

RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAIZ A LA APLICACION DE FOSFORO Y AZUFRE EN LA REGION DE AZUERO, PANAMA 1989-1992

¹Román Gordón M., ²Nivaldo De Gracia, ³Andrés González, ⁴Jorge Franco y ⁵Adys P. de Herrera

RESUMEN

Durante los últimos cuatro años se han realizado en la región de Azuero, Panamá, 39 ensayos exploratorios de maíz, para observar la respuesta al fósforo, variando fuentes, métodos de aplicación y dosis. Además, se evaluó la respuesta de la aplicación del azufre. El diseño experimental usado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados consistieron de tres fuentes de fósforo (roca fosfórica, super fosfato triple y fórmula), dos métodos de aplicación (chuzo y voleo) y diferentes dosis de aplicación de fósforo. Se incluyeron otros tratamientos para evaluar el efecto de combinar el yeso con el fósforo, juntos en una misma banda, y la respuesta de la aplicación de azufre. La ganancia promedio en rendimiento, calculada a través de los 11 experimentos del Ciclo A, utilizando 30, 60 y 90 kg de P_2O_5 /ha fue de 0.52 ± 0.64 , 0.79 ± 0.81 y 0.48 ± 0.55 t/ha, respectivamente. En los Ciclos B y C, las ganancias de la aplicación del fósforo fueron menores que en el ciclo A. Analizando la respuesta del P en los ensayos nacionales se observó que la mayoría es positiva en todos los niveles evaluados, lo que comprueba que el cultivo responde a la aplicación de este elemento. La respuesta al P usando como fuente la RF fue superada por el SFT en el primer ciclo de evaluación (Ciclo A), mientras que en el Ciclo B ocurre lo contrario, la RF supera al SFT en la mayoría de las localidades. La aplicación del fósforo junto con el yeso en una misma banda no fue significativa en el Ciclo A, en comparación con la aplicación de ambos elementos por separados. En el tercer ciclo (Ciclo C), se observó los beneficios de aplicar el yeso y el fósforo juntos en una misma banda. Se encontró que la ganancia promedio de aplicarlos juntos fue de 0.289 ± 0.346 t/ha. La respuesta a la aplicación de S en general, es de pequeña magnitud, pero consistente (menor de 0,5 t/ha), y fue significativa. En los tres años (1989 - 1991) se encontró respuesta positiva en 8 de las 11 localidades. El 82, 91 y 100% de los ensayos mostraron respuestas físicas o positivas en rendimiento a las aplicaciones de 30, 60 y 90 kg/ha utilizando como fuente el SFT, respectivamente, mientras que la proporción de respuestas económicas fue de 64, 73 y 37% a las mismas dosis.

¹Ing. Agr., M.Sc. Entomología; ²Ing. Agr.; ³Agr.; ⁴Lic. Economía. Centro Regional Agropecuario de Azuero, Los Santos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

THE CORN RESPONSE TO THE APPLICATION OF PHOSPHORUS AND SULFUR IN THE REGION OF AZUERO, PANAMA. 1989-1992.

During the last four years, it has been realized in the Region of Azuero in Panamá, 39 exploratory trials in corn, to observe the response to the phosphorus changing sources, methods of application and dose. Moreover, the response of the application of sulfur was evaluated. The experimental design used was of completed blocks at random with three repetitions. The treatments evaluated consisted of three sources of phosphorus (Phosphoric rock, super phosphate triple and formula), two methods of application (strike and sow) and different dose of application of phosphorus. Other treatments were included to evaluate the effect of combining together the plaster with the phosphorus in the same band and the response of the application of sulfur. The average gain in output calculated through the 11 experiments of the Cycle A, using 30, 60 and 90 kg P_2O_5 /ha was of 0.52 ± 0.64 , 0.79 ± 0.81 , and 0.48 ± 0.55 T/ha, respectively. In the Cycle B and C, the gains of the application of phosphorus were less than in the first cycle. Analysing the response of the P in the national trials (Figure 2), it was observed that the majority is positive in all the levels evaluated, so this proves that the crop responds to the application of this element. The response to P using as source the RF was surpassed by the SFT in the first cycle of evaluation (Cycle A). In the Cycle B, it was observed that the tendency of the responses was the contrary, the RF surpasses to the SFT in the majority of the localities. The application of the phosphorus together with the plaster in the same band was not significant in the Cycle A, in comparison with the application of both elements per separated. In the third cycle (Cycle C), it was observed the benefits of applying together the plaster and the phosphorus in the same band. It was found that the average gain of applying them together was of 0.289 ± 0.346 T/ha. In general, the response to the application of S is of small magnitude but consistent (less than 0.5 T/ha), which was significant. In the three years (1989-1991), it was found positive response in 8 of the 11 localities. The 82,91 and 100% of the trials showed positive or physical responses in the output to the applications of 30,60, and 90 Kg/ha using as source the SFT, respectively, while the proportion of economical responses was of 64, 73, and 37 to the same dose.

INTRODUCCION

Según estudios realizados en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), se ha podido determinar que la mayoría de los suelos en Panamá tienen niveles bajos de fósforo y se espera que den una respuesta positiva a la aplicación de este elemento (Name y Cordero, 1987). De igual forma, se tienen evidencias de la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación del azufre en los suelos de la Región de Azuero (Gordón y col., 1989a, 1989b, 1991). El estudio de los métodos de aplicación de P en combinación con otros nutrientes no ha recibido mucha atención, especialmente las aplicaciones

consolidadas en banda, bajo el sistema de labranza de conservación, con el uso de los residuos como mantillo.

Los trabajos de Lindsay (1979), indican que la inclusión de cationes tales como NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , y Mg^{++} en los fertilizantes, facilita que entren a formar parte de los productos iniciales de reacción con el fertilizante fosfórico. El fosfato monocalcico ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$), la fuente principal de P en super fosfato simple (SFS) y super fosfato triple (SFT), contiene suficiente Ca para precipitar la mitad del P como fosfato dicalcico (FD) o fosfato dicalcico dihidratado (FDD) (Lindsay, 1979). La solubilidad del FD se incrementa cuando el sulfato de

amonio se aplica junto con una fuente de P-ortofosfato (Starostka y Hill, 1955). Miller y col. (1970) demostraron que la disminución del pH en la rizosfera como resultado de la absorción de NH_4^+ , podría aumentar la relación de $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$, y así incrementar la disponibilidad del P en el suelo.

La RF presenta ciertas ventajas en suelos ácidos, principalmente una mayor disponibilidad debido a su solubilidad bajo condiciones ácidas. La acidez del suelo es el factor principal que determina la disponibilidad del P a partir de la RF, ya que, un pH bajo favorece la disolución del apatito (Joos y Black, 1950). Otra ventaja que existe en algunas áreas es que el precio de la roca fosfórica es de 50 a 75% más barata que otras fuentes tradicionales de fósforo. Aún cuando se considere al pH como el factor más importante con relación a la disponibilidad de roca fosfórica en el suelo, trabajos realizados por Chu y col. (1962) demostraron que la textura y la cantidad de hierro en los suelos afectaba la eficiencia del uso del P a partir de esta fuente.

