

EVALUACIÓN DE DIFERENTES FUENTES Y ÉPOCA DE APLICACIÓN DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO, 1997-1998.

Román Gordón M. ¹; Jorge Franco ²; Andrés González ²

RESUMEN

Se estableció un ensayo en nueve localidades de la Región de Azuero durante los años 1997 (4) y 1998 (5). En el mismo se evaluó la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de cuatro fuentes de azufre. También se comparó la aplicación de este elemento al momento de la siembra versus la aplicación junto con la primera aplicación suplementaria de nitrógeno (20 dds). Las fuentes evaluadas fueron: Flor de azufre (98%), sulfato de magnesio, sulfato de potasio y sulfato de amonio. El experimento incluyó una parcela testigo sin aplicación de azufre. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El resultado de este ensayo indicó que hubo respuesta significativa a la aplicación de azufre para la variable rendimiento de grano. Con relación a las fuentes, se encontró diferencias estadísticas $P < 0.01$ entre éstas. Las fuentes que contribuyeron con un aumento en el rendimiento fueron el sulfato de magnesio y el sulfato de amonio. En relación con la época de aplicación, tanto el sulfato de magnesio como el sulfato de potasio presentaron mayor rendimiento cuando fueron aplicadas al momento de la siembra. Por el contrario, el sulfato de amonio dio mejor respuesta cuando fue aplicado a los 20 dds.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; maíz; azufre; nitrógeno; aplicación de abonos; cultivo; Panamá.

¹ Ing Agrónomo, M.Sc.; ² Agrónomo. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. IDIAP. e-mail: idiap_azu@cwpanama.net

EVALUATION OF DIFFERENT SOURCES AND APPLICATION TIMES OF SULFUR IN THE CORN, IN THE AZUERO REGION, 1997- 1998.

An experiment was conducted in nine localities in the Azuero region, during the years 1997 (4) and 1998 (5). In these localities were evaluated the corn yield response to different sources of sulfur application. In addition, it was compared the application at the moment of complementary nitrogen fertilization, 20 days after planting (dap). The evaluated sources were: Elemental sulfur (98%), magnesium sulfate, potassium sulfate and ammonium sulfate. The trial included a tester plot without sulfur application. The experimental design was a Completely Randomized Block Design with four replications. The experimental results of yield grain indicated a highly significant response to application of sulfur. Significant differences ($P < 0.01$) were founded among the sources. The sources with better results were magnesium sulfate and potassium sulfate. Regarding to application time, such magnesium sulfate as potassium sulfate had better yields when the application was at the moment of planting. On the contrary, ammonium sulfate had better yield when was applied at 20 dap.

KEYWORDS; *Zea mays*; corn; sulfur; nitrogen; application of fertilizers; crop; Panamá.

INTRODUCCIÓN

Las plantas necesitan por lo menos 16 nutrimentos para su desarrollo normal. El nitrógeno, fósforo y potasio son conocidos como los elementos principales; pero también se requiere el azufre (S). Este nutrimento es un componente esencial de algunas vitaminas, enzimas y aminoácidos, de ahí su importancia para las plantas. En suelos que son deficientes en azufre, tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos, se reducen si no se aplica este elemento. Niveles críticos en

tejidos de plantas de maíz fueron determinados, pero éstos se encontraron en una baja correlación con estudios de campo (Kang y Osiname, 1976).

Estudios realizados han mostrado que las respuestas al azufre interaccionan de manera antagónica con el fósforo y el calcio (Kamprath y col., 1956). En el Trópico las pérdidas de este elemento son muy variadas. Estudios realizados por Pearson y col. (1961) encontraron que el 90% de las bases so-

lubles en agua en perfiles de suelos ácidos fueron identificadas como sulfatos.

La respuesta del maíz a la aplicación de azufre en suelos de la Región de Azuero ha sido documentada usando como fuente de S el sulfato de calcio dihidratado (Gordón y col., 1995).

En fechas recientes dicha recomendación ha sido puesta en práctica por algunos productores de la Región, quienes están aplicando azufre al momento de la siembra junto al abono completo usando como fuente de S la flor de azufre. Por el contrario, otros están realizando la aplicación de S junto a la aplicación nitrogenada, ya sea en forma de sulfato de amonio o de urea recubierta con azufre (Urea-S).

En la actualidad no se cuenta con información sobre la mejor época de aplicación de este elemento, así como cuál es la mejor fuente de azufre cuando se aplica al momento de la siembra.

