

EFFECTO DEL NIVEL DE NITRÓGENO Y FERTILIZACIÓN P - K SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)*

Effect of nitrogen level and P - K fertilization on corn yield (*Zea mays* L.)

Aymara Sánchez¹, Vianel Rodríguez¹, Sughey Chávez¹ y Javier Lorbes¹

RESUMEN

Se condujo el experimento en “Las Velas”, municipio Peña del estado Yaracuy, en un suelo Ultisol de textura franco arenosa, con la finalidad de evaluar dos niveles de fertilización con nitrógeno y tres dosis con P y K en el cultivo maíz. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cinco repeticiones. Las parcelas principales estuvieron representadas por los niveles de N (120 y 160 kg ha⁻¹) y las parcelas secundarias por fertilización con P₂O₅ y K₂O, según se describe a continuación: A, de acuerdo al aporte del suelo (0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 0 kg ha⁻¹ K₂O); B, con base en el instructivo de recomendación del FONAIAP (0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 30 kg ha⁻¹ K₂O) y C, con una dosis de arranque de P y para el K se consideró el suministro del suelo y el requerimiento del cultivo (29 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 70 kg ha⁻¹ K₂O). Se evaluó altura de planta y rendimiento del cultivo. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza y los promedios se compararon utilizando la prueba de Tukey. Los resultados indicaron que las dosis de N tuvieron un efecto significativo (P<0,05) sobre la altura de planta a los 30 días después de la siembra. El rendimiento de maíz no fue afectado por los niveles de nitrógeno ni por las dosis de fertilización con P₂O₅ y K₂O. La interacción N x fertilización con P y K mostró efecto significativo (P<0,05) sobre el rendimiento. Hubo aumento en el rendimiento de grano cuando se incrementó el nivel de N y no se aplicó fertilización con P y K al suelo.

Palabras clave: maíz, fertilización, disponibilidad de nutrientes en el suelo.

(*) Recibido: 21/04/2008

Aceptado: 18/09/2008

(1) Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía. Barquisimeto, Apartado 400. Venezuela. Email: aymaras@ucla.edu.ve; vianelr@ucla.edu.ve

ABSTRACT

The experiment was conducted in Las Velas, Yaracuy state, Venezuela, in Ultisol sandy loam texture soil, with the aim of evaluated two levels of nitrogen fertilization and three fertilization doses with P and K in the corn crop. It was used a completely randomized design under treatment arrangement in plots divided with five repetitions. The main plot was represented by the N levels (120 and 160 kg ha⁻¹) and secondary plot by P₂O₅ and K₂O fertilization: A, according to the contribution of the soil (0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 0 kg ha⁻¹ K₂O); B based on FONAIAP handbook recommendation (0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 30 kg ha⁻¹ K₂O) and C, starting with a dose of P and K was considered as the supply by the soil and the requirement of the crop (29 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 70 kg ha⁻¹ K₂O). The plant height and crop yield was evaluated. The data were analyzed using analysis of variance and averages were compared using the Tukey test. The results indicated that the N level had a significant effect (P<0,05) on plant height at 30 days after sowing. The corn yield was not affected by nitrogen levels or fertilization dose (P₂O₅ and K₂O). The interaction N x P and K fertilization showed significant effect (P<0.05) in grain yield. There was increase in the grain yield when the N level was higher and the P K fertilizer was not applied.

Key words: maize, fertilizer, soil nutrients availability.

INTRODUCCIÓN

EL maíz es un cultivo de importancia en Venezuela, por constituir uno de los productos de mayor consumo diario en la dieta de la población (INE 2007). Su producción se concentra en las regiones agrícolas de los llanos occidentales, centrales y en el valle medio del Río Yaracuy. Dentro de este último, en el asentamiento campesino “Las Velas”, la producción del cultivo tiene gran valor económico y social debido a la cantidad de pequeños productores que se benefician. Sin embargo, esta zona presenta limitaciones climáticas, de suelos y topografía, aunado a esto, el manejo que han realizado los productores ha provocado procesos de degradación física, química, compactación y erosión de los suelos (Marcano y Ohep 1997). La degradación química y acidez de estos suelos genera deficiencias y

desbalances nutricionales, lo cual debe ser corregido para mejorar su capacidad productiva e incrementar rendimientos del cultivo.