En 1988 se iniciaron varios ensayos de fertilidad por parte del Programa Regional de Maíz (PRM), con el objetivo principal de estudiar la respuesta a las aplicaciones de distintas fuentes y dosis de P y S. Adicional a esto, el Programa Nacional de Maíz del IDIAP incluyó, a partir de 1990, evaluaciones de diferentes dosis de P y S en este cultivo. De manera general, los objetivos de estos trabajos fueron: 1) Evaluar la respuesta del maíz a diferentes dosis de P y S/ha; 2) Estimar el efecto de aplicar azufre como sulfato de calcio junto con el fósforo, en forma localizada, en

comparación a fósforo localizado y el azufre aplicado al voleo; 3) Evaluar la roca fosfórica (RF) como una fuente alternativa de fósforo; 4) Estimar diferencias en la eficiencia del uso de la RF en relación al SFT; 5) Evaluar la respuesta del maíz a las aplicaciones de azufre como sulfato de calcio.

MATERIALES Y METODOS

Ensayos Regionales del PRM

En 1989, 1990 y 1991 se realizaron tres, cuatro, y cuatro experimentos, respectivamente, para evaluar la respuesta del P en el cultivo de maíz (Ciclo A). De estos 11 experimentos, ocho (dos del 89, tres de 1990 y tres de 1991) pasaron a ser evaluados en ensayos residuales de segundo ciclo (Ciclo B). Posteriormente, a cuatro de ellos se les evaluó en un tercer ciclo residual (Ciclo C) (tres de 1990 y uno de 1989).

El diseño experimental utilizado en estos años fue de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. El tamaño de las parcelas fue de cuatro (1989), y cinco surcos de 5 m de largo (1990 y 1991). La población de maíz fue de aproximadamente 53,000 plantas/ha; esto se consiguió con una distancia de siembra de 0.75 m entre hileras y 0.50 m entre golpes. En cada golpe se dejaron dos plantas. La semilla fue tratada con el insecticida furatiocarb a razón de 8 g l.a./ha.

Se realizó un control adecuado de malezas en cada ensayo con aplicación de la mezcla de atrazina más pendimentalina en dosis de 2.0 + 2.0 lt de P.C./ha con posteriores limpiezas manuales, por escapes del control de algunas malezas. Las fuentes evaluadas de P fueron: la roca fosfórica(RF) (0-30.5-0), la fórmula común utilizada en el país (FOR) (15-30-8) y el super fosfato triple (SFT) (0-46-0). Las dosis de 30 y 60 kg de P_2O_5 /ha y la dosis de S se evaluaron con dos métodos de aplicación, uno al voleo en forma superficial sobre la hilera de maíz (sin incorporación) al momento de la siembra, y el otro aplicado a chuzo (banda) también a la siembra. En los últimos años se incluyó la dosis de 90 kg de P_2O_5 /ha. La descripción de los tratamientos se presenta en los Cuadros 1, 2 y 3. Estos tratamientos se aplicaron en el primer ciclo del cultivo (Ciclo A). En los ciclos residuales (B y C), a todos los tratamientos se le aplicó únicamente nitrógeno, a razón de 100 kg/ha en forma de urea, a excepción del testigo del agricultor, el cual llevaba todos los años la dosis de 227 kg de 15-30-8/ha más 227 kg de urea.

Se realizó una clasificación taxonómica del suelo y los mismos resultaron ser del orden Alfisol suborden ustalf. Todos los tratamientos llevaban 40 kg (1989) y 20 kg de S/ha (1990 Y 1991, respectivamente) en forma de yeso ($CaSO_4$). Se aplicaron 100 kg N/ha, un 50% al momento de la siembra y el resto a los 35 días después de la siembra (DDS).

Ensayos del Programa Nacional

Se realizaron 16 experimentos en la Región en el período de 1989 a 1991 (tres en 1989, siete en 1990 y seis en 1991) en diferentes localidades de Herrera y Los Santos. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las dosis de fósforo evaluadas en 1990 fueron de 50 y 100 kg/ha. En 1991 se evaluaron las dosis de 30, 60, 90, y 120 kg P_2O_5 /ha. En 1992, las dosis fueron de 20, 40, 60 y 80 kg P_2O_5 /ha. El tamaño de las unidades experimentales consistió de una parcela de cuatro surcos de 5.5 m de largo. La población de maíz fue de aproximadamente de 53,000 plantas por hectárea.

En el análisis de estos experimentos se utilizó la diferencia en rendimiento de dos tratamientos, graficado en función del potencial de rendimiento del ambiente en que se dio la respuesta (media general del ensayo en esa localidad). Una respuesta positiva indica que el primer tratamiento superó al segundo en la localidad evaluada, y uno negativo indica lo contrario. Además, una diferencia con valor cero indica que los dos tratamientos rindieron igual en esa localidad.

Metodología del Análisis Económico

Un primer nivel de análisis consistió en encontrar el porcentaje de respuestas que están por arriba de un aumento crítico en rendimiento. Este es el incremento mínimo en rendimiento de maíz, necesario para compensar el aumento en costos totales implicados por el cambio en

CUADRO 1. ESTRUCTURA DE TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO Y AZUFRE EN TRES LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMA, 1989.

Tratamiento	Fuente de P ⁱ	Dosis de P ₂ O ₅ kg/ha	Método de Aplicación	
			Fósforo	Azufre
1	RF	30	VOLEO	VOLEO
2	RF	30	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
3	RF	60	VOLEO	VOLEO
4	RF	60	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
5	FOR	30	VOLEO	VOLEO
6	FOR	30	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
7	FOR	60	VOLEO	VOLEO
8	FOR	60	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
9	SFT	30	VOLEO	VOLEO
10	SFT	30	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
11	SFT	60	VOLEO	VOLEO
12	SFT	60	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P.
13	TESTIGO	0	---	VOLEO
14	RF	30	CHUZO	VOLEO
15	SFT	30	CHUZO	VOLEO
16	SFT	30	CHUZO	SIN AZUFRE
17	RF	30	CHUZO	SIN AZUFRE
18	FOR	30	CHUZO	SIN AZUFRE
19	TESTIGO AGRIC.	68		SIN AZUFRE

RF = Roca fosfórica, FOR = Fórmula, SFT = Super fosfato triple

CUADRO 2. ESTRUCTURA DE TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A EL FÓSFORO Y EL AZUFRE EN CUATRO LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMÁ 1990.

