

# RESPUESTA DEL MAÍZ (*Zea mays*) A FÓSFORO Y POTASIO EN LA ZONA CAFETERA DE DOLORES - TOLIMA

*Hebert Luis Vargas Bonilla*<sup>1</sup> • *Pedro Pablo Herrera Vivas*<sup>2</sup>  
*Consuelo Arce González*<sup>3</sup>

## RESUMEN

En la zona cafetera del municipio de Dolores, Tolima, se aplicaron tratamientos de fósforo y potasio para nutrición de maíz (*Zea mays*) en dosis de 0, 20 y 40 kg/ha de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  respectivamente, con aplicación constante de 70 kg/ha nitrógeno y un testigo absoluto usado por el agricultor de la zona. Se encontró respuesta significativa a fósforo ( $P=0.05$ ) y a potasio ( $P=0.01$ ); el mayor rendimiento físico se obtuvo con la aplicación de 22.83 kg/ha de  $P_2O_5$  y el óptimo económico con 21.67 kg/ha para una producción de 3847 kg/ha de maíz. El tratamiento 70-20-20 kg/ha de N P K, fué estadísticamente el mejor, con un rendimiento físico de 4.136 kg/ha y económico con un retorno marginal de \$4,37 por cada peso invertido en fertilización, mientras que el testigo presentó rendimientos de 1.925 kg/ha de maíz. El análisis de sensibilidad demostró que esta dosis se mantiene estable económicamente cuando sube el costo del fertilizante en un 20% o baja el precio del maíz en un mismo porcentaje y en el evento de presentar la combinación los dos casos anteriores. Por lo tanto se considera que el nivel de 70 20 20 de N P K es factible de aplicación en la zona estudiada.

**Palabras claves adicionales:** Maíz, fósforo y potasio, fertilidad, análisis económico.

## ABSTRACT

### RESPONSE OF MAIZE (*Zea mays*) TO PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE COFFEE ZONE OF DOLORES TOLIMA

In the coffee zone of Dolores (Tolima) treatments of phosphorus and potassium were evaluated in doses of 0,20 and 40 k/h of  $P_2O_5$  and  $K_2O$  respectively with a constant application of 70 k/h of Nitrogen and an absolut control as used by the farmers in the region. It was found a positive response to phosphorus( $P=0.05$ ) and potassium ( $P=0.01$ ); the highest yield was obtained with application of 22.83 k/h of  $P_2O_5$ , and teh optimun economical with 21.67 k/h for a yield of 3847 k/h of maize. The tretment 70-20-20 k/h of N-P-K, was the best form the statistical point of view, with a yield of 4.136 k/h and economical with a marginal return of \$ 4.37 per each peso invested in fertilizers; in the control treatment a yield of 1.925 k/h was. The sensitivity analysis showed that the best dose remains stable, economically, when the price of fertilizers increases up to 20% or when the price of grain decreases in the same proportion, or even if the combination of the two factors occurs. So it is recommended that a 70-20-20 level of fertilization should be used in that zone.

Additional index words: Maize, phosphorus, potassium, fertility, economical analysis.

---

1 Ingeniero Agrónomo, Investigador Asistente.

2 Agrólogo, Manejo de Suelos.

3 Ingeniera de Sistemas, Bioestadística. Corpoica, C.I. Nataima, AP. 40 El Espinal, Tolima.

En la zona de ladera del Creced Centro Tolima de Corpoica, piso térmico medio, municipios de Dolores y Alpujarra se cultiva maíz con rendimientos muy bajos (1.300 kg/ha). Una de las causas es la no aplicación de fertilizantes, a pesar de la baja fertilidad de los suelos.

No existe tecnología disponible sobre fertilización para el cultivo de maíz en la zona, por lo cual se propuso como objetivos, mediante experimentación, observar y evaluar agroeconómicamente la respuesta del maíz a las aplicaciones de fósforo y potasio en la zona de ladera, buscando obtener los niveles críticos para estos dos nutrientes y ofrecer recomendaciones que permitan elevar los rendimientos físicos y mejorar los ingresos económicos para los productores.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en el experimento de respuesta del maíz a fósforo y potasio, realizado en el municipio de Dolores Tolima, en 1994.



