
EFEITO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA CON NPK SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA, Y EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN SUELOS DEGRADADOS

Arrieche¹ I. y Ruiz² M.

¹INIA-Yaracuy

²CIESA-UNERG

isarrieche99@hotmail.com

Resumen

La incorporación de materiales orgánicos de origen animal o vegetal a los suelos, ha demostrado que mejora sus condiciones físicas, químicas y biológicas. La disponibilidad de cachaza (CA), residuo de la industria azucarera, representa un promedio del 5% del total de caña molida en el proceso. El uso de este producto como fertilizante disminuye la contaminación en zonas de acumulación y a la vez mejora la fertilidad de los suelos. En este estudio se aplican la cachaza combinada con fertilizantes inorgánicos N,P,K; en dos suelos del estado Yaracuy: alcalino y ácido; y se evalúa su influencia en la materia orgánica del suelo y en el rendimiento del cultivo maíz, y se establecen las dosis óptimas y económicas combinadas. Se llevaron a cabo experimentos de campo con diseño experimental de Superficie de Respuesta: Compuesto Central Rotable; partiendo de dosis centrales de 160 N kg.ha⁻¹, 120 P₂O₅ kg.ha⁻¹, 80 K₂O kg.ha⁻¹ y 2000 CA kg.ha⁻¹. Los resultados obtenidos indicaron que la materia orgánica eleva su contenido en ambos suelos con las aplicaciones de N y CA, sin superar los niveles de deficiencia. Asimismo se incrementó el rendimiento del cultivo con la aplicación de cachaza, con una mejor respuesta en el suelo alcalino. Las dosis óptimas y económicas se encontraron alrededor de 3000 kg/ha de CA, 200 kg/ha de N, 200 kg/ha de P₂O₅ y 90 K₂O.

Palabras clave: cachaza, fertilización orgánica, NPK, rendimiento maíz, dosis óptimas combinadas.

Introducción

Los fertilizantes juegan un papel clave en la producción agrícola, pero en la mayoría de los principales cultivos, durante varios años en forma continua, se han utilizado altas tasas de fertilizantes inorgánicos, lo que conduce a la poca sostenibilidad de la producción y también suponen una amenaza para el medio ambiente Sukhmal y Anwar (2005). La degradación de las tierras producto de la mecanización convencional, implica la necesidad de utilizar grandes cantidades de insumos entre ellos, los fertilizantes inorgánicos. En la Región Centro Occidental de Venezuela, específicamente en el estado Yaracuy, el uso intensivo de los suelos, ha incidido en la reducción de los rendimientos de los cultivos principalmente el maíz, y en la disminución del contenido de la materia orgánica (MO) de los suelos.

La fuente más utilizada para adicionar MO a los suelos son los abonos orgánicos provenientes del campo (residuos de cosecha), estiércoles de aves y desechos industriales entre otros. Sin embargo la aplicación de residuos plantea interrogantes, como la cantidad de material a utilizar para elevar y mantener los niveles de MO en el tiempo, y si los residuos pueden sustituir completamente al fertilizante inorgánico, cuando se requiere producir mayor cantidad de alimentos.

Diversos estudios han demostrado que para recuperar suelos degradados y a la vez obtener mayores rendimientos, los abonos orgánicos pueden ser aplicados combinados con fertilizantes inorgánicos (N,P,K); lo cual se constituye en una alternativa de manejo. Hirzel, Rodríguez

y Zagal (2004), estudiaron el efecto de dosis de fertilización inorgánica N,P,K, y el uso de estiércol de BROILER (abono orgánico) como fuente orgánica sobre el cultivo del maíz. Destacan que se logró un mayor incremento del rendimiento cuando se aplicaron las dosis de abonos orgánicos combinadas con los fertilizantes inorgánicos.

En suelos de Colombia, Baquero, Toloza, López, García, Torregroza, Diaz, Urbina, López, Montes, Hessen, Bracho, Corredor y Luna (2000), demostraron que los contenidos de MO, P, Ca, Mg y K aumentaron en los suelos donde se aplicaron los tratamientos combinados de desechos de cosechas (rastrojo) y fertilización inorgánica N, P, K. en el cultivo de la Yuca (*Manihot esculenta*). En el país, Añez y Espinoza, (2002), en un estudio llevado a cabo sobre un suelo franco arenoso en el estado Mérida, demostraron que el rendimiento de las raíces de zanahorias aumentó con la aplicación de estiércol de gallinaza conjuntamente con fertilización química N,P,K.