Tratamiento	Fuente de Fósforo	Dosis	Método de Aplicación	
			P ₂ O ₅	S como yeso
1	RF	30	VOLEO	VOLEO
2	RF	60	VOLEO	VOLEO
3	RF	90	VOLEO	VOLEO
4	SFT	30	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P
5	SFT	30	CHUZO	VOLEO
6	SFT	60	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P
7	SFT	60	CHUZO	VOLEO
8	SFT	90	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P
9	SFT	60	CHUZO	SIN AZUFRE
10	SFT	60	VOLEO	VOLEO
11	FOR	60	CHUZO	CHUZO JUNTO AL P
12	TESTIGO	0	----	VOLEO
13	TESTIGO	0	----	SIN AZUFRE
14	TESTIGO DEL AGRICULTOR	68	CHUZO	SIN AZUFRE

CUADRO 3. ESTRUCTURA DE TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAÍZ A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO Y AZUFRE EN CUATRO LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMÁ, 1991.

Tratamiento	Dosis de P ₂ O ₅ kg/ha	Dosis de S (kg)	Dosis de N (kg)
1	0	0	100
2	30	0	100
3	60	0	100
4	90	0	100
5	0	20	100
6	30	20	100
7	60	20	100
8	90	20	100
9	0	0	0
10	60	0	200
11 ¹	60	20	100
12	TESTIGO AGRICULTOR	0	

¹ En el tratamiento 11 la fuente de Fósforo fue la Roca Fosfórica

tratamientos. El incremento en rendimiento se calculó de la siguiente forma:

$$R = (Q \cdot r_p) \quad [1]$$

donde:

- Q = es la cantidad de nutrientes (P_2O_5) por unidad de tiempo
 r_p = es la relación de precios relativos entre el nutrimento (P_2O_5) y el producto (maíz)

La relación de precios relevante se calcula como (Jauregui y Sain, 1990) sigue:

$$r_p = \frac{(P_p + CA) (1 + R)}{(PCm) \cdot (1 - a)} \quad [2]$$

donde:

- P_p = Precio de campo del P_2O_5 (B/.0.79/kg)
 CA = Costo de aplicación (B/.0.05/kg)
 R = Tasa mínima de retorno (15%)
 PCm = Precio de campo del maíz (B/.0.19 /kg)
 a = Porcentaje de ajuste estimado en los rendimientos experimentales (10%)

Un segundo nivel de análisis consistió en la evaluación económica de las diferentes alternativas tecnológicas, utilizando la técnica de presupuesto parcial y el análisis marginal, que relaciona los beneficios netos y los costos que varían asociados a cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Respuesta en Rendimiento de Maíz a la Aplicación de fósforo como SFT.

Los promedios de rendimiento por los tratamientos en común y las diferentes localidades en cada experimento, se presentan en el Cuadro 4. El análisis estadístico preliminar indicó que el SFT, a las diferentes dosis evaluadas, fue el fertilizante que presentaba la mayor consistencia en las respuestas a través de los diferentes ensayos, y por esta razón se usó para ilustrar la respuesta al fósforo. En todos los años, la respuesta a la aplicación de fósforo fue altamente significativa, observándose incrementos hasta de 2.0 t/ha, dependiendo de la localidad.

La ganancia promedio en rendimiento calculada a través de los 11 experimentos del Ciclo A, utilizando 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha fue de 0.52 ± 0.64 , 0.79 ± 0.81 y 0.48 ± 0.55 t/ha, respectivamente. Estas respuestas mostraron una relación algunas veces lineal y otras cuadrática, cuando fueron analizadas estadísticamente con el uso de contrastes ortogonales. En los Ciclos B y C, las ganancias de la aplicación del fósforo fueron menores que en el ciclo A (Figura 1). La dosis de 90 kg P_2O_5 /ha fue la que mantuvo un porcentaje alto de respuestas positivas en los dos ciclos siguientes (42 y 67%, respectivamente).

La respuesta a la aplicación de este elemento varió de acuerdo a la presencia del azufre. En el Ciclo A, la respuesta en presencia de 20 kg S/ha fue de 0.39 ± 0.44 , 0.68 ± 0.65 y 0.53 ± 0.46

CUADRO 4. RENDIMIENTO POR HECTAREA DE LOS TRATAMIENTOS EN COMÚN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN AZUERO PANAMA 1989 - 1992.

CICLO A

Año de Siembra		1991	1991	1991	1991	1991	1990	1990	1990	1990	1989	1989
P	S N	PC031A	PLH91A	PFED1A	PPA31A	PPA30A	PC030A	PTA30A	PLH30A	PPA30A	PC030A	PLH30A
0	0	1.99	1.82	2.25	2.80	6.61	5.02	6.47	5.25	4.10	5.07	5.07
30	0	1.97	2.25	3.25	3.00					0.18	5.41	4.25
60	0	2.46	1.60	3.38	3.27	6.71	5.83	8.38	6.17			
90	0	2.58	1.74	3.67	4.17							
0	20	2.02	1.90	2.03	3.34	6.17	5.71	5.96	5.59	5.64	5.73	4.70
30	20	2.88	1.55	3.07	3.41	6.29	6.26	6.50	5.93	6.24	6.07	4.83
60	20	2.96	1.92	3.02	3.85	6.37	6.18	6.24	6.45			
90	20	2.11	1.35	3.79	3.85	6.50	6.02	6.50	6.19			
0	0	1.74	1.09	2.49	2.84							
60	0	1.66	1.80	3.21	3.75							
30RF	20	1.41	1.81	2.45	3.03	7.02	6.09	6.48	6.04	5.31	5.69	5.08
TAGR (227 kg 15-30% N - 104 kg N)		1.70	2.40	3.00	4.27	7.28	6.38	6.80	6.24	5.15	5.70	5.43
30CH	20V					6.30	5.65	6.48	5.66	4.83	5.58	5.05
60VCL	20VCL					6.74	5.66	6.48	5.95	5.81	5.48	5.11
60FDR	20CH					6.85	6.16	6.15	6.18	6.44	5.78	5.40
						6.79	6.13	6.60	5.59	5.05	5.92	4.48
Prom Loc		2.21	1.83	3.62	3.46	6.68	5.93	6.32	5.88	5.33	5.64	5.01