El presente trabajo tuvo como objetivos evaluar la respuesta física

y económica de cuatro fuentes de azufre aplicados al momento de la siembra y dos épocas de aplicación al cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un ensayo durante dos años consecutivos (1997-1998) en nueve localidades de la Región de Azuero (Cuadro 1). El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. En el mismo se evaluaron cuatro fuentes de azufre, a saber: Flor de azufre, sulfato de amonio, sulfato de magnesio (Kieserita) y sulfato de potasio. También se evaluó el efecto de aplicar el azufre al momento de la siembra (ms) versus la aplicación a los 20 días después de siembra (dds) junto con la aplicación nitrogenada.

El experimento incluyó una parcela testigo sin aplicación de azufre, para totalizar nueve tratamientos (Cuadro 2).

La parcela experimental fue de cuatro surcos de 5.5 m de largo (16.5 m²), mientras que la

parcela efectiva fue los dos surcos centrales. La siembra se realizó a una distancia de 75 cm entre hileras y 50 cm entre golpes, dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 5.33 plantas/m². El cultivar utilizado fue el P-9422.

El control de malezas se realizó con la aplicación en pre-

emergencia de la mezcla atrazina + glifosato + pendimetalina, a razón de 3.0 lt/ha de cada herbicida, respectivamente.

La dosis de azufre evaluada fue de 30 kg/ha. El nitrógeno se aplicó a razón de 130 kg/ha, en forma de urea. La misma se aplicó fraccionada a razón de 20, 40 y 40% a los 0, 20 y 40 dds. A cada tratamiento se le aplicó, al momento de la siembra, 60 kg P₂O₅/ha en forma de super fosfato triple.

Para el tratamiento cinco (sulfato de amonio al momento de la siembra) se utilizó como fuente de N, la urea, en la segunda y tercera aplicación. En el tratamiento nueve fue necesario completar con urea la cantidad de N en la aplicación del S a los 20 dds, para llegar al 40% de la dosis de N (130 kg/ha). En la primera y tercera aplicación nitrogenada se utilizó la urea.

CUADRO 1. LOCALIDADES DE LA REGIÓN DE AZUERO EN DONDE SE EJECUTARON LOS ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE FUENTES Y ÉPOCA DE APLICACIÓN DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAÍZ. PANAMÁ, 1997-1998.

Localidad	Latitud	Longitud
1997	Norte	Oeste
1. Purio	7° 36.55'	80° 04.88'
2. Mariabé	7° 34.16'	80° 03.47'
3. Los Higos	7° 31.52'	80° 05.55'
4. Los Castillos	7° 58.02'	80° 36.55'
1998		
5. Paraíso	7° 40.87'	80° 09.66'
6. San José	7° 40.53'	80° 14.09'
7. Los Castillos	7° 58.02'	80° 36.55'
8. Santo Domingo	7° 44.71'	80° 12.78'
9. Los Higos	7° 31.52'	80° 05.55'

Se tomaron datos de rendimiento de grano, número de plantas y mazorcas cosechadas y porcentaje de humedad del grano. Para el análisis físicoquímico del suelo, se tomó una muestra compuesta a los 0-20 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP

y se realizó el análisis según Díaz Romeu y Hunter (1978). El análisis de suelo por localidad se observa en el Cuadro 3.

La metodología utilizada en la evaluación económica consistió en el análisis de presupuesto parcial y análisis marginal desarrollado en el Manual del CIMMYT (1988).

CUADRO 2. ESTRUCTURA DE TRATAMIENTOS DEL ENSAYO DE FUENTES Y ÉPOCA DE APLICACIÓN DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ, 1997-1998.

Tratamientos	Época de Aplic. (dds)	Dosis kg/ha
1. Sin azufre	---	0
2. Flor de azufre	ms	30
3. Sulfato de magnesio	ms	30
4. Sulfato de potasio	ms	30
5. Sulfato de amonio	ms	30
6. Flor de azufre	20	30
7. Sulfato de magnesio	20	30
8. Sulfato de potasio	20	30
9. Sulfato de amonio	20	30

*ms= momento de la siembra

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del rendimiento de grano y otros componentes agronómicos de maíz se presentan en el Cuadro 4. Los datos de los dos años indican que el promedio del rendimiento en el año 1998 (5.459 t/ha) fue superior al de 1997 (4.177 t/ha). Este mismo resultado se observó para las variables plantas por metro cuadrado y peso de mazorca, lo que explica el resultado del rendimiento. El análisis de varianza

CUADRO 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LOS ENSAYOS. AZUERO, PANAMÁ, 1997-1998.