En la zona de ladera de los municipios de Dolores y Alpujarra (Tolima) se cultiva maíz con rendimientos bajos, debido a la ausencia de tecnología sobre fertilización, Corpoica trabaja en alternativas que permitan elevar los rendimientos físicos y mejorar los ingresos de los productores.

## REVISIÓN DE LITERATURA

En la zona de ladera en clima medio del CRECED Centro Tolima no se tiene resultado de experimentos sobre respuesta a fertilización en maíz.

- **Ramírez, Urdinola y Gil (1988)** encontraron que los suelos de ladera de la Cordillera Occidental del Valle del Cauca con menos de 10 ppm de fósforo, Método de Bray II, tienen una alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de este elemento.
- **González, et al (1977)**, en un experimento en el estado de portuguesa Venezuela, obtuvieron las más altas producciones; con 6.99 t/ha y con el tratamiento 120-30-50 con 6.88 t/ha de maíz, la aplicación de 60 kg/ha de  $P_2O_5$  tendió a disminuir los rendimientos en un suelo con 14 ppm de fósforo en promedio. Las dosis de nitrógeno y de  $K_2O$  se estabilizaron en 120 y 50 kg/ha respectivamente, como las más beneficiosas.
- **Rodríguez y Baird**, citados por Ramírez et al (1988), trabajando en suelos rojos del departamento de Antioquia, bajos en fósforo, recomiendan aplicar 2 a 3 t/ha de cal antes de arar, por lo menos durante 3 años y 40 a 50 kg/ha de N, 100 a 120 kg/ha de  $P_2O_5$  y 20 kg/ha de  $K_2O$  al momento de la siembra; la dosis de fósforo puede bajar posteriormente, una vez el suelo haya mejorado el contenido de fósforo, a 70 ú 80 kg/ha de  $P_2O_5$ .
- **Gutiérrez y León** citados por Ramírez et al (1988) estudiaron la aplicación

conjunta de P y Zn en suelos del Oriente de Cundinamarca, encontrando un efecto antagónico entre estos elementos cuando las dosis de fósforo superaron los 100 kg de  $P_2O_5$ /ha y las de Zn los 12 kg/ha. Quintero (1975) encontró para la zona de Santander las mayores ganancias de maíz con aplicaciones de 200 kg/ha de 10-30-10 ó 13-26-4, efectuados al momento de la siembra y complementados con 100 kg/ha de N cuando el maíz alcanza una altura aproximada de 50 cm.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en una finca de cultivador de maíz de la vereda El Yopo del municipio de Dolores (Tolima) a una altura de 1.400 msnm, piso térmico medio, precipitación media de 1813 mm/año y temperatura de 21°C, zona agroecológica Mg, con características de suelo descritas en la Tabla 1.

La siembra se realizó en surcos a 0.90 m. Se depositaron 3-4 semillas por sitio, para una densidad de siembra de 43.000 plantas/ha. Se utilizó semilla de maíz de la variedad regional "Común".

El tamaño de la unidad experimental fue de 32.4 m<sup>2</sup> y de 16.2 m<sup>2</sup> de parcela útil. El diseño experimental fue de bloques al azar en arreglo factorial 32 con un testigo absoluto con 3 repeticiones. Se utilizó una dosis constante de nitrógeno de 70 kg/ha

(Urea) para el arreglo factorial y de 0 para el testigo absoluto. Las dosis para fósforo de 0, 20 y 40 kg/ha de  $P_2O_5$  (Superfosfato Triple) y para potasio de 0, 20 y 40 kg/ha de  $K_2O$  (Cloruro de Potasio). El fósforo, el potasio y una tercera parte del nitrógeno se aplicaron a los 20 días; los dos tercios restantes de nitrógeno a los 40 días de emergencia del cultivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