CICLO B

Año de Siembra		1992	1992	1992	1992	1991	1991	1991	1991	1990	1990	1990
P	S N	PC031B	PLH31B	PFES1B	PPES1B	PC030B	PTA30B	PLH30B	PPA30B	PC030B	PLH30B	
0	0	3.623	1.776	2.618	2.77	5.46	1.25	5.18	6.03	5.23	5.12	
30	0	3.235	1.598	2.321	2.44	5.07	1.04	6.63				
60	0	3.534	2.758	2.623								
90	0	3.893	1.997	2.995	3.49	5.58	1.25	5.87	5.86	6.05	5.59	
0	20	3.323	2.812	2.454	3.38	5.02	0.86	5.02	1.13	5.87	5.59	
30	20	3.645	2.410	2.847	3.54	4.97	1.13	5.86				
60	20	3.938	2.389	2.552	2.79	4.31	0.89					
90	20	3.888	2.551	3.148								
0	0	3.423	1.971	3.242								
60	0	3.270	1.970	2.802	3.27	6.03	1.02	6.48				
30RF	20	3.971	1.940	2.851	3.79	5.82	0.50	5.19	6.43	5.49	5.49	
TAGR (227 kg 15-30% N - 104 kg N)		3.728	3.208	2.259	3.45	5.62	1.42	6.04	6.15	6.43	6.43	
30CH	20V				3.43	5.08	0.96	6.19	5.59	5.59	5.59	
60VCL	20VCL				3.50	5.48	1.20	6.12	5.48	5.97	5.97	
60FDR	20CH				4.05	4.97	1.13	5.65	5.65	5.27	5.27	
Prom Loc		3.624	2.240	2.726	3.191	5.37	1.15	5.85	5.85	5.58	5.58	

(Continuación Cuadro 4)

CICLO C

Año de Siembra			1992	1992	1992	1991
P	S	N	PCO90C	PTA90C	PLH90C	PLH89C
0	0	100	2.15	5.60	2.07	0.98
30	0	100				1.35
60	0	100	3.83	5.66	1.89	
90	0	100				
0	20	100	3.15	5.32	2.06	
30	20	100	3.78	5.56	1.93	1.65
60	20	100	4.45	5.27	1.78	1.86
90	20	100	3.43	6.15	2.00	
0	0	0				
60	0	200				
30RF	20	100	3.78	5.46	1.91	1.51
TAGR	1227 kg 15-20-B + 104 kg NI		4.05	6.20	2.13	1.89
60RF	20	100	3.49	5.32	2.73	1.81
30CH	20V	100	3.58	4.90	2.08	1.21
60VOL	20VOL	100	3.79	5.24	2.66	1.37
60FOR	20CH	100	3.88	5.26	2.18	1.07
Prom Loc			3.67	5.48	2.15	1.52

Localidad	Código del Ensayo		
La Honda	PLH91A PLH91B	PLH90A PLH90B PLH90C	PLH89A PLH89B PLH89C
Cocobola	PCO91A PCO91B	PCO90A PCO90B PCO90C	PCO89A
Parita	PPA91A	PPA90A	PPA89A PPA89A
Pedernal	PPE91A PPE91B		
Tablas Abajo	PTA90A PTA90B PTA90C		

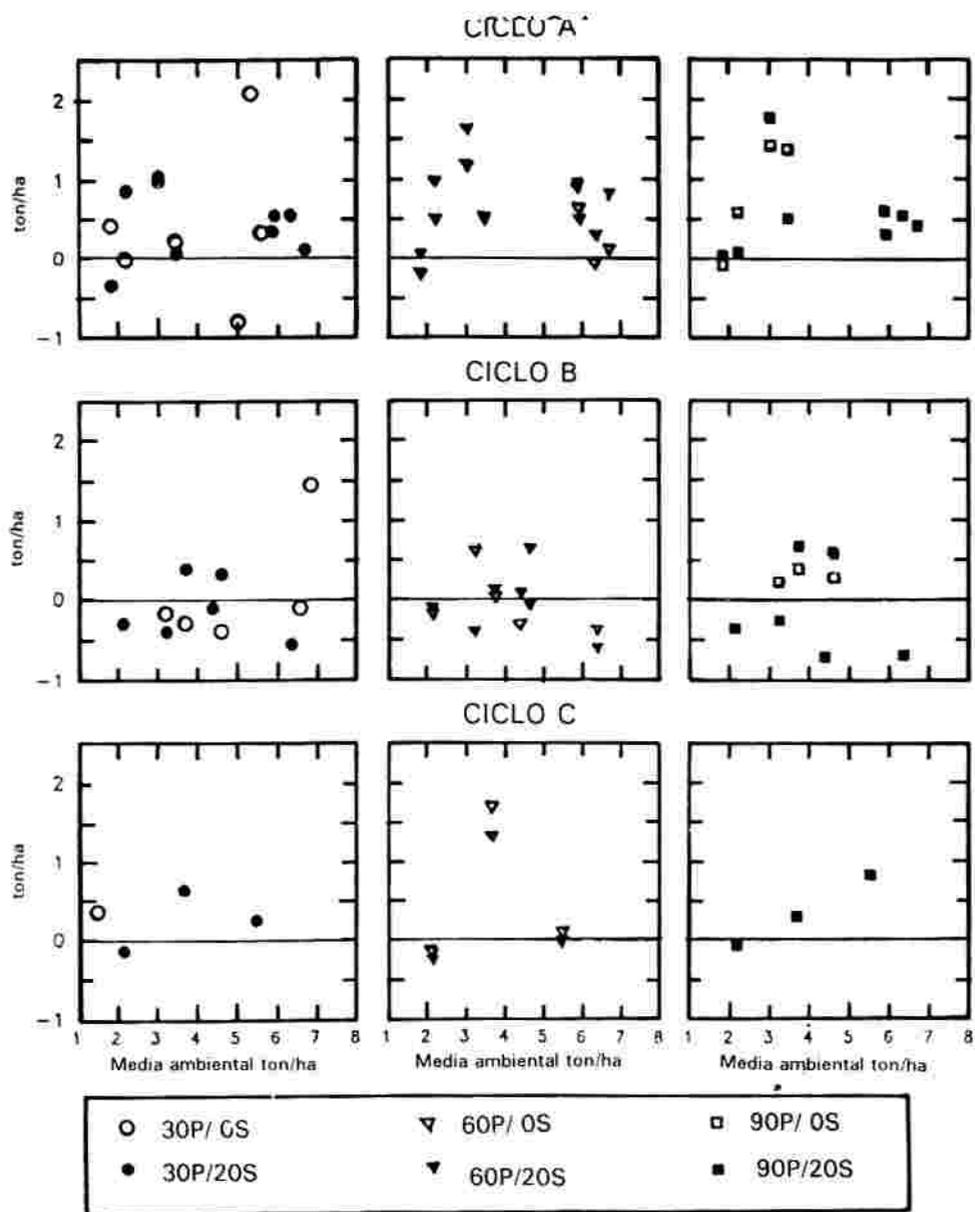


FIGURA 1. Respuesta del maíz a la aplicación de tres niveles de fósforo, bajo dos niveles de azufre, en tres ciclos de cultivo. Azuero, 1989-1992.

t/ha, para las dosis de 30, 60 y 90 kg de P/ha. Las respuestas en ausencia de S, para estas mismas dosis fueron 0.40 ± 0.31 , 0.42 ± 0.47 y 0.83 ± 0.98 t/ha, respectivamente (Figura 1).