1997	Purio	Mariabé	Los Higos	Los Castillos	
pH	6.4	5.2	5.8	6.2	
P	7.0	4.0	tr	93.0	
K	94.0	133.0	82.0	63.0	
Ca	1.5	1.09	0.6	2.5	
Mg	1.30	0.59	0.35	0.93	
Al	0.3	0.2	0.2	0.2	
Text	40-32-28	50-22-28	44-24-32	46-30-24	
1998	Paraíso	San José	Los Higos	Los Castillos	Sto. Domingo
pH	4.9	4.9	6.0	6.0	5.6
P	tr	tr	tr	7.0	tr
K	86.0	78.0	43.0	63.0	78.0
Ca	1.2	2.1	0.5	1.8	1.8
Mg	0.53	1.76	0.25	1.60	1.50
Al	0.3	0.4	0.3	0.1	0.2
Text	44-22-34	34-18-48	46-24-30	28-26-46	34-16-50

P, K, Mn, Fe, Zn, y Cu = mgkg⁻¹ tr = Trazas

Ca, Mg y Al = cmolkg⁻¹ Text. = %

combinado para estas variables muestran esta fuente como altamente significativa (Cuadro 5). Uno de los factores que más influyó en esta respuesta puede ser la escasa precipitación pluvial que se dio durante el año 1997 en toda la Región de Azuero. Por el contrario, en el año 1998, las lluvias se normalizaron en toda la región.

El análisis estadístico indica también que se presentó una diferencia altamente significativa para la variable rendimiento de grano, así como para el peso de las mazorcas y el número de mazorcas por planta, en ambos años. En el promedio combinado se observó que todos los tratamientos superaron al tratamiento testigo (sin aplicación de

CUADRO 4. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS SEGÚN FUENTE DE AZUFRE EN NUEVE LOCALIDADES DE AZUERO, PANAMÁ, 1997-1998.

Fuentes	Rendimiento (t/ha)		Planta/m ²		Peso maz (g)		Maz/planta		
	1997	1998	Prom	1997	1998	1997	1998	1997	1998
1. Sin S	4.038	4.839	4.439	3.72	4.54	104.9	107.9	1.04	0.98
2. Flor de S	4.152	5.357	4.754	3.79	4.61	108.3	116.1	1.01	1.00
3. MgSO ₄	4.341	5.826	5.083	3.82	4.66	108.7	123.1	1.04	1.02
4. K ₂ SO ₄	4.470	5.596	5.033	3.79	4.50	113.7	124.5	1.04	1.01
5. (NH ₄) ₂ SO ₄	3.847	5.414	4.631	3.44	4.58	105.3	119.1	1.08	0.99
6. Flor de S	3.996	5.297	4.647	3.58	4.49	107.9	117.3	1.03	1.01
7. MgSO ₄	4.120	5.455	4.788	3.71	4.58	112.9	117.2	0.99	1.02
8. K ₂ SO ₄	4.338	5.522	4.930	3.70	4.58	109.1	121.9	1.07	1.05
9. (NH ₄) ₂ SO ₄	4.294	5.827	5.061	3.68	4.58	104.9	122.7	1.12	0.99
Promedio	4.177	5.459	4.818	3.69	4.57	108.4	118.9	1.05	1.01

CUADRO 5. CUADRADOS MEDIO DE RENDIMIENTO DE GRANO Y OTROS COMPONENTES EN LAS NUEVE LOCALIDADES DEL ENSAYO DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ, 1997-1998.

F de Variación	g.l.	Cuadrados Medios				
		Rend	Planta/ m ²	Maz/planta	Peso maz	
Año	1	131.50**	61.10**	0.115**	8708.0**	
Loc (Año)	7	13.77**	4.116**	0.151**	5110.0**	
Rep (Loc x Año)	27	0.806	0.206	0.011	217.1	
Trat	8	1.809**	0.185 ^{ns}	0.018**	445.5**	
Trat x Año	8	0.512 ^{ns}	0.127 ^{ns}	0.012 ^{ns}	207.1 [®]	
Loc x Trat (Año)	56	0.595**	0.261 ^{ns}	0.008 ^{ns}	160.7 [®]	
Error	216	0.342	0.164	0.007	122.9	

[®] *, ** se refieren a diferencias estadísticas al 10, 5 y 1%
^{ns} ¹, se refiere a que no se encontró diferencias estadísticas

azufre), lo que indica que hay una respuesta significativa a la aplicación de este elemento; esto comprueba los resultados encontrados por Gordón y col. (1995) sobre la respuesta al azufre.

En relación con las fuentes, se observó que tanto el sulfato de magnesio como el sulfato de potasio superaron en rendimiento a la flor de azufre, cuando estas fuentes se aplicaron al momento de la siembra. Por otro lado, el sulfato de amonio, aplicado a los 20 dds, superó en rendimiento a la flor de azufre.

