

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE DOS VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) SOMETIDAS A EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO

Lenny Meléndez¹, Jon Lisazo² y Ricardo Ramírez³

RESUMEN

Se evaluó la recuperación por efecto de una fertilización nitrogenada, en dos variedades de maíz Agua Blanca (AB) y La Máquina (LM) luego de sufrir un periodo de inundación durante el crecimiento vegetativo. El ensayo se realizó en potes llenos con 10 kg de suelo. Los potes se colocaron en invernadero, dispuestos en un arreglo completamente aleatorizado con tres repeticiones. El tratamiento de inundación se aplicó cuando comenzaba a elongar la sexta hoja verdadera, subiendo la mesa de agua en los potes hasta 5 cm por encima de la superficie del suelo. La inundación se prolongó durante 6 días. Se realizaron tres muestreos destructivos del vástago: antes e inmediatamente después de la inundación y 15 días después del drenaje, donde se determinó la biomasa y nutrientes en el vástago. Como consecuencia de la inundación la biomasa se redujo entre un 20 y 30 %. No se encontró recuperación de la biomasa con la fertilización. Con la inundación las concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg disminuyeron en ambas variedades en 40, 32, 48, 52, y 40 %, respectivamente. Posterior al período de recuperación, el nivel de P no se incrementó; sin embargo, el N y Ca aumentaron sus niveles en 50 y 28%, respectivamente por efecto de la fertilización. Los niveles de Mg se recuperaron igualando al testigo, en tanto que el K se incrementó en 33 %, independiente de la fertilización en AB, no existiendo diferencias en LM. Los aumentos encontrados durante la recuperación se pueden interpretar como una posible recuperación en el crecimiento de las plantas de maíz afectadas por la inundación.

Palabra clave adicionales: Inundación, nutrición mineral, nitrógeno

ABSTRACT

N-Fertilization effect on two varieties of corn (*Zea mays* L.) affected by flooding

After flood, during the vegetative stage, an N-fertilization effect was evaluated associated with the recovering of two varieties of maize Agua Blanca (AB) and La Máquina (LM). Crop was planted in 10 kg pots and placed in a greenhouse on a completely randomized design, with three replications. Water was applied so the water table raised on the pots, up to 5 cm above the soil surface, when the sixth leaf tip (disregarding the cotyledonary leaf) was visible. Flooding was maintained during six days. Three destructive samplings were done: before and after flooding, and 15 days after drainage, where biomass and nutrients were determined. Flooding reduced shoot biomass between 20 and 30%. After drainage N-fertilization did not influence the recover of biomass. With the flood, the concentration of N, P, K, Ca, and Mg was also reduced on both varieties in 40, 32, 48, 52, and 40 %, respectively. After a post-drainage recovering period, P levels did not increase; however, N and Ca levels increased in 50 and 28%, respectively, as an effect of the fertilization. Mg levels recovered equaling the control, while K levels increased 33% in AB, regardless of the fertilization. No differences were found in LM. The increases of N, K, Ca and Mg during the recovering period may be interpreted as a possible growth recovery of the plants affected by the flood.

Additional key words: Maize, flooding, mineral nutrition, nitrogen

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en Venezuela presenta múltiples problemas derivados de la utilización de zonas agroecológicas con diferencias marcadas en cuanto a características físicas y químicas de los

suelos, régimen pluviométrico, altitud y otros factores climáticos.

El maíz es cultivado ampliamente a nivel nacional; sin embargo, más de las tres cuartas partes de la producción se concentra en las regiones agrícolas de los Llanos Occidentales, Centrales y el valle medio del río Yaracuy. En los

Recibido: Enero 26, 2001

Aceptado: Julio 27, 2001

¹ Dpto. de Fitotecnia. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela

² Facultad de Agronomía (FAGRO). Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. Venezuela

³ Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). INIA. Maracay. Venezuela

Llanos Occidentales se presentan suelos pesados, con baja capacidad de infiltración, lo cual genera graves problemas de drenaje interno y externo cuando son afectados por altas precipitaciones, creando en alguna etapas del crecimientos del cultivo de maíz condiciones de exceso de humedad que limitan la difusión de oxígeno hacia la raíz, afectando el crecimiento, desarrollo de las plantas y el rendimiento. En vista de esto, es necesario buscar soluciones que permitan disminuir el efecto desfavorable producido por el exceso de agua en el suelo.