Para minimizar los problemas de degradación química que presentan estos suelos, es necesario suplementar al cultivo con los nutrimentos necesarios, en cantidades y relaciones adecuadas (Casanova 2005). De esta manera, la sincronización entre el suministro de los nutrimentos del suelo y la demanda del cultivo puede mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes. Por lo tanto, el conocimiento de los niveles de productividad de los suelos, junto con los requerimientos nutricionales de los cultivos son también aspectos fundamentales para lograr un mejor manejo de la fertilización, de tal manera que permita óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y lograr una

agricultura sustentable (Berardo 2004).

Para el cultivo de maíz, el cual tiene una fuerte respuesta al abastecimiento de nitrógeno, el déficit de este nutrimento es el más importante, después del déficit de agua (García 2007). Normalmente para este cultivo se aplica el equivalente a 120 kg N ha^{-1} , dosificación que ha sido producto de diversas investigaciones; sin embargo, no se ha considerado el requerimiento del cultivo, condiciones climáticas, de manejo del sistema y la capacidad de suministro de N por el suelo, debido a que no existen mecanismos apropiados para determinar la dosis óptima (Delgado 2001).

La respuesta del maíz a la fertilización fosfatada y potásica depende del nivel de P y K en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo (textura, materia orgánica y pH, entre otros), del cultivo y de manejo del fertilizante (Solórzano 2001).

Las dosis recomendadas para estos elementos, normalmente están basadas en el análisis de suelo, para lo cual se utiliza el instructivo de recomendación o cuadro de doble entrada para este cultivo y estado, generado por el INIA (Antiguo FONAIAP); sin embargo, este instructivo se basa en experimentos de calibración realizados hace más de 20 años, en consecuencia presenta algunos inconvenientes, debido a la disponibilidad de nuevos híbridos y variedades y de nuevas fuentes de fertilizantes (Casanova 2000).

Considerando que existen otros criterios de recomendación, como el de

suficiencia, que busca satisfacer los requerimientos del cultivo y el de mantenimiento que incluye aportes para mejorar el nivel del elemento disponible en el suelo (García 2005), surge el interés de continuar los estudios en función a las nuevas y mejores alternativas que permitan ajustar la aplicación de nutrimentos de acuerdo con las condiciones de suelo y clima de cada área de producción.

En función de lo expuesto, el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el efecto de la aplicación de nitrógeno y fertilización con fósforo y potasio, en el rendimiento del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo en una parcela experimental en el asentamiento campesino "Las Velas" en Yaritagua del Municipio Peña, del Estado Yaracuy, ubicada a $10^{\circ} 05'$ de altitud norte y $69^{\circ} 07'$ de longitud oeste, a una altura de 320 msnm. En Tabla 1 se presentan las principales características químicas del suelo, clasificado como un Typic Kandistults, arcilloso fino, mixto, donde se realizó el estudio.