Para analizar la respuesta de la mejor época de aplicación se comparó el resultado obtenido de cada fuente (según la prueba de Rangos Múltiples de Duncan). Este análisis indicó que tanto para el sulfato de magnesio, sulfato de potasio y flor de azufre, el rendimiento de maíz fue mayor cuando la fuente se aplicó al momento de la siembra. La respuesta observada fue inversa cuando la fuente fue sulfato de amonio, es decir, el rendimiento fue mayor en 0.44 y 0.42 t/ha para cada año, respectivamente, cuando se aplicó a los 20 dds (Cuadro 4).

Evaluación Económica

El resultado de la evaluación económica que relaciona los beneficios y costos que varían en cada alternativa tecnológica se efectuó de manera conjunta incorporando los dos años del estudio. En el Cuadro 6 se presenta el detalle de los costos, ingresos y el análisis marginal. La aplicación de azufre resultó económicamente rentable y se observaron diferencias económicas entre las fuentes.

De todos los tratamientos, los mayores ingresos netos se obtuvieron con fuentes como sulfato de amonio y sulfato de potasio, pero, al realizar el análisis marginal se encontró que solamente el tratamiento a base de flor de azufre a los 0 dds y sulfato de amonio a los 20 dds, resultaron no dominados. El primero de ellos presentó el porcentaje más alto de la Tasa Marginal de Retorno (TMR), a pesar de que no es la que mayor rendimiento presenta. Esto se debe, ante todo, por el bajo costo por kg de S que presenta esta fuente. Las otras fuentes, a pesar de presentar rendimientos superiores y, por ende,

CUADRO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO MARGINAL DE LA EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES Y ÉPOCA DE APLICACIÓN DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ, 1997-1998.

Tratamiento	Costo kg Fert B/.	Dosis kg/ha	Costo Fert B/.	Costo Aplic B/.	Rend t/ha	Valor kg de maíz, B/.	Ingreso Bruto, B/.	Costo Variable, B/.	Ingreso o Neto, B./ha	TMR
1. Sin S	0.00	0.00	0.00	0.00	4.439	0.19	843.34	0.00	843.34	
2. Flor de S	0.20	31.50	6.15	0.00	4.754	0.19	903.26	6.15	897.11	873.55
6. Flor de S	0.20	31.50	6.15	12.00	4.647	0.19	882.93	18.15	864.78	d
5. (NH ₄) ₂ SO ₄	0.22	130.40	28.98	0.00	4.631	0.19	879.89	28.98	850.91	d
8. (NH ₄) ₂ SO ₄	0.22	130.40	28.98	0.00	5.061	0.19	961.59	28.98	932.61	155.57
4. K ₂ SO ₄	0.24	166.54	40.45	0.00	5.033	0.19	956.27	40.45	915.82	d
9. K ₂ SO ₄	0.24	166.54	40.45	12.00	4.930	0.19	936.70	52.45	884.25	d
3. MgSO ₄	0.47	136.20	64.03	0.00	5.083	0.19	965.77	64.03	901.74	d
7. MgSO ₄	0.47	136.20	64.03	12.00	4.788	0.19	909.72	76.03	833.69	d

d. tratamiento dominado.

mayor ingreso, están dominadas por el alto valor de las mismas.

CONCLUSIONES

- Hubo respuesta a la aplicación de azufre en los dos años que duró el experimento.
- El momento más oportuno de aplicación del azufre dependió de las fuentes utilizadas.
- El sulfato de amonio tuvo mejor respuesta al aplicarlo a los 20 dds, mientras que las otras fuentes tuvieron mejor respuesta al aplicarlas al momento de la siembra.
- La flor de azufre fue la mejor fuente desde el punto de vista económico.

BIBLIOGRAFÍA

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agrónomi-

cos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México, D.F., México: CIMMYT. 79 p.

DÍAZ - ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.

GORDÓN, R.; DE GRACIA, N.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J.; A. P. DE HERRERA. 1995. Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de fósforo y azufre en la región de Azuero. Panamá, 1989-1992. Ciencia Agropecuaria (Panamá) (8): 193-214.

KAMPRATH, E. J.; NELSON, W.L.; FITTS, J.W. 1956. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. Soil Science Society of America Proceedings 20: 463-466.

KANG, B.T.; OSINAME, O.A. 1976.
Sulfur response to maize in
Western Nigeria. *Agronomy
Journal* 68: 333-336.

PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F.;
VICENTE - CHANDLER, J.
1961. Effect of lime and nitro-
gen applications on downward
movement of calcium and
magnesium in two humid tro-
pical soil of Puerto Rico. *Soil
Science* 93: 77-82.