Existen estrategias contrastantes para abordar el problema. Una posibilidad sería manejar el suelo para reducir los efectos del mal drenaje y dentro de esto se pueden mencionar las experiencias para mejorar el drenaje superficial en los Llanos Occidentales con los bancales (Marcano, 2000). Otra posibilidad implicaría mejorar el cultivo para hacerlo tolerante al anegamiento disponiendo de los estudios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para identificar y caracterizar variedades tolerantes. Una combinación de ambas estrategias pareciera ser la vía más promisoría, de mayor impacto en el mediano plazo.

Sin embargo, existen soluciones a corto plazo. Investigadores han encontrado que la aplicación de una fertilización nitrogenada luego de que el maíz ha sufrido un período de inundación, disminuye el efecto negativo de la inundación sobre el rendimiento (Khera y Singh, 1975; Singh et al., 1985; Sandhu et al., 1986).

Shalhevet y Zwerman (1962) estudiaron la importancia de la deficiencia de nitrógeno en el crecimiento del maíz en suelos pobremente drenados, y encontraron que la adición de nitratos en el suelo incrementa el rendimiento en grano significativamente; sin embargo, el rendimiento fue mayor en el maíz sembrado en suelos bien drenados. Ellos explican que el crecimiento de las plantas en suelos pobremente drenados está influenciado por dos factores: el suministro de oxígeno a la raíz y la concentración de nutrientes en el ambiente de la raíz, siendo independientes uno del otro. El rendimiento será incrementado si el suministro de oxígeno a la raíz se incrementa aunque no se aumenten las concentraciones de nutrientes, o viceversa.

La presente investigación estudia el efecto de recuperación que puede tener la fertilización nitrogenada sobre el cultivo del maíz luego de sufrir un período de inundación durante el crecimiento vegetativo. Esto se hizo comparando el comportamiento de las variedades Agua Blanca y La Máquina.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el invernadero del campo experimental del CENIAP, Maracay, en potes de plásticos de 12 litros de capacidad, llenos con 10 Kg de capa superficial de suelo franco arenoso (Cuadro 1). Se realizó una fertilización básica con NPK el cual se mezcló uniformemente con el suelo antes de llenar los potes. Se colocaron cuatro semillas pregerminadas por pote, para luego del cuarto día dejar tres plantas por pote, utilizando como material genético dos variedades de maíz: Agua Blanca (AB), conocida por mostrar buen comportamiento en suelos con drenaje deficiente y La Máquina (LM) que requiere suelos bien drenados.

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas del suelo (0-25 cm)

Características	
pH en agua	6,38
Nitrógeno (mg/kg)	22,4
Fósforo (mg/kg)	9,7
Potasio (mg/kg)	196,4
Calcio (mg/kg)	1.110
Magnesio (mg/kg)	269
Clase textural	Franco arenosa
Da	1,34
Retención de humedad a 0,033 MPa (%)	13,11

Fuente: Laboratorio de Nutrición Mineral del CENIAP

Los tratamientos consistieron en una inundación durante 6 días que se logró subiendo la mesa de agua en los potes a través de un sistema de subirrigación diseñado para tal fin, hasta que el nivel alcanzó unos 5 cm por encima de la superficie del suelo. La inundación se aplicó cuando las plantas de maíz en ambas variedades tenían la 6^{ta} hoja emergida. Al finalizar el período de inundación (48 horas después de drenar el suelo) se aplicaron a los tratamientos inundados 100 mg/kg de N en forma de úrea diluida en agua desmineralizada. Se mantuvieron los

correspondientes testigos sin inundar y sin fertilizar para ambas variedades.