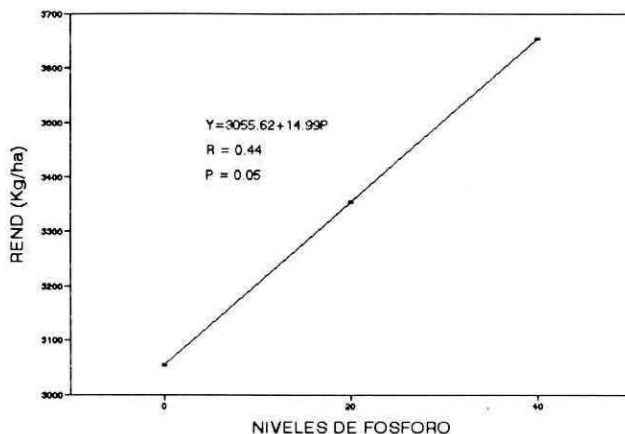
Realizados los análisis de varianza para cada nutriente, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) en rendimiento de maíz como respuesta al fósforo y altamente significativa ( $P < 0.01$ ) por aplicación de potasio, pero no hubo diferencia estadística para la interacción de los dos nutrientes, como puede observarse en la Tabla 2.

En las demás fuentes de variación no existen diferencias significativas para los niveles de fósforo, potasio, ni para la interacción de los dos elementos, en número de plantas por hectárea, lo cual garantiza que la población fue homogénea en todo el experimento y no influyó en los resultados de rendimiento obtenidos.

La Figura 1 muestra el incremento en rendimiento de maíz como respuesta a las dosis de fósforo, en forma positiva y estadísticamente significativa. Esta tendencia creciente, se explica por el nivel bajo de fósforo que contiene el suelo (15.4 ppm). El mayor incremento de la producción se presentó al pasar de 0 a 20 kg/ha de fós-

**TABLA 1.** Análisis de fertilidad natural Finca El Yopito. Vereda El Yopo, Municipio Dolores (Tolima), 1994.

Textura	pH	M.O%	meg/grs			ppm						
			Ca	Mg	K	P	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Franca	5.3	2.69	21.2	0.6	0.41	15.4	33.7	32	0.53	3.0	17.3	0.6



**FIGURA 1. Respuesta del maíz a la fertilización fosfórica en ladera, Dolores Tolima 1994-1995.**

foro, en donde se aprecian diferencias estadísticamente entre sí. Al aumentar la dosis a 40 kg/ha de  $P_2O_5$ , no se afectó considerablemente, similar a lo encontrado por González et al (1977). Según el análisis de regresión, la respuesta a los niveles de 0, 20 y 40 kg/ha de fósforo fue lineal ( $P < 0.05$ ).

**TABLA 2. Cuadrados Medios para las diferentes variables evaluadas en la respuesta del maíz a Fósforo y Potasio. 1994B-1995A.**

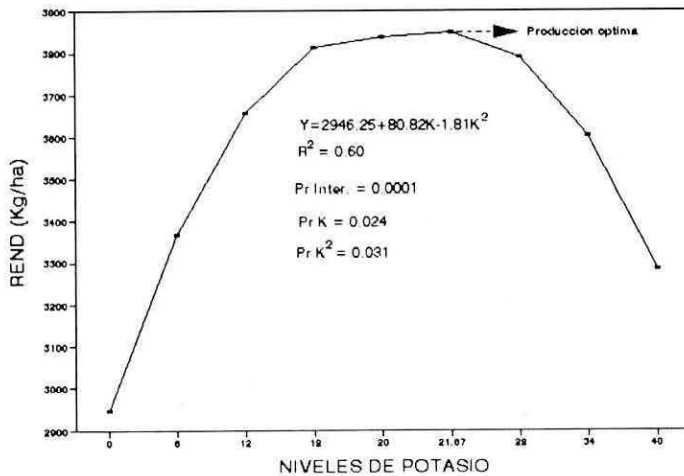
Fuente de variación	GL	CM	CV %
Rendimiento (15% H)			13.11
P	2	979669.14*	
K	2	1827133.40**	
PxK	4	254680.20NS	
No. plantas/ha			12.48
P	2	5194375.00*	
K	2	7169652.78**	
PxK	4	2262777.78 NS	
Diámetro de mazorcas			4.89
P	2	1.77 NS	
K	2	0.43 NS	
PxK	4	1.18 NS	

En la Figura 2 se observa una respuesta positiva al aplicar 20 kg/ha de potasio y decreciente al aumentar la dosis a 40kg/ha, comportamiento que puede explicarse por el contenido alto de potasio en el suelo (0.41 meq/100 g). El análisis de regresión para los niveles de potasio, demostró que la respuesta fue de tipo cuadrática y se ajusta a la ecuación:  $Y = 2946.25 + 80.82K - 1.81K^2$  ( $P < 0.01$ ).