Analizando la respuesta del P en los ensayos nacionales (Figura 2) se observa que en la mayoría de los casos es positiva, en todas las dosis evaluadas, lo que comprueba que el cultivo responde a la aplicación de este elemento. También, se encontró al analizar estos datos que la respuesta fue cuadrática ($y = 2,324 + 19.689P - 0.092P^2$).

Respuesta a la Roca Fosfórica (RF)

La respuesta al P usando como fuente la RF fue superada por el SFT en el primer ciclo de evaluación (Ciclo A). Se encontró, además, que el 64 y 86% de las diferencias fueron con signo negativo (por debajo del nivel cero), para las dosis de 30 y 60 kg/ha, respectivamente. En el Ciclo B, se observó una tendencia contraria en las respuestas, ya que la RF supera al SFT en la mayoría de las localidades. En este ciclo, el 63 y 80% de las diferencias fueron positivas para ambas dosis, respectivamente. Este resultado se puede explicar porque la RF es de disolución lenta en suelos con pH entre 5.0 y 6.0, mientras que el fósforo en el SFT estuvo más disponible en el primer ciclo. Sin embargo, debido a que la dosis de RF no se incorporó con el suelo subyacente, en los ensayos realizados bajo labranza cero, la disponibilidad de P para el cultivo en el primer Ciclo de evaluación, podría haber sido limitante a causa de su baja solubilidad y por ser un nutriente inmóvil. Ya para el segundo ciclo, al estar

más disponible el P de la RF, se encontró una mayor respuesta para esta fuente. En el Ciclo C no se observó un patrón definido en las diferencias (Figura 3).

La respuesta de la RF para las tres dosis evaluadas en estos ensayos con respecto al nivel de cero fue de 0.58 ± 0.47 , 0.35 ± 0.42 y -0.01 ± 0.35 t/ha, para las dosis de 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha, respectivamente. Se observó que el mayor rendimiento se obtiene con el nivel de 30 kg de P_2O_5 /ha, y luego el mismo va bajando hasta el nivel de 90 kg. Esto se explica ya que los niveles de fluorapatito se van incrementando a medida que se aumenta la dosis de RF, lo que pudo ser perjudicial a las plantas de maíz.

Una de las desventajas para su uso comercial es la forma de aplicarla en el campo (voleo) porque aumenta los costos y su aplicación resulta más difícil que el SFT.

Efecto del Método de Aplicación del Fósforo.

La aplicación del fósforo junto con el yeso en una misma banda no fue significativa en el Ciclo A, en comparación con la aplicación de ambos elementos por separado. Se observó una gran dispersión de los valores de la diferencia entre los dos métodos (-0.009 ± 0.374 t/ha). En el segundo ciclo de evaluación, se encontró que la mayoría de los valores se encuentran cerca del nivel cero, sin diferencia entre los dos métodos. El promedio de la respuesta en este ciclo fue de -0.086 ± 0.134 t/ha. En el tercer ciclo (Ciclo C) se observaron los beneficios de aplicar el yeso y el fósforo

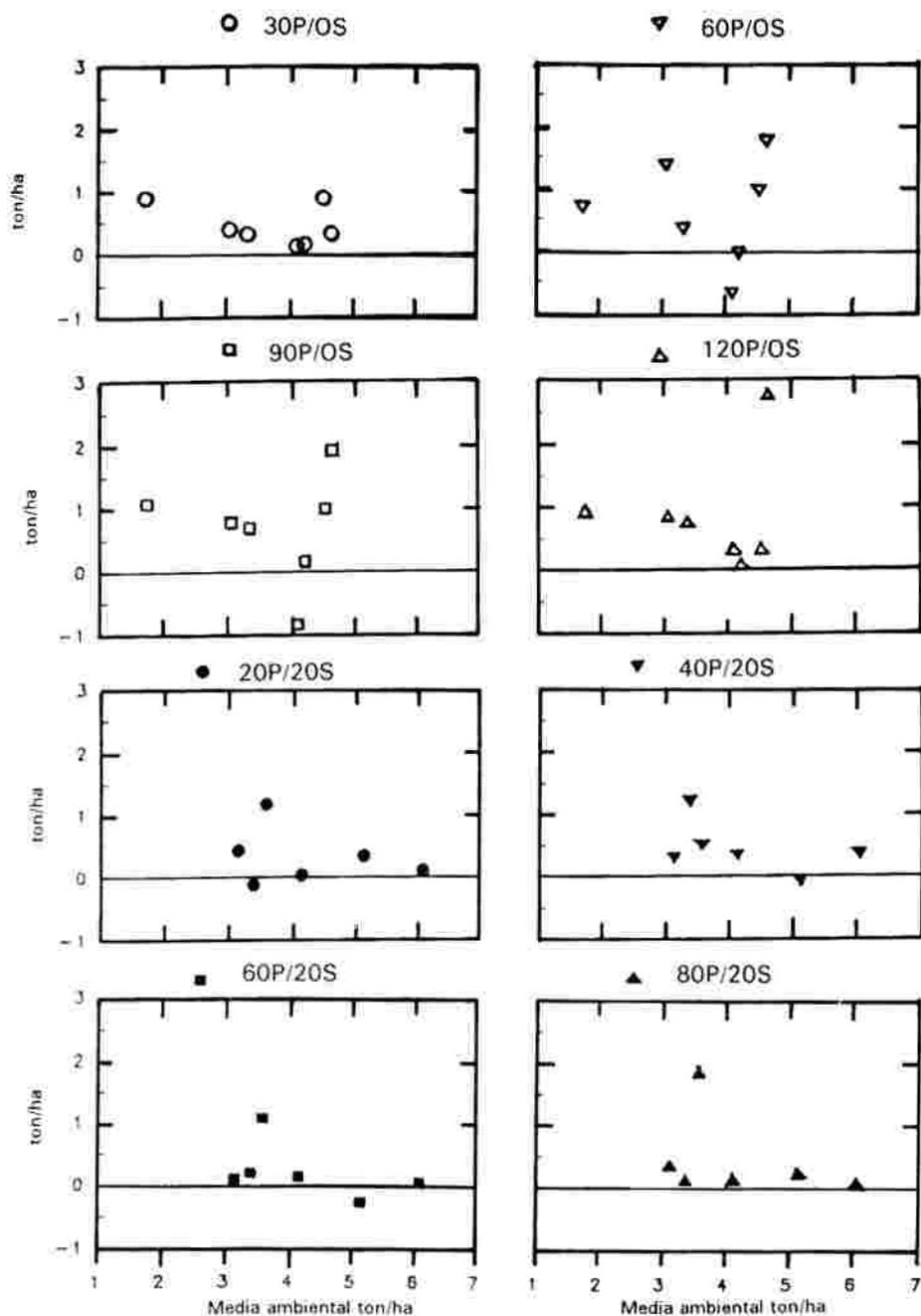


FIGURA 2. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de P con O y 20 kg de S. Azuero, 1990-92.