Por otro lado, en Venezuela se producen anualmente más de 300.000 toneladas de cachaza y la mayor parte no es aprovechada, por lo cual constituye una fuente de contaminación ambiental. El residuo es rico en MO, N, Ca y P, por lo que se usa en varios países como fuente de nutrientes. La cachaza o torta de filtro es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, produciéndose de 30 a 50 Kg por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa entre 3 y 5 % de la caña molida Zerega (1993). Este subproducto de la caña de azúcar, es sometido a un proceso de compostaje

en el que se adicionan polienzimas, hasta lograr la estabilización del material. Con la finalidad de mejorar los niveles de MO y el rendimiento en el cultivo maíz, en suelos degradados del estado Yaracuy, se establecieron experimentos en campo bajo diseño experimental de segundo orden “Compuesto Central Rotable”, Chacín (2000) con el fin de obtener dosis óptimas y económicas de fertilización combinada de cachaza y N,P,K.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron dos suelos de textura franco arenosa (Fa), bajos en contenidos de materia orgánica (MO) y de pH ácido y alcalino (Tabla 1).

Se tomaron muestras compuestas de suelos en cada experimento, a la profundidad de 20 cm. Estas fueron secadas al aire y tamizadas con tamiz de malla de 2 mm, y se evaluaron los parámetros de fertilidad: pH y MO, siguiendo los procedimientos descritos en Gilabert, Arrieche, Bisbal, Alfonso, Navas, Gómez y Yanes (2004). Para la estimación del rendimiento del maíz en kg.ha⁻¹ de cada parcela, se aplicó la fórmula propuesta por González (2001): Rendimiento (kg.ha⁻¹) = No. de Plantas efectiva/parcela x Peso mazorca/1000. A los resultados obtenidos se les determinó el análisis de varianza (ANAVAR), pruebas de medias de Duncan, prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov, para lo cual se utilizó el Programa SPSS para Windows versión 7.1.

En campo se instalaron dos experimentos, uno en cada suelo (alcalino y ácido), bajo diseño experimental de superficie de respuestas de segundo orden “Compuesto

Central Rotable” Chacín (2000), para obtener las dosis óptimas y económicas de rendimiento. Se utilizó maíz como cultivo, y cachaza (CA), como abono orgánico, subproducto de la caña de azúcar, que mezclado con polienzimas y sometido a un proceso de compostación en la agroindustria para la lograr la estabilización del material. El diseño tenía cuatro factores correspondientes a las dosis de fertilizantes combinadas de N,P,K con CA, que de acuerdo con la consideración teórica del modelo, el tratamiento central correspondía a -2, -1, 0, +1, +2, (T25), este se repitió 6 veces. El diseño incluyó un testigo sin fertilizante (T26) y un tratamiento con los niveles máximos de cada factor (T27) de N,P,K y CA, para un total de 32 parcelas experimentales (Tabla 2).

Resultados y Discusión

Efecto de la aplicación de las dosis combinadas N,P,K y CA sobre la MO En la Tabla 3, se señalan los porcentajes obtenidos de MO y los valores registrados en el rendimiento del maíz, para los diferentes niveles de fertilizantes y CA, en el suelo alcalino y suelo ácido. Se aprecia que las dosis de N de 240 y 320 kg.ha⁻¹, aumentaron los porcentajes de materia orgánica en el suelo alcalino, y fue estadísticamente significativo, aunque no supera los niveles de deficiencias. Con respecto al tratamiento de P, se encontraron incrementos en los valores de MO en relación al testigo con la dosis de 120 y 240 kg.ha⁻¹ en el suelo alcalino, mientras que con el suelo ácido no hubo respuesta con ningún tratamiento. De igual forma las dosis de K no tuvieron

una incidencia sobre la MO. En cuanto al abono orgánico CA, la dosis de 3000 kg.ha⁻¹ promovió un aumento importante y significativo estadísticamente, en el suelo alcalino. Hubo cambios en el suelo ácido con todas la dosis de CA en relación al testigo.