El diseño de experimento usado fue completamente al azar, con arreglo de tratamiento factorial 2^3 , con tres repeticiones.

Para la evaluación se realizaron tres muestreos destructivos del vástago: antes de la inundación, inmediatamente después de la inundación y a los 15 días después del drenaje, donde se determinó el peso seco de las plantas luego de someter las muestras a 70 °C por 48 horas.

Para el análisis químico del vástago de las plantas secas y molidas, la muestra se digirió con H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 al 30 %, a 150 °C por media hora. Transcurrido el tiempo se dejó enfriar y se colocó H_2O_2 y se calentó nuevamente a 200 °C, repitiéndolo hasta clarificar el líquido. Se aforó y de esta solución se tomaron alícuotas para el análisis de nutrimentos.

El nitrógeno se determinó por la metodología del salicilato-nitroprusiato y NaClO (5,2 %) realizándose las lecturas de absorbancia en un fotocolorímetro a 645 nm de longitud de onda.

El fósforo se determinó mediante la metodología de Murphy y Riley (1962) con molibdato de amonio y ácido ascórbico en relación 2:1 y leyendo la absorbancia a 882 nm.

El potasio, calcio y magnesio se determinaron por absorción atómica, añadiendo a 1 ml de solución de extracción, 5 ml de óxido de lantano (1%) y 4 ml de H_2SO_4 (4%).

Los resultados fueron analizados mediante la prueba de F y la separación de medias a través de la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa

Los pesos secos del vástago de las plantas de maíz antes de la inundación fueron similares en ambas variedades (Cuadro 2).

Después de 6 días de inundación la acumulación de biomasa disminuyó significativamente en las plantas inundadas en comparación con las plantas no inundadas. No se encontraron diferencias significativas en el peso seco de las plantas inundadas entre las variedades.

Sin embargo, es posible observar que el peso seco disminuyó un 27% en la variedad La

Máquina, mientras que en la variedad Agua Blanca disminuyó un 16 % (Cuadro 2)

Luego de un período de recuperación de 15 días, continuaron las diferencias entre el peso seco de las plantas inundadas y no inundadas, manteniendo la superioridad las no inundadas. No existieron diferencias significativas entre tratamientos fertilizados y no fertilizados. Similar comportamiento ha sido reportado por otros investigadores (Mukhtar et al., 1990; Polanco y Ramírez, 1993; Grinieva, 1991).

Se ha demostrado que existe una alta relación entre la oxigenación del suelo y el crecimiento y producción de peso seco en las plantas de maíz. En este sentido, Hoehler et al. (1976) señalaron que niveles inadecuados de oxígeno en el suelo reducen la producción de materia seca entre 32 y 47 % en el maíz. En esta investigación se encontró una reducción de hasta 74%. Por otra parte, Ramírez y Rodríguez (1990) encontraron que el peso seco del vástago del maíz se ve fuertemente reducido cuando la tasa de difusión de oxígeno es baja.

Cuadro 2. Biomasa del vástago (g/planta) de plantas de maíz afectadas por un período de inundación durante el crecimiento vegetativo

Tratamiento	Antes de la inundación	Luego de la inundación	Luego de la recuperación
AB no inundado	1,75 a	5,54 a	52,51 a
AB inundado		4,68 b	14,26 b
LM no inundado	1,81 a	4,96 a	53,80 a
LM inundado		3,63 b	13,52 b
VxF			n.s
IxF			n.s
VxIxIxF			n.s

Los tratamientos con diferentes letras en la misma columna presentan diferencias significativas al 5% de probabilidad según la prueba de Duncan. V = Variedad, F= fertilización nitrogenada, I= inundación, n.s= no significativo según la prueba de F al 5%.