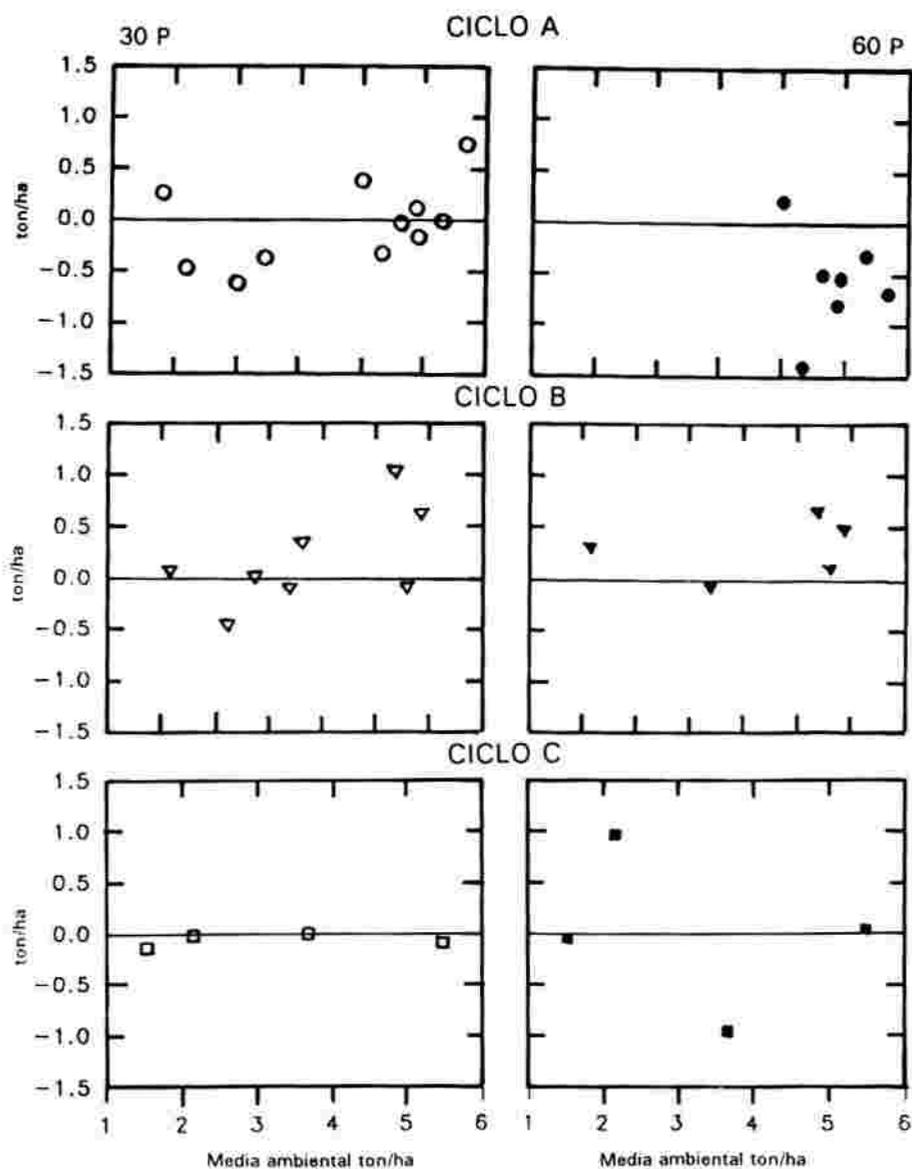


FIGURA 3. Diferencia entre la Roca Fosfórica y el Super Fosfato Triple en tres ciclos de cultivo bajo dos dosis de P (30 y 60 kg de P). Azuero, 1989-92.

juntos en una misma banda. Se encontró que la ganancia promedio de aplicarlos juntos fue de 0.289 ± 0.346 t/ha (Figura 4).

Este efecto positivo, en el tercer ciclo de siembra, pudo ocurrir debido a que el yeso es poco soluble, y su disociación lenta favoreció la formación de los compuestos FDD y FD, los cuales se mantuvieron disponibles para la planta, proporcionándole el fósforo que éstas necesitaban en este ciclo, al no renovarse la aplicación anual de este elemento. En pH bajos, los precipitados de FDD y FD fueron lentamente solubles, y de esta manera se redujo la cantidad de fósforo que pudo estar en contacto con los óxidos e hidróxidos de Fe y Al. Savant y Racz (1973), han discutido la importancia de los productos de reacción del P, particularmente los productos intermedios metaestables, los cuales pueden estar lentamente disponibles a través del tiempo.

La aplicación de los dos elementos por separado, implica mayores costos de producción, respecto a la aplicación conjunta. Esto indica que la aplicación del S en los casos que sea necesario, puede hacerse en forma conjunta con el P, con los posibles beneficios de formación de fosfatos de calcio metaestables lentamente disponibles (Lindsay, 1979; Raun y Barreto, 1991).

Se realizó una comparación entre el tratamiento del agricultor (TAGR) y el tratamiento de 60 kg de P_2O_5 /ha usando como fuente el SFT más 20 kg de S, en los tres ciclos de cultivo. Se observó que en el primer año no hubo diferencias entre los dos tratamientos (el promedio fue de 0.001 ± 0.581 t/ha), y el 55% de las

respuestas positivas favorecieron al TAGR. En el segundo y tercer ciclo (B y C), a pesar de que al TAGR se le aplicó en cada ciclo 227 kg de 15-30-8/ha y 227 kg de urea/ha, el promedio de las diferencias fue de 0.225 ± 0.550 y 0.230 ± 0.559 ton/ha, respectivamente. En comparación con el de 60 P + 20 S que sólo llevaba 100 kg de N/ha en cada ciclo (Figura 5).

Respuesta a la aplicación de S como yeso.

La respuesta a la aplicación de S en general es de pequeña magnitud, pero consistente (Figura 6). En el primer ciclo, se encontraron respuestas positivas en 8 de las 11 localidades. La respuesta a S en ausencia de P produjo un efecto positivo de 0.06 ± 0.43 t/ha.

Cuando se evaluó en los mismos años la respuesta al S, para los tratamientos con presencia de P (SFT aplicado a 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha), el efecto de S fue de 0.094 ± 0.583 , 0.324 ± 0.232 , y -0.117 ± 0.331 t/ha, indicando una posible interacción de P y S. En general, en los tres años se observaron respuestas positivas y consistentes, pero menores de 0.50 t/ha, a la aplicación de S. En los experimentos de 1990 y 1991, se observó que la respuesta fue mayor en ambientes con mayor potencial de rendimiento.