Derivando la ecuación de regresión con respecto a potasio e igualando a cero se obtiene el máximo rendimiento de maíz (3848.77 kg/ha) cuando se aplican 22.33 kg/ha de potasio.

Como el objetivo primordial del productor no es obtener el rendimiento máximo por hectárea sino encontrar algún criterio que le permita obtener el mayor ingreso neto posible, es necesario considerar los precios del insumo y del producto.

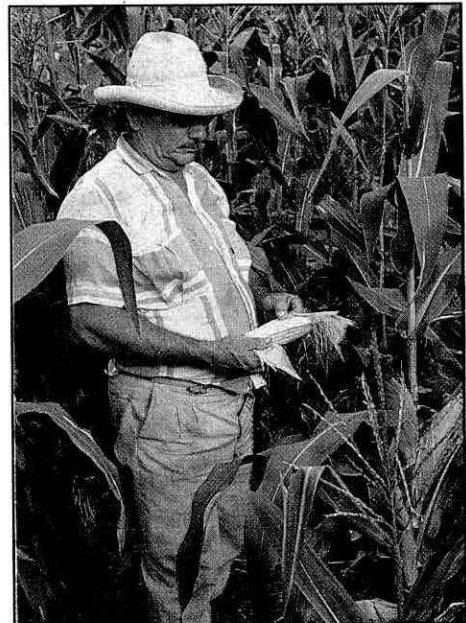
La ganancia por hectárea se maximiza cuando la primera derivada de la función de respuesta  $dy/dk$ , se iguala a la relación inversa de precios de un kilogramo de potasio y de un kilogramo de maíz.



**FIGURA 2.** Respuesta del maíz a la fertilización con potasio en ladera, Dolores, Tolima 1994.

Si se asume que el precio en campo de un kilogramo de potasio es de \$373.30 y el del maíz es de \$158.00, el óptimo económico se consigue al aplicar 21.67 kg/ha de K, con lo cual se obtiene una producción de 3.847.66 kg de maíz.

La prueba de contrastes, comparó cada uno de los tratamientos (combinaciones de fósforo y potasio más nitrógeno) contra el testigo absoluto utilizado por el agricultor, quien no fertiliza, observándose que entre el testigo absoluto y el tratamiento 70-0-0 no existen diferencias significativas en rendimiento, mientras que existen diferencias altamente significativas (1%) entre el testigo absoluto y cada uno de los demás tratamientos Tabla 3; El máximo rendimiento de 4.136.8 kg/ha se obtuvo con la aplicación de 70-20-20 kg/ha de N, P y K y el menor (1.925,3 kg/ha) con el testigo absoluto verificando así la existencia de respuesta del maíz a la aplicación de fósforo y potasio, comparado con la no aplicación de fertilizantes (Figura 3).



El objetivo primordial del productor no es obtener el rendimiento máximo por hectárea sino encontrar algún criterio que le permita obtener el mayor ingreso posible. Corpoica involucra en su investigación el análisis de sensibilidad buscando la estabilidad económica de sus recomendaciones.

**TABLA 3. Comparacion de rendimientos entre cada tratamiento vs el testigo absoluto. Prueba de contraste respuesta de maíz a fósforo y potasio.**

Tratamiento Vs Testigo	GL	CM
70-00-00 Vs 0-0-0	1	177697.15 NS
70-00-20 Vs 0-0-0	1	44033996.42**
70-00-40 Vs 0-0-0	1	2048429.53**
70-20-00 Vs 0-0-0	1	2002521.66**
70-20-20 Vs 0-0-0	1	7336469.42**
70-20-40 Vs 0-0-0	1	2941627.36**
70-40-00 Vs 0-0-0	1	3666116.47**
70-40-20 Vs 0-0-0	1	5345204.72**
70-40-40 Vs 0-0-0	1	3378389.94**