Efecto de la aplicación de las dosis combinadas N,P,K y CA sobre el rendimiento

Los tratamientos de N diferentes de 0 kg.ha⁻¹, elevaron el rendimiento del cultivo maíz en el suelo alcalino, y fue estadísticamente significativo en relación a ese nivel. Mientras que el suelo ácido, tuvo un incremento significativo con las dosis de 240 y 320 kg.ha⁻¹ de N. Las dosis de 60, 120 y 180 kg.ha⁻¹ de P, tuvieron un efecto significativo y positivo sobre el rendimiento del cultivo en el suelo alcalino; y con las dosis de 180 y 240 kg.ha⁻¹ de P para el suelo ácido, evidenciando la exigencia de este suelo como consecuencia de su condición de acidez. Los tratamientos de K presentaron un efecto similar que las dosis de P en el suelo alcalino, y en el suelo ácido no se obtuvo ninguna respuesta con respecto a la aplicación del K. El abono orgánico cachaza (CA) incidió sobre el rendimiento que presentó un aumento importante y significativo estadísticamente con las dosis de 2000 y 3000 kg.ha⁻¹, siendo esta última la que produjo un mayor rendimiento en términos absolutos, en los dos suelos, lo que implica mejora en la condición de los suelos cuando se incorpora el material orgánico.

Dosis óptimas y económicas de rendimiento de maíz combinada de N,P,K y CA

Suelo alcalino

En la Figura 1, se aprecia las dosis óptimas del rendimiento del maíz sobre el suelo alcalino. Para el nitrógeno, la respuesta no fue estadísticamente significativa, sin embargo se obtuvo una respuesta biológica y comercial importante, el rendimiento máximo se alcanza con una dosis de 200 kg.ha⁻¹ produciéndose luego un descenso del rendimiento (Fig.1a). La respuesta a la aplicación de fósforo es muy débil, por consiguiente no es posible establecer la dosis óptima y económica, ya que los rendimientos en comparación a la dosis central, fueron casi iguales, el rendimiento máximo fue obtenido con 240 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (Fig.1b). En el caso del potasio tampoco fue significativa, y al igual que el nitrógeno causó cambios importantes en el rendimiento. La dosis se ubicó en el nivel central con 80 kg.ha⁻¹ de K₂O (Fig.1c). Por su parte la cachaza obtuvo una respuesta máxima de rendimiento con la aplicación entre 3000 y 4000 kg.ha⁻¹ al suelo (Fig.1d). Con el modelo estadístico de respuesta se calcula las dosis combinadas de fertilizantes N,P,K y CA aplicadas al suelo alcalino (Tabla 4). Ambas dosis, tanto la óptima como económica del rendimiento del maíz son similares, alrededor de 200 de N; 230 de P₂O₅; 90 de K₂O y 3700 kg.ha⁻¹ para la CA. Este valor en la dosis de P₂O₅ fue mayor que el normalmente aplicado, y puede deberse a las limitaciones de degradación persistente (contenidos

de MO bajos), y a que uno de los mecanismos de fijación del P en el suelo por lo que pierde su disponibilidad, es la formación de precipitados insolubles con el calcio en suelos con tendencia alcalinas Fassbender (1980).

Suelo ácido

El comportamiento de las dosis combinadas sobre el suelo ácido se presenta en la Figura 2. La repuesta del nitrógeno fue estadísticamente significativa, sin embargo no se calcularon las dosis óptimas y económicas porque esta respuesta fue creciente en el rendimiento (Figura 2a), debido a los requerimientos del híbrido y a los problemas de absorción de N en los suelos ácidos; lo que significa que el rango de dosis a evaluar debió ser más amplio. En la Figura 2b se aprecia que, al igual que en el caso del N, la respuesta del rendimiento del P fue lineal y estadísticamente significativa, en este caso debido a la fijación del elemento por la acidez del suelo, que implica requerimientos de mayores cantidades para satisfacer los requerimientos del cultivo. En el caso de las dosis de K, el rendimiento máximo del cultivo se alcanzó con la dosis de 80 Kg.ha⁻¹ (Figura. 2c). La influencia de la cachaza sobre el rendimiento del maíz máximo se alcanzó con la dosis de 3000 Kg.ha⁻¹ de cachaza (Figura. 2d).

Dado que para las dosis de N y P₂O₅ el comportamiento fue lineal, solo se calcularon la dosis óptima y económica combinada para el K₂O y la cachaza, que fueron entre 80 y 3000 kg.ha⁻¹ respectivamente (Tabla 5). Estos resultados sugieren una mayor demanda por parte de estos suelos, de N, P y MO.