El área de estudio recibió Cal dolomítica y fosfoyeso dos años antes del establecimiento del ensayo. Para la siembra se utilizó el híbrido Cargill (maíz blanco), en parcelas experimentales de tres hileras de 8 m de longitud y separadas a 80 cm entre ellas, con una densidad aproximada de 62000 plantas ha^{-1} . Para el control de malezas se utilizaron los herbicidas post-emergentes Glyphosan (Glifosato) a razón de 3 l ha^{-1} y 40 g ha^{-1} de Accent (Nicosulfurón).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cinco repeticiones. Las parcelas principales estuvieron representadas por las dosis de N (120 y 160 kg ha⁻¹); la dosis de 120 kg ha⁻¹ es la recomendada para la zona de acuerdo con el instructivo de recomendación del FONAIAP. Las parcelas secundarias estuvieron conformadas por la fertilización con P₂O₅ y K₂O que se describe a continuación: A, representó un testigo con 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 0 kg ha⁻¹ K₂O; B, con base en el instructivo de recomendación del FONAIAP (Solórzano 2001) se aplicó 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ - 30 kg ha⁻¹ K₂O; mientras que para C, se aplicó una dosis de arranque de P, aún cuando el contenido en el suelo era relativamente alto y para el K se consideró el aporte o suministro del suelo, para lo cual se estimó la cantidad de K₂O por hectárea disponible en el suelo, este valor se restó al requerimiento del cultivo (60 P₂O₅ - 180 K₂O, Solórzano, 2001), lo que resultó en una dosis de 29 kg ha⁻¹ P₂O₅

-70 kg ha⁻¹ K₂O. Las fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio fueron urea, fosfato de amonio y cloruro de potasio, respectivamente. Los fertilizantes se aplicaron en la forma tradicional de la zona: 1/3 del nitrógeno, todo el fósforo y el potasio a los 10 días después de siembra (dds) y el resto de la dosis de nitrógeno a 30 dds. En total, los tratamientos estuvieron conformados por dos niveles de N x tres dosis de P-K, se utilizaron 5 repeticiones, lo cual generó 30 unidades experimentales.

A los 16, 30, 44 y 57 dds se realizaron mediciones de altura de planta y porcentaje de humedad en el suelo. La altura de planta fue considerada desde el ras del suelo hasta la primera hoja con lígula visible, se tomaron 10 plantas al azar en la hilera central de cada parcela. El porcentaje de humedad en el suelo se determinó con base en el contenido de humedad gravimétrico, a cuatro profundidades (0-5, 5-10, 10-30 y 30-50 cm) en cada parcela por tratamiento, siguiendo la metodología de Pla (1983). Para el

Tabla 1. Características químicas del suelo utilizado en el estudio.

Prof. (cm)	pH (1:2)	CE ⁽¹⁾ (dS/m)	MO ⁽²⁾ (g/kg)	P ⁽³⁾	K ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁴⁾	Mg ⁽⁴⁾	Al (cmol/kg)	Text ⁽⁵⁾
					----- (mg/kg) -----				
0-5	4,50	0,14	15,40	27	125	534	95	0,12	Fa
5-15	3,70	0,12	11,80	21	89	324	60	0,23	Fa
15-30	3,60	0,09	10,60	9	88	344	58	0,56	FAa
30-50	3,70	0,21	10,30	10	93	429	76	0,78	Aa

(1) CE: Conductividad Eléctrica en relación 1:2

(2) MO: Materia orgánica determinada a partir de carbón orgánico de Walkey y Black.

(3) Por el método de Olsen.

(4) Por acetato de Amonio pH 7.

(5) Textura.

rendimiento del grano (Rend) se cortaron las mazorcas, se extrajeron los granos, se pesaron y se obtuvo el rendimiento ajustado al 12 % de humedad.

Análisis estadísticos

Una vez comprobados los supuestos exigidos, se aplicó el análisis de varianza en las variables medidas, según el modelo lineal aditivo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \rho_k + \delta_{iki} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = Altura de planta o rendimiento de grano del cultivo
 μ = Media general de la población.
 α_i = Efecto debido al i-ésimo nivel de N
 ρ_k = Efecto de la k-ésima repetición
 δ_{iki} = Componente aleatorio del error asociado al i-ésimo nivel de N y la k-ésima repetición
 β_j = Efecto de la j-ésima dosis de P y K
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del

i-ésimo nivel de N y j-ésima dosis de fertilización P y K

E_{ijk} = error experimental de i-ésimo nivel de N y j-ésima dosis de fertilización P y K y la k-ésima repetición.