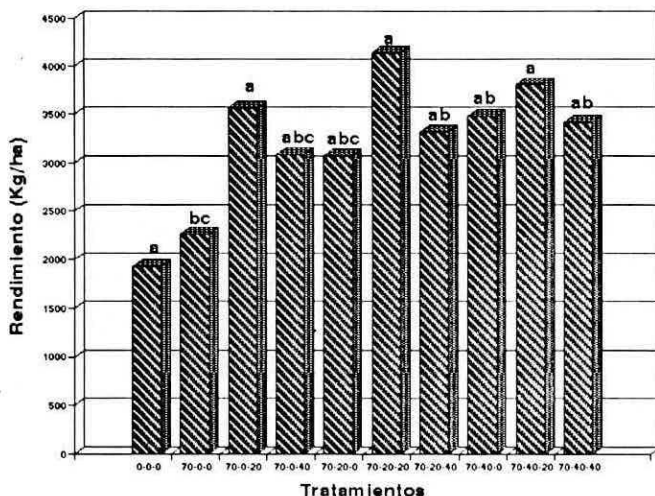
El análisis económico por presupuesto parcial presentado en la Tabla 4 muestra que el mayor ingreso se logró con el tratamiento 70-20-20 de N P K, el menor ingreso se obtuvo con el testigo absoluto (sin fertilizante). El mayor y el menor Beneficio Neto Parcial se lograron con los tratamientos 70-20-20 y el testigo absolu-

to. Los costos variables dispuestos en la misma Tabla, dejan ver que el mayor costo variable corresponde al tratamiento 70-40-40 y el menor al testigo absoluto.

Según el análisis de dominancia, solamente 4 de los 10 tratamientos no son dominados: 70-20-20, 70-0-20, 70-0-0 y el testigo absoluto 0-0-0, por no tener costo variable éste último. Figura 4.

Estas diferencias se expresan en el análisis marginal observándose que sobre el testigo absoluto (sin fertilizante) se obtiene 24.7% de Tasa de Retorno Marginal por sólo aplicar 70 kg/ha de nitrógeno (Tratamiento 70-0-0). Este tratamiento 70-0-0 es a su vez superado en 2.367,6% de Tasa de Retorno Marginal por el tratamiento 70-0-20, o sea un incremento en beneficio neto de \$23,67 por cada peso invertido al adicionar 20 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Tabla 5.

La misma Tabla muestra que el mayor Beneficio Neto Parcial (\$529.571,00) se consigue con el tratamiento 70-20-20 con el cual se logra una rentabilidad marginal



**Figura 3. Rendimientos promedios de maíz, respuesta a fósforo y potasio, Dolores, Tolima 1994 (Humedad 15%).**

**TABLA 4. Presupuesto\* parcial de respuesta del maíz a fósforo y potasio - Dolores (Tolima).**

	Tratamiento (NPK)									
	70-20-20	70-40-20	70-0-20	70-40-0	70-40-40	70-20-40	70-0-40	70-20-0	7-0-0-0	0-0-0
1. Rend. medios (kg/ha)	4136	3813	3565	3488	3426	3325	3094	3081	2269	1925
2. Rend. ajust.**(kg/ha)	3722	3432	3208	3139	3083	2992	2785	2723	2042	1732
3. Beneficio bruto de campo***(\$/ha)	588076	512256	506864	495962	487114	472736	440030	430234	322636	273656
precio kg: \$158,00										
Costos monetarios variables (insumos)****										
4. Nitrógeno (\$560.90/kg)	39263	39263	39263	39263	39263	39263	393263	39263	39263	0
5. Fósforo(\$588.80/kg)	11776	23552	0	23552	23552	11776	0	11776	0	0
6. Potasio (\$373.30/kg)	7466	7466	7466	0	14932	14932	14932	0	0	0
Total costos monetarios variables	58505	70281	46729	62815	77747	65971	54195	51039	39263	0
Total costos variables	58505	70281	46729	62815	77747	65971	54195	51039	39263	0
Beneficio neto (\$/ha)	529571	471975	460135	433147	409367	406765	385835	379195	283373	273656

\* Precios y Costos Ajustados a 1994B - 1995A

\*\* Se asume que a nivel comercial se alcanza el 90% de la producción experimental

\*\*\* Precio de venta de kg de maíz blanco: \$184,00 menos \$10,40 (recolección), \$3,60 (desgrane), \$3,00 (transporte) y \$8,80 (empaquete) por kg de producto.