Conclusiones

La materia orgánica elevó su concentración en el suelo alcalino con las dosis de N y CA; y en el suelo ácido con la aplicación de CA. Se incrementaron los rendimientos del cultivo maíz significativamente con las aplicaciones de CA, N y P₂O₅ en los dos suelos.

Las dosis óptimas y económicas oscilaron en un rango entre 2800 y 3700 kg.ha⁻¹ para la CA, destacando la necesidad que tienen estos suelos por elevar sus contenidos de materia orgánica. Los valores encontrados para la dosis de N se mantienen en 200 kg.ha⁻¹, mientras que la dosis de P₂O₅ fue de 230 kg.ha⁻¹ aproximadamente; y para el K₂O fluctuaron entre 80 y 90 kg.ha⁻¹.

Referencias Bibliográficas

- Añez, B.; Espinoza, W. (2002). Fertilización química y orgánica invertido. Efectos interactivos o independientes sobre la producción de zanahoria. Revista Forestal Venezolana. 46(2): 47-54.
- Baquero, C.; Toloza, A.; Lopéz, A.; García, J.; Torregroza, G.; Diaz, O.; Urbina, A.; López, A.; Montes, M.; Hessen, F.; Bracho, L.; Corredor, G.; Luna, J. (2000). Respuesta de la yuca a la fertilización química y orgánica en suelos de la región del Caribe. 30(1) 1-7.
- Brito, P.; León, C. (1968). Estudio agrológico semidetallado del Valle medio del Río Yaracuy. Maracay, Venezuela: Ceniap. MAC.
- Chacín, F. (2000). Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta. Facultad de Agronomía. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

- Fassbender H. W. (1980). Propiedades químicas de suelo. En: Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina, parte II. pp. 117-167.
- Gilabert B., Arrieche, I., Bisbal, E., Alfonzo, N., Navas, M., Gómez, N., Yanes, P. (2004). Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad) 2da. Versión. Venezuela: INIA.
- González C. (2001). Estimación de cosecha en maíz. (Capítulo 9), Manejo Post-cosecha del VII Curso sobre producción de maíz. (pp. 354-359) Araure, Portuguesa:Venezuela.
- Hirzel J., Rodríguez,N., Zagal, E. (2004). Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. Chile:Agricultura
- técnica 64(4): 365-374.
- Sukhmal Chand, M. D.D. Anwar, Patra. (2005). Influence of long-term application of organic and inorganic fertilizer to build up soil fertility and nutrient uptake in mint-mustard cropping sequence. Comm. in Soil Science and Plant Analysis. 37: 63 – 75.
- Zerega, L. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Revista Científica de Caña de Azúcar. Vol. 11, No.2.

Tabla 1. Ubicación, clasificación taxonómica y características de los suelos

| Ubicación | Suelo alcalino | Suelo ácido |
|----------------------------------|---|--|
| | Valle El Rodeo, municipio Peña, estado Yaracuy | Población La Virgen, municipio Bruzual, estado Yaracuy |
| *Clasificación taxonómica | Oxic Haplustalfs, franco fino, de reacción alcalina | Oxic Haplustalfs, franco fino, de reacción ácida |
| Características | | |
| pH | 7,3 | 5,0 |
| % MO | 1,10 | 0,90 |
| CT | Fa | Fa |

*Fuente Brito y León (1968); CT = Clasificación textural; Fa = franco arenoso

Tabla 2. Tratamientos aplicados con niveles codificados y reales de N,P,K y CA.