Los promedios se compararon con la prueba de Tukey. Se utilizó el paquete estadístico Statistix 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta:

Se detectaron diferencias ($P < 0,05$) debidas al nivel de nitrógeno y a las dosis de fertilización con P y K para la altura de planta a los 30 dds (Tabla 2). Los coeficientes de variación de las mediciones de altura de planta, mostraron un rango entre 6,35 y 9,43 %, que es aceptable y genera confiabilidad en los resultados obtenidos. La mayor altura de planta (23,32 cm), según efecto de nivel N, se

Tabla 2. Efecto del nivel de nitrógeno y fertilización con P y K sobre la altura de planta en maíz.

	16 dds	30 dds	44 dds	57 dds
----- cm -----				
Nivel de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)				
120	8,34 a	22,33 b	51,28 a	144,51 a
160	8,73 a	23,32 a	52,66 a	146,74 a
Fertilización P - K				
A (0 P ₂ O ₅ - 0 K ₂ O)	8,42 a	22,72 ab	49,41 a	143,23 a
B (0 P ₂ O ₅ - 30 K ₂ O)	8,47 a	22,01 b	51,65 a	145,05 a
C (29 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O)	8,72 a	23,95 a	54,85 a	148,60 a
N x Fertilización	ns	ns	ns	Ns
CV (%)	8,44	6,35	9,43	5,80

a,b: Valores con diferentes letras en la misma columna presentan diferencias significativas ($P < 0,05$).
 ns: no significativo.

presentó con 160 kg ha^{-1} . En esta etapa el cultivo comienza un crecimiento vertical y se inicia una máxima utilización del nitrógeno (García 2007). Por lo tanto, este comportamiento en los estados de desarrollo iniciales, puede ser explicado por la existencia de competencia por N entre los microorganismos del suelo y las plantas.

La dosis de fertilización C ($29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 - 70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) produjo mayor ($P < 0,05$) altura de planta; sin embargo, no presentó diferencias significativas con respecto a la A ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 - 0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$). Esto pudo ser causado por el suministro de fósforo y potasio por el suelo (Tabla 1). De acuerdo con la interpretación de las características químicas, el suelo presentó niveles altos y medios de P y K, respectivamente; lo cual sugiere que no hubo diferencias en la disponibilidad de los elementos en el suelo. Además las condiciones de acidez del suelo, probablemente no permitieron una mayor disponibilidad de los elementos aplicados por la fertilización basal.

La altura de planta reportada a los 44 y 57 dds no mostró diferencias ($P > 0,05$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Wolschick et al. (2003), quienes informaron que a partir de los 44 dds y hasta el final del periodo vegetativo de las plantas, no se observaron diferencias en altura de plantas que recibieron fertilización nitrogenada y con P y K. Este comportamiento puede ser explicado por que ocurre una compensación en la altura de planta por el fraccionamiento

de la aplicación del N. El estrés hídrico que sufrieron las plantas a los 44 dds, causado por un porcentaje de humedad en suelo de 13,68; 12,36 y 14,19 a los 0-5, 5-10 y 10-50 cm, respectivamente, pudo afectar la disponibilidad de los nutrimentos reflejada hasta los 57 dds.

La interacción nivel de N por fertilización con P y K no fue significativa para la altura de planta a los 16, 30, 44 y 57 dds. Esto significa que hay independencia en el uso del N y las dosis de P y K sobre la altura de planta.

Rendimiento de grano

En la Tabla 3 se observa que el rendimiento de maíz no fue afectado ($P > 0,05$) por los niveles de N ni por la fertilización con P y K. Sin embargo, el rendimiento obtenido con la fertilización A (testigo) demuestra que con el suministro de fósforo y potasio por el suelo, se alcanzan rendimientos aceptables, por el contrario el instructivo de recomendación o tablas de doble entrada (fertilización B) no representa una guía del todo confiable y la fertilización por restitución (fertilización C) exige métodos de extracción adecuadamente calibrados. Por otra parte, factores como el escaso patrón de lluvias ocurrido a los 44 dds y a inicio de la etapa de floración y la acidez presente en este suelo, aunque con niveles muy bajos de aluminio intercambiable, pudieron afectar la respuesta del cultivo a los niveles de nitrógeno y de fertilización con P_2O_5 y K_2O . Esta afirmación se sustenta en lo expresado por Lafitte (2001), quien informó que las sequías reducen los rendimientos del maíz en cerca de 15 %

Tabla 3. Efecto de las dosis de nitrógeno y de la fertilización P-K sobre el rendimiento de grano en maíz.