\*\*\*\* Los Costos en \$/kg incluyen costos de aplicación: \$43,50 (Nitrógeno), \$45,00 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), \$33,30 (K<sub>2</sub>O) por kg aplicado, equivalente a \$1.000,00 por aplicación de un bulto de fertilizante.

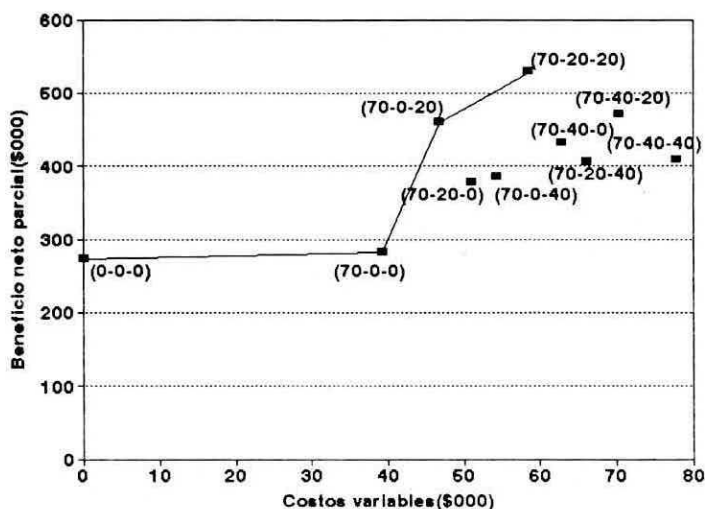


Figura 4. Curva de beneficios netos como respuesta a los diferentes tratamientos de fertilización de maíz, Dolores Tolima 1994B-1995A.

de 589.6% sobre su próximo inferior (70-0-20), es decir que por adicionar 20 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se obtiene \$5,89 de incremento por cada peso adicional invertido y una rentabilidad media sobre los beneficios netos y costos acumulados, del 437,4% (\$255.915.00/\$58.505,00), consiguiendo así con el tratamiento 70-20-20, el mayor rendimiento económico.

### Análisis de sensibilidad

Debido a las variaciones continuas de los precios de los insumos y del precio del producto, se plantean 3 situaciones:

1. Con una disminución del 20% en el precio de campo del maíz, la Tasa de Retorno Marginal (TRM) aunque de-

TABLA 5. Analisis marginal de tratamiento de fertilización en maíz regional\*.

Tratamiento	Beneficio neto parcial	Costo variable	Cambio con respecto al tratamiento próximo inferior		
			Incremento marginal en beneficio neto	Incremento marginal en costo variable	Tasa de retorno marginal (%)
70-20-20	529.571	58.505	69-436	11.776	589.6
70-0-20	460.135	46.729	176.762	7.466	2367.6
70-0-0	283.373	39.263	9.717	39.263	24.7
0-0-0	273.656	0	-	-	-

\* Sólo se tienen en cuenta los tratamientos no dominados. Precios y Costos ajustados a 1994B - 1995A

crece, todavía es bastante rentable, 471.7% sobre su próximo inferior.

2. El incremento del 20% en precios de los insumos ocasiona una TRM de 491.4%, afectando menos que la disminución en el precio del maíz.
3. Con disminución del 20% en el precio de campo del maíz y aumento del 20% en el costo de los fertilizantes. El tratamiento 70-20-20 sigue siendo el que ofrece mayor rentabilidad (391.1% ) por encima del tratamiento 70-0-20 que a su vez, supera altamente al próximo inferior donde sólo se aplica nitrógeno (70-0-0).

En cualquiera de los 3 casos, aún en el más crítico (aumento del 20% en costos y disminución del 20% en precio del maíz), el mayor Beneficio Neto Parcial y las mayores rentabilidades siguen obteniéndose con el tratamiento 70-20-20, lo cual hace validarlo como una recomendación estable. Se requerirían incrementos muy altos en costo de los insumos y disminución en el precio del producto para cambiar la recomendación. Tabla 6.

## CONCLUSIONES

Para las condiciones agroecológicas del experimento se encontró respuesta signi-

ficativa a fósforo y altamente significativa a potasio.