La intensidad del efecto de la inundación en los cultivos depende de las especies y variedades. Sin embargo, entre las variedades Agua Blanca y La Máquina no se encontraron diferencias significativas en la producción de peso del vástago

de las plantas afectadas por inundación. Similar respuesta fue reportada por Lizaso (1998), quien al evaluar ambas variedades encontró que la variedad Agua Blanca siempre presentó una mayor proporción de biomasa en el sistema radical, tanto durante la inundación, como después del drenaje.

La causa de la disminución del crecimiento de las plantas bajo condiciones de inundación, se atribuyen principalmente al déficit de oxígeno en el suelo que afecta la respiración de la raíz, y por lo tanto, los procesos metabólicos y el crecimiento (Saglio et al., 1980; Salisbury y Ross, 1992). Además de los efectos directos sobre el crecimiento de la raíz, la aireación deficiente afecta la absorción de agua y nutrientes, el equilibrio hídrico, la fotosíntesis y la susceptibilidad a enfermedades (Kramer, 1989). Sin embargo, se ha encontrado que una fertilización nitrogenada adicional puede reducir el efecto de insuficiencia de aireación (Khera y Singh, 1975; Spek, 1981; Wenkert et al., 1981; Singh et al., 1985; Sandhu et al., 1986; Meyer et al., 1987). Específicamente en este trabajo la fertilización nitrogenada no tuvo efecto sobre la recuperación del peso seco del vástago de las plantas inundadas en las dos variedades utilizadas, posiblemente porque el período de recuperación no fue lo suficientemente largo para detectar cambios en el peso seco, o la fuente de nitrógeno (úrea) bajo las condiciones del ensayo y/o la dosis (100mg/kg N) utilizada no fueron las más apropiadas.

Es importante señalar que en los trabajos realizados anteriormente con fertilización nitrogenada, los resultados fueron satisfactorios cuando se midió el rendimiento en grano del cultivo (Khera y Singh, 1975; Sandhu et al., 1986).

Singh y Singh (1985), trabajando con diferentes dosis y fuentes de nitrógeno, encontraron respuesta positiva de la fertilización sobre el rendimiento de grano en maíz durante dos años de estudio, pero por problemas presentados en el 3^{er} año sólo evaluaron el peso seco al momento de emerger las barbas, y no obtuvieron respuesta satisfactoria sobre la producción de materia seca al fertilizar las plantas afectadas por inundación. Esto en parte explicaría los resultados obtenidos, indicando que la recuperación se

manifiesta con el tiempo y en la producción de granos.

Contenidos de nutrimentos

La concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en el vástago de las plantas de maíz inundadas disminuyó en ambas variedades en comparación con las plantas no inundadas (Cuadro 3). La falta de oxígeno en el suelo afecta la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y hace más disponibles otros como fósforo, hierro y manganeso, pero a pesar de esta disponibilidad, bajo déficit de oxígeno la absorción de nutrimentos disminuye drásticamente en el maíz (Spek, 1981; Spek, 1984 a y b; Wenkert et al., 1981; Lizaso, 1998), ya que se afectan los procesos metabólicos y el crecimiento de la raíz, fotosíntesis y balance hídrico de la planta (Saglio et al., 1980; Kramer, 1989; Salisbury y Ross, 1992).

Posterior al período de recuperación (Cuadro 3), el fósforo no se incrementó a pesar de la fertilización; sin embargo, el nitrógeno y el calcio aumentaron en un 50 y 28 % sus niveles, respectivamente, con relación al testigo por efecto de la fertilización nitrogenada. Los niveles de magnesio se recuperaron en el testigo con la fertilización, en tanto que los de potasio aumentaron en 33% en el cultivar AB, independientemente de la fertilización; no existieron diferencias en LM.