En el segundo ciclo de evaluación, se observó el efecto positivo de aplicar el S, pero no así la interacción en presencia del P. Los promedios encontrados para la respuesta a S con 0, 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha fueron de 0.235 ± 0.527 ,

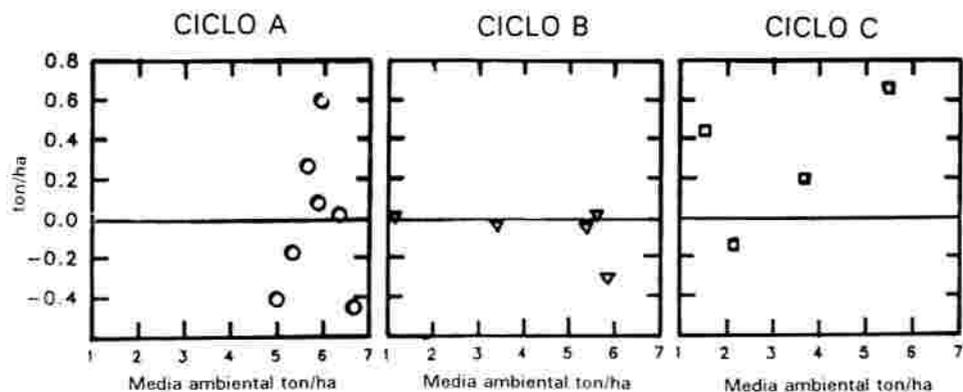


FIGURA 4. Diferencia entre la aplicación del fósforo y el azufre, en forma junta (chuzo-chuzo) versus separada (chuzo-voleo), en tres ciclos de cultivo. Azuero, Panamá, 1989-1992.

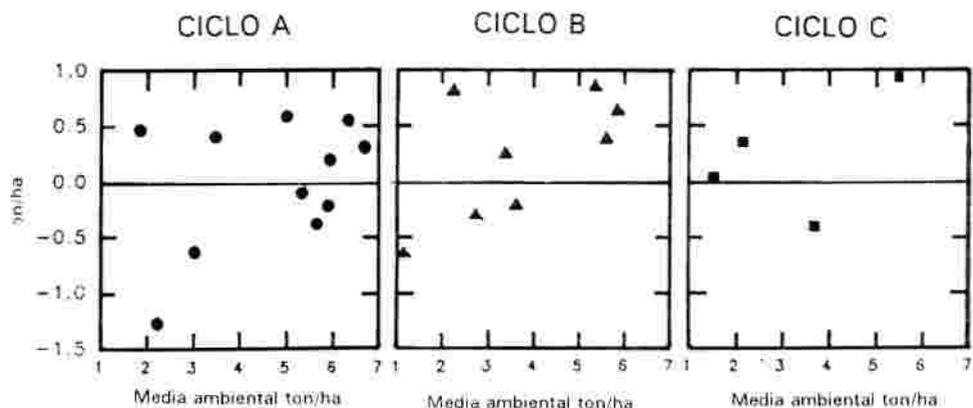


FIGURA 5. Diferencia entre el testigo del agricultor y el tratamiento de 60 kg de SFT y 20 kg de S, en tres ciclos de cultivo. Azuero, Panamá, 1989-1992.

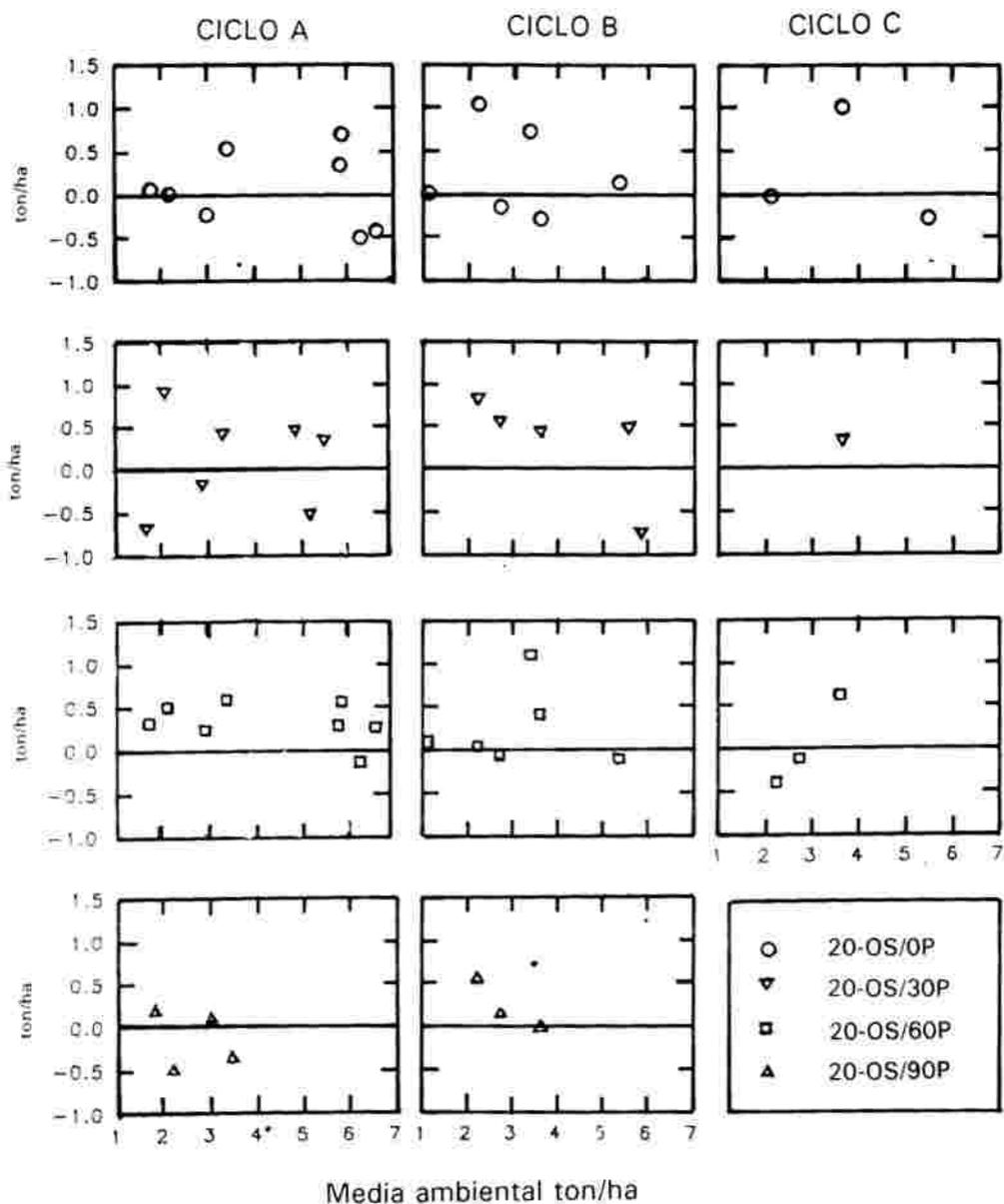


FIGURA 6. Respuesta del maíz a la aplicación de azufre, bajo distintos niveles de fósforo. Azuero, Panamá, 1989-92.