El máximo rendimiento físico y el óptimo económico se obtuvieron con la aplicación de 22.33 kg/ha y de 21.67 kg/ha de K<sub>2</sub>O, alcanzando una producción de 3847.66 kg/ha de maíz.

El mayor rendimiento físico y económico se logró con 70-20-20 kg/ha de NPK (4136.8 kg/ha de maíz) y el mayor Beneficio Neto Parcial (\$529.571.00) y rentabilidad marginal de 589.6% sobre el tratamiento próximo inferior no dominado (70-0-20).

Al fertilizar con 70-20-20 kg/ha de NPK, se consiguió un Ingreso Adicional Neto de \$255.915,00 por el sólo hecho de invertir \$58.505,00 en fertilización (fertilizante más labores de aplicación) o sea una rentabilidad adicional de 437,4%, que representa \$4,37 de Retorno Marginal por cada peso invertido en fertilización comparado con lo utilizado por el agricultor, quien no aplica fertilizantes.

El análisis de sensibilidad indica que la estabilidad económica de la dosis 70-20-20 se mantiene en cualquiera de los tres casos planteados:

- Si baja en 20% el precio del maíz.
- Si sube en 20% el costo del fertilizante.

**TABLA 6. Análisis de sensibilidad de retorno marginal por fertilización en maíz ante variaciones de costo variable de insumos y precio de producto.**

Tratamiento	Condic. Inicial	Cambio en tasa de retorno marginal (%) frente al tratamiento próximo inferior		
		Dismin.20% en precio maíz	Increment.20% Costo variable	Dism. 20% Prec. Maíz Incr. 20% C.V.
70-20-20	589.6	471.7	491.4	391.1
70-0-20-	2367.6	1894.0	1973.0	1578.4
70-0-0	24.7	19.8	20.6	16.5
0-0-0	-	-	-	-

- Si baja en 20% el precio del maíz y sube en 20% el costo del fertilizante.

## RECOMENDACIONES

Por su alto rendimiento físico y económico se sugiere la aplicación de 70 kg de nitrógeno, 20 kg de fósforo ( $P_2O_5$ ) y 20 kg de potasio ( $K_2O$ ) por hectárea a cultivos de maíz sembrados en suelos de ladera y clima medio con condiciones agroecológicas similares a las del sitio del experimento.

La totalidad del fósforo y el potasio y la tercera parte del nitrógeno se deben aplicar durante la siembra o en los primeros 20 días después de emergencia del cultivo, enterrando los fertilizantes al lado de semilla o la planta. El nitrógeno restante se aplicará a los 40 ó 45 días después de emergencia con suelo húmedo, localizado al lado de la planta de maíz.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **González T.R.; Blanco F. y González N.C.** efectos de N, P y K en maizales del estado Portuguesa. En: *Agronomía Tropical*. Vol. XXVII No.1. 1977. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. Estado Aragua Venezuela. pp 15-48.
2. **Gutiérrez P.D. y León S.L.A.** 1974. Fertilización del maíz (*Zea mays L.*) con Fósforo y Zinc en un suelo del Oriente de Cundinamarca. ICA Programa de Suelos Palmira.
3. **Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.** Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación. Manual de Asistencia Técnica No.25. Bogotá. 1992. pp 32.
4. **Lopera. P. J. y Lopera, R.H.** Manual de Análisis Socioeconómico de Resultados de Ajuste de Tecnología. ICA. Manual de Asistencia Técnica No.37 pp 99. 1986.
5. **Ramírez, V, A.** Respuesta del maíz (*Zea mays L.*) al fósforo en suelos de ladera del valle del Cauca. En: *Suelos Ecuatoriales*. Volumen XVII No.1. 1988. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp 220-228.
6. **Rodríguez, J.M. y Baird, G. B.** 1963. Fertilización del maíz en el Centro Nacional de Investigación Agrícola "Tulio Ospina". Separata de la Revista "Agricultura Tropical". Volumen XIX (3). pp 139-149.
7. **Tanaka, A. y Yamaguchi, J.** 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Traducida por Kohashi Shibata Josué. Colegio de Postgraduados. Centro de Botánica. Chapingo, Edo. de México, México. pp 91-93.