En ensayos a largo plazo se ha encontrado que una alta aplicación de fertilizante nitrogenado alivia el daño causado por inundación (Watson et al., 1976; Shalhevet y Zwerman, 1962; Khera y Singh, 1975; Singh y Singh, 1985; Sandhu et al., 1986; Meyer et al., 1987). Sin embargo, en la mayoría de estos trabajos no se evaluó el comportamiento de los nutrientes bajo estas condiciones. Uno de los pocos fue el trabajo de Sandhu et al. (1986) quienes encontraron que la aplicación suplementaria de nitrógeno a razón de 30 y 60 kg/ha al cultivo de maíz afectado por inundación incrementó la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en la hoja (después de 27 días de recuperación). Similar resultado se encontró en esta investigación para nitrógeno, calcio, magnesio y potasio al evaluar después de la recuperación la concentración de estos elementos en el vástago de las dos variedades de maíz. Con el fósforo no ocurrió igual, ya que no

presentó recuperación con la aplicación del fertilizante. Esto posiblemente porque el período de recuperación fue sólo de 13 días después de la fertilización, mientras que en el trabajo de Sandhu et al. (1986) las evaluaciones se hicieron a los 27 días después de la inundación. Por otra parte, Karlen et al. (1988) mencionan que la mayor acumulación de fósforo ocurre durante la

fecundación y formación del grano, mientras que Fusseder (1984) y Kraus et al. (1987) encontraron que los mayores picos de absorción de este elemento en el maíz se obtienen en los estadios de tercera, quinta y octava hoja. En nuestro trabajo, al realizar los muestreos para el análisis de fósforo luego de la recuperación, las plantas habían desarrollado entre 13 y 16 hojas.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en el vástago de plantas de maíz afectadas por un período de inundación durante el crecimiento vegetativo

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
		<u>Después de la inundación</u>			
No inundado	1,90 a	0,34 a	8,59 a	3.775 a	5620 a
Inundado	1,16 b	0,23 b	4,50 b	1.808 b	3362 b
		<u>Después del período de recuperación</u>			
No inundado, sin fertilizar	0,94 b	0,31 a	5,06 b	2.175 b	4058 b
No inundado, fertilizado	1,41 a	0,31 a	4,71 b	2.608 a	5100 a
Inundado, sin fertilizar	1,02 b	0,24 b	7,08 a	2.266 a	3583 b
Inundado, fertilizado	1,40 a	0,23 b	7,10 a	3.341 a	4108 a

Los tratamientos con diferentes letras dentro de la misma columna presentan diferencias significativas al 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

Es necesario profundizar en la investigación acerca del comportamiento del fósforo bajo estas condiciones, Lizaso (1998) encontró bajos niveles de fósforo en plantas de maíz luego de sufrir un período de inundación durante 6 días e igualmente luego de un período de recuperación de 13 días sin fertilización adicional.

Los aumentos encontrados durante la recuperación en los niveles de nitrógeno, calcio y magnesio en el vástago se pueden interpretar como una posible recuperación en el crecimiento de las plantas de maíz. Es importante continuar evaluando estas variables con períodos de recuperación más prolongados a nivel de campo y/o invernadero, con fertilización donde se combine el nitrógeno y el fósforo, así como fuentes de nitrógeno a base de nitratos.

CONCLUSIONES

La inundación por un período de seis días durante la fase de crecimiento vegetativo, redujo de manera importante el crecimiento de las dos variedades evaluadas. No se encontró recuperación en la biomasa del vástago con la fertilización nitrogenada después del drenaje.

Como consecuencia de la inundación, las plantas de maíz redujeron su capacidad para absorber y/o transportar nutrimentos, disminuyendo así su concentración. Sin embargo, una vez drenado el suelo y con una fertilización nitrogenada se recuperaron los contenidos de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

LITERATURA CITADA

1. Fusseder, A. 1984. Effect of soil type, soil aeration, nitrogen supply and rhizosphere flora on the morphology of the seminal roots system of maize. Horticultural Abstracts N° 307.
2. Grinieva, G. 1991. Physiological and morphological changes in maize plants under various flooding conditions. *In*: B. L. McMichael y H. Persson (eds.). Plant Root and their Environment. Elsevier. Amsterdam. pp. 81-87.
3. Hoehler, T., R. Grathus, H. Schand y K. Egle. 1976. Influence of oxygen on dry matter production and daily changes of CO₂ uptake. *Photosynthetica* 10:59-70.