	Rendimientos en grano (Mg ha ⁻¹)
Nivel de Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	
120	4,25 a
160	4,49 a
Fertilización P - K	
A (0 P ₂ O ₅ - 0K ₂ O)	4,20 a
B (0 P ₂ O ₅ - 30 K ₂ O)	4,54 a
C (29 P ₂ O ₅ - 70 K ₂ O)	4,32 a
N x Fertilización	*
C.V. (%)	18,18

Valores seguidos de las mismas letras no difieren estadísticamente (P>0,05); * (P<0,05)

anualmente en las tierras tropicales y subtropicales.

Rendimiento de grano de maíz similar al observado en esta experiencia ha sido reportado por Marcano et al. (2001) en esta misma zona; además, estos valores son superiores al rendimiento comercial informado por García (2007) para el ámbito nacional (3 Mg ha⁻¹).

La interacción N x fertilización P-K mostró efecto significativo (P<0,05) sobre el rendimiento de grano del cultivo de maíz. En la Figura 1 se observa que hubo un cambio en la magnitud del rendimiento cuando se consideró el efecto del nivel de nitrógeno aplicado al suelo en función de la fertilización con fósforo y potasio. De esta manera, cuando no se aplicó P₂O₅ y K₂O se encontró un mayor rendimiento con 160 kg/ha de N; mientras que con este nivel de N y 29kg/ha de P₂O₅ - 70 kg/ha de K₂O se observó menor rendimiento. Es probable que este resultado muestre una subestimación de la oferta del suelo, por lo que se obtiene recomendación innecesaria, que aumenta los costos de producción y puede generar desbalance nutricional, al aplicar P y K cuando el suelo tiene altos contenidos de estos elementos (Tabla 1). Al respecto Kamprath, citado por Delgado (2004), encontró que en suelos con suplencia adecuada de P, la absorción de este elemento fue afectada por la suplencia de N. Esta interpretación se puede confirmar, si se considera que la aplicación de 0 kg/ha de P₂O₅ y 30 kg/ha de K₂O, generó rendimientos similares con ambos niveles de N.

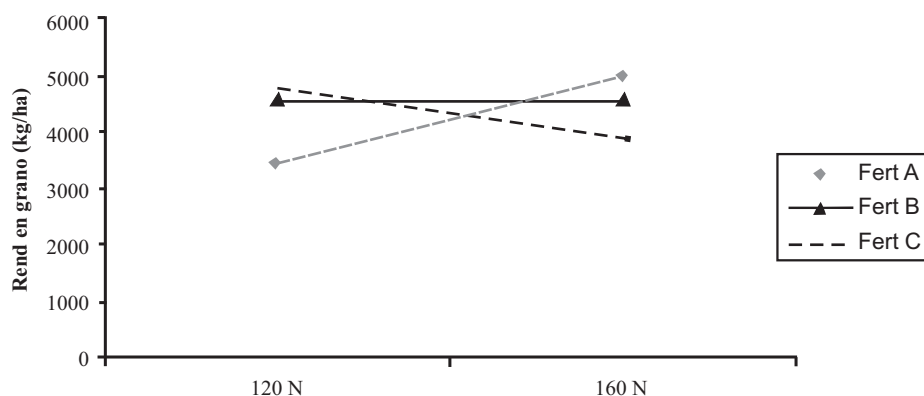


Figura 1. Efecto de la interacción aplicación de N x fertilización P-K sobre el rendimiento en grano de maíz.