0.291 ± 0.608, 0.242 ± 0.457, y ± 0.288 t/ha, respectivamente. En el Ciclo C aún se encuentran respuestas positivas por aplicar S al cultivo, pero la misma no es muy clara.

Análisis Económico a través de los ambientes.

Para la estimación económica del efecto de dosis de P se concentró en SFT como fuente de P, dado que se tenía una mayor cantidad de datos a través de los tres ciclos. La relación de precios relativos se calculó utilizando el primer nivel de análisis. Esta relación fue de:

$$r_p = 5.67 \text{ kg maíz/kg P}_2\text{O}_5$$

Tomando este precio relativo, el incremento en rendimiento de maíz para las dosis de 30, 60, y 90 kg de P_2O_5 /ha, el cual recompensa el incremento de los costos que varían, fue de 170, 340, y 510 kg de maíz/ha. El 82, 91, y 100% de los ensayos mostraron respuestas físicas positivas en rendimientos a las aplicaciones de 30, 60, y 90 kg/ha, respectivamente, mientras que la proporción de respuesta económica fue de 64, 73 y 37% a las mismas dosis (Cuadro 5). La aplicación de 90 kg P_2O_5 /ha como SFT no resulta económicamente favorable dentro del rango de rendimientos observados en estos ensayos.

La alta probabilidad de obtención de respuestas físicas para las dosis de 30 y 60 kg P_2O_5 /ha combinadas con la alta probabilidad de respuestas económicas para estas dosis, sugiere que dentro del rango de 30 y 60 kg/ha podría encontrarse el

nivel óptimo para la fertilización con P en maíz, utilizando como fuente el SFT.

La evaluación de presupuesto, parcial y marginal, realizado al conjunto de las localidades durante 1989-1990, demostró que los tratamientos con mayores beneficios netos correspondieron a la aplicación de 30 kg/ha de RF y 60 kg de SFT; sin embargo, la tasa marginal de retorno (TMR) de esta última fue superada por la de 30 kg RF, dado los costos más bajos de ésta. También se realizaron comparaciones parciales entre tratamientos, específicamente los correspondientes al uso de la fuente SFT. Se encontró una respuesta cuadrática altamente significativa a la aplicación de fósforo, utilizando SFT (0, 30, 60 y 90); y desde el punto de vista económico es rentable la aplicación del mismo. La TMR de pasar de la no aplicación de fósforo al de 30 kg de SFT/ha fue de 166%; en tanto que, la aplicación de 60 kg/ha con respecto a la de 30 kg/ha representó un TMR de 272%. La aplicación de 90 kg/ha de SFT es una alternativa económicamente dominada; es decir, aplicar menos niveles de fósforo implica mayores beneficios netos a menores costos.

La evaluación conjunta para todas las localidades en 1991, y cuyos tratamientos correspondían básicamente a distintos niveles de SFT (con y sin utilización de Azufre), señaló que con la aplicación de 60 kg P_2O_5 /ha utilizando SFT y 20 kg S/ha, se obtuvieron los más altos beneficios netos y una TRM (163%) muy por encima de la tasa de retorno mínima. Los rendimientos a nivel de todas las localidades en 1991 estuvieron muy afectados por la baja

CUADRO 5. RESPUESTA FÍSICA Y ECONÓMICA A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO EN EL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE FUENTES Y MÉTODOS DE FÓSFORO EN LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ 1989-1991.

Localidad	Diferencia entre la dosis de P_2O_5 y el nivel de 0 kg		
	30	60	90
1989			
Parita	2.02	0.65	----
Las Tablas	2.63	1.00	----
La Honda	-0.66	-0.43	----
1990			
Parita	0.11	0.80	0.42
Las Tablas	0.54	0.47	0.31
Las Comadres	0.54	0.29	0.19
La Honda	0.34	0.92	0.54
1991			
Las Tablas	0.86	0.94	0.09
La Honda	-0.35	-0.02	0.05
Pedernal	1.03	1.59	1.76
Parita	0.07	0.51	0.51
Rendimiento mínimo de maíz	0.17	0.34	0.51
Respuestas físicas	82% (9/11)	91% (10/11)	100% (8/8)
Respuestas Económicas	64% (7/11)	73% (8/11)	37% (3/8)

precipitación, lo que explica que en dos localidades se obtuvieron mayores beneficios netos con 30 kg de P_2O_5 de SFT/ha.

BIBLIOGRAFIA

- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México 79p.
- CHU, C.R.; THOMAS, G.W.; MOSCHLER, W.W. 1962. Rock phosphate transformations in acid soils. Soil Science Society American Proceedings (EE.UU.) 26:476-478.
- GORDÓN, R; GONZÁLEZ, A.; DE GRACIA, N.; RAUN, W. 1989a. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de Azufre en el cultivo de maíz en tres localidades de Azuero. *In* Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en Maíz (*Zea mays* L). p.219-225.
- _____; DE GRACIA, N.; GONZÁLEZ, A.; RAUN, W. 1989b. Evaluación de fuentes y métodos de aplicación de Fósforo en el cultivo de maíz en tres localidades de Azuero. *In* Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en Maíz (*Zea mays* L). p.206-213.
- _____; DE GRACIA, N.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J.; P. DE HERRERA, A. 1991. Evaluación de fuentes y métodos de aplicación de Fósforo y respuesta al azufre en el maíz, en cuatro localidades de la Región de Azuero, Panamá, 1990. Informe de Labores del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. En edición.
- JÁUREGUI, M. A.; SAIN, G.E. 1990. Continuous economic analysis of crop response to fertilizer in on-farm research. CIMMYT. México, 125 p. (manuscrito).
- JOOS, L.L.; BLACK, C.A. 1950. The viability of rock phosphate as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH values. Soil Science Society American Proceedings (EE.UU.) 15:69-75.
- LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.
- MILLER, M.H.; MARMIL, C.P.; BLAIR, G.J. 1970 Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil root interface. *Agronomy Journal* (EE.UU.) 62:524-527.
- NAME, B.; CORDERO, A. 1987. Recomendación para la fertilización de suelos. Hojas Guías para el cultivo. *In* Compendio de los Resultados de Investigación Presentados en la

Jornada Científica. IDIAP, Región Central. 22p.

RAUN, W.R.; BARRETO, H.J. 1991. Maize yield response as affected by sulfur, phosphorus and nitrogen as banded applications on a volcanic ash derived tropical soil. Submitted to Communications in Soil Science and Plant Analysis.

SAVANT, N.K.; RACZ, G.J. 1973. Reaction products of applied pyrophosphates in some manitoba soils. Canadian Journal Soil Sci. 53:111-117.

STAROSTKA, R.W.; HILL, W.L. 1955. Influence of soluble salts on the solubility of and plant response to dicalcium phosphate. Soil Science Society American Proceedings (EE.UU.) 19:193-198.