| Tratamiento | Niveles Codificados | | | | Niveles Reales | | | |
|-------------|---------------------|----|----|----|--------------------------|--|---|---------------------------|
| | N | P | K | CA | N kg.ha ⁻¹ | P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹ | K ₂ O kg.ha ⁻¹ | CA kg.ha ⁻¹ |
| 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 80 | 60 | 40 | 1000 |
| 2 | -1 | -1 | -1 | 1 | 80 | 60 | 40 | 3000 |
| 3 | -1 | -1 | 1 | -1 | 80 | 60 | 120 | 1000 |
| 4 | -1 | -1 | 1 | 1 | 80 | 60 | 120 | 3000 |
| 5 | -1 | 1 | -1 | -1 | 80 | 180 | 40 | 1000 |
| 6 | -1 | 1 | -1 | 1 | 80 | 180 | 40 | 3000 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | -1 | 80 | 180 | 120 | 1000 |
| 8 | -1 | 1 | 1 | 1 | 80 | 180 | 120 | 3000 |
| 9 | 1 | -1 | -1 | -1 | 240 | 60 | 40 | 1000 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | 1 | 240 | 60 | 40 | 3000 |
| 11 | 1 | -1 | 1 | -1 | 240 | 60 | 120 | 1000 |
| 12 | 1 | -1 | 1 | 1 | 240 | 60 | 120 | 3000 |
| 13 | 1 | 1 | -1 | -1 | 240 | 180 | 40 | 1000 |
| 14 | 1 | 1 | -1 | 1 | 240 | 180 | 40 | 3000 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | -1 | 240 | 180 | 120 | 1000 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 240 | 180 | 120 | 3000 |
| 17 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | 80 | 2000 |
| 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 320 | 120 | 80 | 2000 |
| 19 | 0 | -2 | 0 | 0 | 160 | 0 | 80 | 2000 |
| 20 | 0 | 2 | 0 | 0 | 160 | 240 | 80 | 2000 |
| 21 | 0 | 0 | -2 | 0 | 160 | 120 | 0 | 2000 |
| 22 | 0 | 0 | 2 | 0 | 160 | 120 | 160 | 2000 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | -2 | 160 | 120 | 80 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 2 | 160 | 120 | 80 | 4000 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 160 | 120 | 80 | 2000 |
| 26 | -2 | -2 | -2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220 | 240 | 120 | 4000 |

Tabla 3. Porcentaje (%) de MO de los suelos por tratamiento de N,P,K y CA.

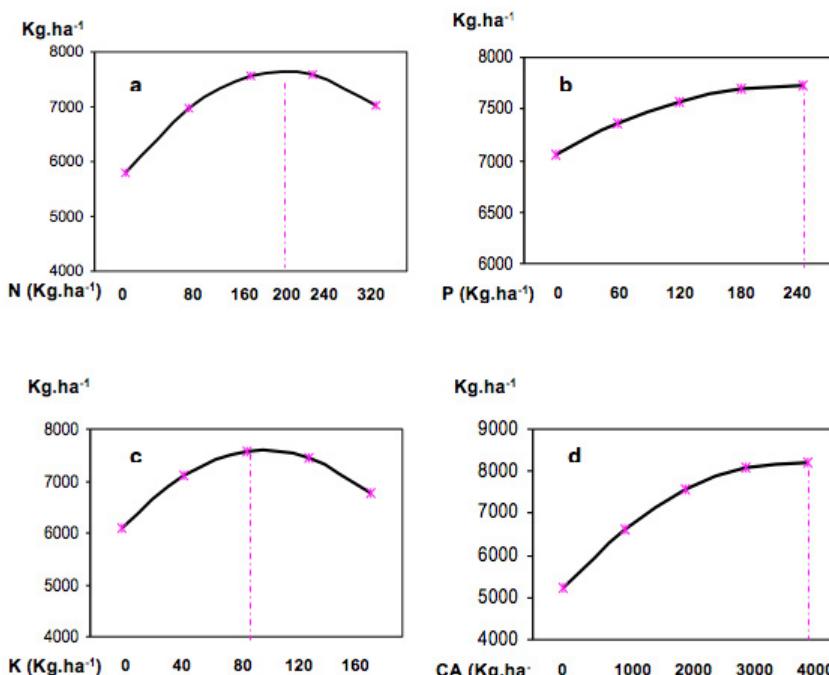
| T | Dosis codificada | Dosis Real (Kg.ha ⁻¹) | MO (%) | | Rendimiento (kg.ha ⁻¹) | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| | | | Suelo alcalino | Suelo ácido | Suelo alcalino | Suelo ácido |
| N | -2 | 0 | 1,18b | 0,95a | 3770 b | 879 b |
| | -1 | 80 | 1,26ab | 0,94a | 6803 a | 1846 ab |
| | 0 | 160 | 1,39ab | 0,99a | 6869 a | 1912 ab |
| | 1 | 240 | 1,42a | 1,01a | 6891 a | 2451 a |
| | 2 | 320 | 1,45a | 0,95a | 6167 a | 3083 a |
| P₂O₅ | -2 | 0 | 1,13b | 0,88a | 4748 b | 785 b |
| | -1 | 60 | 1,32ab | 0,96a | 6800 a | 1851ab |
| | 0 | 120 | 1,41a | 1,01a | 6854 a | 1936 ab |
| | 1 | 180 | 1,36ab | 0,99a | 6893 a | 2447a |
| | 2 | 240 | 1,38a | 0,93a | 5272 ab | 3022 a |
| K₂O | -2 | 0 | 1,18a | 0,95a | 4311 b | 948 a |
| | -1 | 40 | 1,34ab | 0,96a | 6779 a | 2172 a |
| | 0 | 80 | 1,39ab | 0,99a | 6848 a | 2049 a |
| | 1 | 120 | 1,33ab | 0,99a | 6915 a | 2125 a |
| | 2 | 160 | 1,45a | 1,00a | 5746 ab | 2128 a |
| CA | -2 | 0 | 1,33b | 0,78b | 4321 b | 833 b |
| | -1 | 1000 | 1,22ab | 1,03a | 6001ab | 1536 ab |
| | 0 | 2000 | 1,38ab | 1,02a | 6802 a | 2028 a |
| | 1 | 3000 | 1,46a | 0,93a | 7692 a | 2762 a |
| | 2 | 4000 | 1,33ab | 0,93a | 6015 ab | 1921 ab |