4. Karlen, D., R. Flannery y E. Sadler. 1988. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. *Agron. J.* 80: 232-242.
5. Khera, K. y N. Singh. 1975. Fertilizer-aeration interaction in maize (*Zea mays* L.) under temporary flooding. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 23(3): 336-343.
6. Kramer, P. 1989. Relaciones Hídricas de Suelo y Planta. Una Síntesis Moderna. Tejada Harla. México.
7. Kraus, M., A. Fusseder y E. Beck. 1987. Developmental and replenishment of the P depletion zone around the primary root of maize during the vegetation period. *Plant and Soil* 101: 247-255.
8. Lizaso, J. 1998. Respuesta de los cultivares de maíz a un período temprano de inundación. Trabajo de Ascenso. Facultad de Agronomía. UCV, Maracay. Edo. Aragua.
9. Marcano, F. 2000. Exceso de agua superficial y prácticas mejoradas del drenaje para la producción del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). VI curso sobre Producción de Maíz. Araure, Edo. Portuguesa. pp. 27-49.
10. Meyer, W., H. Barrs, A. Moiser y, N. Schaefer. 1987. Response of maize to three short-term periods of waterlogging at high and low nitrogen levels on undisturbed and repacked soil. *Irrigation Science* 8: 257-272.
11. Murphy, J. y J. Riley 1962. A modified single solution method soil for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chem. Acta* 27: 31-36.
12. Muktar, S., J. Baker y R. Kanwar. 1990. Corn growth as affected by excess of soil water. *Transaction of the ASAE* 33 (2): 437-442.
13. Polanco, L. y R. Ramírez 1993. Análisis de crecimiento de dos variedades de maíz bajo influencia de déficit de oxígeno en el suelo. *Agron. Trop.* 43 (5-6): 253-266.
14. Ramírez, R. y B. Rodríguez. 1990. Efecto de la tasa de difusión de oxígeno en el suelo sobre la superficie radical y la absorción de nutrientes por el maíz (*Zea mays* L.). *Agron. Trop.* 40(1-3): 57-65.
15. Saglio, P., P. Raymond y A. Pradet. 1980. Metabolic activity and energy charge of excised maize root tips under anoxia. *Plant physiol.* 66:1053-1057.
16. Salisbury, F. y C. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano. México, D. F.
17. Sandhu, B., S. Balwinderjit, S. Baldev y K. Khera. 1986. Maize response to intermittent submergence, straw mulching and supplemental N-fertilization in subtropical region. *Plant and Soil* 96:45-56.
18. Shalhevet, J. y P. Zwerman. 1962. Nitrogen response of corn under variable condition of drainage. A lysimeter study. *Soil Science* 93(2): 172-182.
19. Singh, N., A. Vig y R. Singh. 1985. Nitrogen response of under temporary flooding. *Fertilizer Research* 6:111-120
20. Spek, L. 1981. Influence of nitrate and aeration on growth and chemical composition of *Zea mays* L. *Plant and Soil* 63:115-118
21. Spek, L. 1984a. Response of plants to nitrogen nutrition. I Effects of interruption of the supply and aeration of the nutrient solution on absorption and distribution of nitrogen in maize plant. *Proceedings Konink. Nederland. Akademic Wetensch.* 87(3): 319-326.
22. Spek, L. 1984b. Response of plants to nitrogen nutrition. II. Response of maize plant to interruptions of the nitrogen nutrition and root aeration. *Proceedings Konink. Nederland. Akademic Wetensch.* 87 (3): 327-336.
23. Watson, E., P. Laping y R. Barron. 1976. Effect of waterlogging on the growth, grain and straw yield of wheat, barley an oats. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16:114-22.
24. Wenkert, W., N. Fausey y H. Watters. 1981. Flooding response in *Zea mays* L. *Plant and Soil* 62:315-366.