Use. *Iowa State Coll. Res.Bull.424*.
13. HOTELLING, H. (1940) The selection of variates for use in prediction with some comments on the problem of nuisance parameters *Annals of Mathematical Statistics*. 11:271.
14. JACKSON, M.L. (1964). Extraction of exchangeable potassium from soil. Procedure 6-70. In: *Soil Chemical Analysis*. New Jersey. Englewood Cliffs.
15. MURPHY, J. and RILEY, A. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *ANALYTICA CHIMICA ACTA*. 27:31-36.
16. OUDRI, N.; CASTRO, J.L.; DOTI, R. y SECONDI, A. (1976) Guía para la Fertilización de Cultivos. MAP.
17. REYNAERT, E. y CASTRO, J.L. (1969). Los Requerimientos de Fósforo en la Fertilización de Trigo en algunos Suelos del Uruguay. *Fitotecnia Latinoamericana* 6(1):191-210.
18. STEEL, R.G. and TORRIE, J.H. (1960). *Principles and Procedures of Statistics*. New York. Mc.Graw-Hill.
19. TINSLEY, J. (1967). Determination of Organic Carbon. In: *Soil Science manual of experiments*. University of Aberdeen. Dept. of Soil Science.
20. U.S.D.A. SOIL SURVEY STAFF (1960). *SOIL CLASSIFICATION.A- Comprehensive System*. 7th. Aproximation. S.C.S.Washington.
21. ZAMUZ, E.M.de y CASTRO, J.L. (1974). Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable. La Estanzuela. CIAAB. Boletín Técnico no. 15.

SERVICIO DE INFORMACION