Tabla 4. Dosis óptima y económicas de N,P,K y CA para el suelo alcalino

| Fertilizante | Unidad codificada para dosis óptima | Dosis óptima (Kg.ha^{-1}) | Unidad codificada para dosis económica | Dosis económica (Kg.ha^{-1}) |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| N | 0,54 | 203 | 0,54 | 203 |
| P_2O_5 | 1,88 | 233 | 1,85 | 231 |
| K_2O | 0,29 | 92 | 0,10 | 82 |
| CA | 1,73 | 3730 | 1,72 | 3720 |

Tabla 5. Dosis óptima y económicas de N,P,K y CA para el suelo ácido

| Fertilizante | Unidad codificada para dosis óptima | Dosis óptima (Kg.ha^{-1}) | Unidad codificada para dosis económica | Dosis económica (Kg.ha^{-1}) |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| CA | 1,23 | 2900 | 1,22 | 2800 |
| K_2O | 0,05 | 82 | -0,05 | 78 |

**Figura 1. Rendimiento de maíz (kg.ha^{-1}) en respuesta a las dosis reales de N (a), P (b), K (c) y CA (d) aplicado en el suelo alcalino**

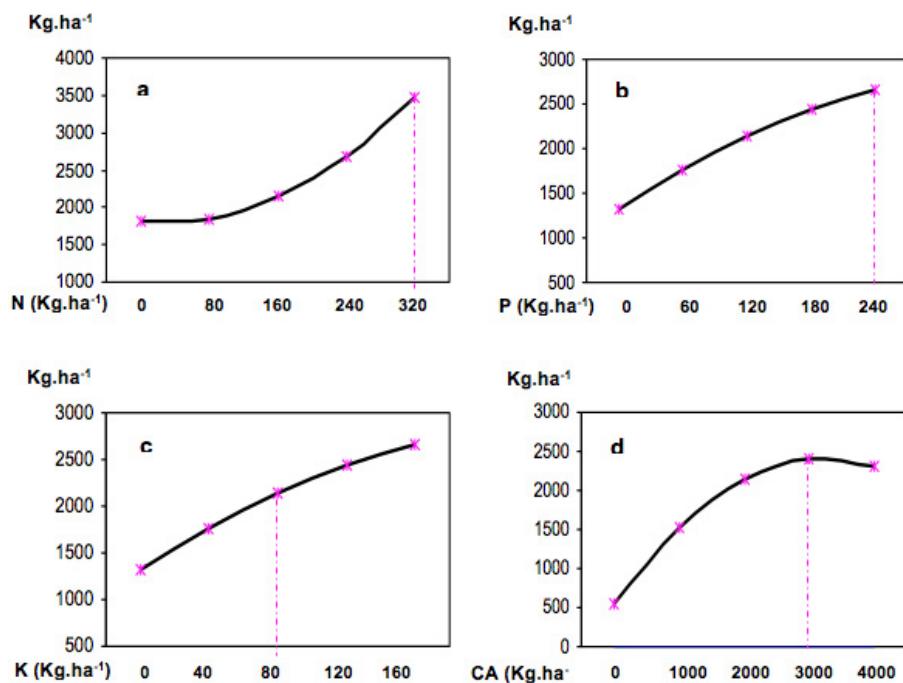


Figura 2. Rendimiento de maíz (kg.ha^{-1}) en respuesta a las dosis reales de N (a), P (b), K (c) y CA (d) aplicado en el suelo ácido