Por otra parte, es importante destacar que el suelo de esta localidad es pobre en materia orgánica, por lo que el aporte del N causó un mayor efecto cuando se aplicó en conjunto con la fertilización A. Dentro de una producción sostenible es necesaria la incorporación de residuos orgánicos y abonos verdes, para aumentar el nivel de materia orgánica y mejorar el suministro de N orgánico, lo cual reducirá la cantidad de fertilizante nitrogenado mineral que se debe aplicar en futuras siembras de maíz (Casanova 2000).

CONCLUSIONES

Los niveles de N produjeron diferencias en altura de planta del maíz, a los 30 días después de la siembra.

El rendimiento de maíz no fue afectado por las dosis de fertilización con P y K, lo que demuestra un suministro de P y K por parte del suelo.

Hubo interacción entre nivel de nitrógeno y fertilización con P y K. El incremento en el nivel de N cuando no se aplicó fertilización con P y K al suelo, generó aumento en el rendimiento de grano.

REFERENCIAS

Instituto Nacional de Estadística-INE. 2007. Productos con mayor consumo aparente diario por persona. [online]: <http://www.ine.gov.ve/consumo/seleccionconsumo.asp?año=2007>. [Consulta 15/04/2008].

Berardo, A. 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura

sustentable. Informaciones agronómicas 23:1-5.

- Casanova, E. 2000. La fertilización y nutrición mineral del maíz en Venezuela. En: El maíz en Venezuela. Fontana H. y González C. (Eds). Fundación Polar, Caracas. pp 275-294.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. (Eds) UCV. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela. pp 423-448.
- Delgado, R. 2001. Evaluación de la mineralización del N orgánico en un Mollisol del estado Aragua mediante el método de incubación *in situ* y el N absorbido por el cultivo. Agron. Trop. 51 (3): 421-437.
- Delgado, R. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. Agron. Trop. 54(4):389-389.
- García, F. O. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. International Plan Nutrition Institute (IPNI). Programa Latinoamericano Cono Sur. Fertilización de cultivos y forrajes. Maíz. [Online]: [www.inpofos.org/ppi/web/ltams.nsf/\\$webindex/articloe=1C99BAD703257040004B8AE63BC3A0C3](http://www.inpofos.org/ppi/web/ltams.nsf/$webindex/articloe=1C99BAD703257040004B8AE63BC3A0C3). [Consulta 25/04/2007].

- García, P. 2007. Limitantes abióticas en la producción comercial de maíz. En: XIII Curso sobre producción de maíz. Asoportuguesa (Eds). Versión electrónica. Araure, Portuguesa. pp. 84-108.
- Lafitte, H. R. 2001- Estreses abiótico que afectan el maíz. En: El maíz en los trópicos. Gonzalo G., R., H. R. Lafitte y A. D. Violic (Eds). FAO. [online]: http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s12.htm#P0_0. [Consulta 15/04/2008].
- Marcano, F. y Ohep, C. 1997. Respuesta del cultivo de maíz a tres prácticas de labranza, dos fuentes nitrogenadas y tres formas de aplicación del nitrógeno. *Agron. Trop.* 47(1):61-85.
- Marcano, F., Ohep, C., Sánchez A. y Colmenárez. C. 2001. Efecto residual de enmiendas inorgánicas con dosis de nitrógeno en siembra directa sobre suelos cultivados con maíz (*Zea mays* L.). Memorias XVI Congreso venezolano de la ciencia del suelo. Maracaibo. Versión electrónica. MC12. 1-8 p.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Rev. Facultad de Agronomía. Alcance* N°32. Maracay-Venezuela. 90p.
- Solórzano, P. 2001. Manual para la fertilización de cultivos en Venezuela. Agroisleña (Eds). pp 70-75.
- Wolschick, D., Carlesso, R., Petry, M. e Jadoski, S. 2003. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “el niño”. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:461-468.