

Evolución y distribución del nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de maíz (*Zea mays*, L.).

E. Monge¹, J. Val¹ y A. Alvarez²

(1) Departamento de Nutrición Vegetal

(2) Departamento de Genética y Producción Vegetal

Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC). Zaragoza.

Correo electrónico: emonge@eead.csic.es

Palabras clave: maíz, *Zea mays*, fertilización, producción, acumulación materia seca, balance nutrientes.

Resumen

El maíz es un cultivo de gran importancia en numerosas zonas españolas, entre ellas Aragón y según los servicios técnicos hay una superficie sembrada de unas 100.000 hectáreas, lo que convierte a esta Comunidad como la primera región maicera de España. La importancia de este cultivo y sus necesidades en nitrógeno, nutriente de mayor demanda, ocasiona que se realicen abonados nitrogenados en exceso. Al no acumularse este elemento en el suelo, la parte no absorbida por la planta se pierde produciendo contaminación medioambiental. Con el fin de estudiar la cantidad de N que asimila la planta, durante cuánto tiempo y como se distribuye, se diseñó un ensayo, en una parcela de suelo franco-limoso, con un pH 7.3. La variedad sembrada fue el híbrido comercial *Aristis*, con una densidad de 66.500 plantas/ha. El abonado de fondo fue de 600 kg/ha con un complejo 12-24-12, junto con 300 kg/ha de urea. El abonado en cobertera fue de 325 kg/ha de nitrato amónico. El riego fue por inundación, unos 50 l/m², en intervalos de 10-12 días, recibiendo el último el 2 de septiembre. Se recogieron muestras, parte aérea de plantas enteras, desde la siembra, 23 de mayo, hasta la cosecha, 15 de octubre, en intervalos de 12-15 días. Los parámetros que se han analizado han sido peso fresco, seco y nitrógeno y otros elementos de la parte aérea de la planta y de la hoja. Estas determinaciones, que se exponen y discuten han permitido calcular la cantidad de N y otros elementos que se asimila en la parte aérea de la planta, durante cuánto tiempo la planta absorbe, como se distribuye en distintos órganos, la fracción que recupera la planta y, consecuentemente, la eficiencia fisiológica.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es el nutriente que produce una respuesta más evidente en la planta, acelerando su vida vegetativa y su desarrollo e induce generalmente un aumento de la producción, siendo el elemento más rentable en la fertilización agrícola, por lo que suelen aplicarse cantidades superiores a las necesidades, tanto en especies frutales (Legaz y Primo-Millo, 1988) como en otro tipo de cultivos (Wenbaum et al., 1992; Sango et al., 2001, y Alves et al. 2006), sin tener en cuenta la dosis adecuada, su manejo óptimo, ni las repercusiones medioambientales por su uso excesivo. El exceso de abonado nitrogenado ocasiona una serie de consecuencias adversas como es un consumo extra de fertilizantes, con la consiguiente problemática de equilibrio con otros elementos por sinergismo o antagonismo (Bergmann, 1992), alteraciones difícilmente reversibles de las características físicas y químicas del suelo, y contaminación del medio ambiente (Weinbaum, et al., 1992; Balik et al., 2003 y Echeverría y Studdert, 2000).

En cultivos extensivos, el maíz en regadío, la utilización de fertilizantes se suele realizar añadiendo cantidades excesivas y los agricultores siguen las recomendaciones que publican las casas que los elaboran (Compo, Fertiberia, etc.), especialmente de nitrógeno porque estimula la vegetación, el ahijamiento y enriquece los granos. Los abonos utilizados, dependiendo del momento de su utilización, suministran el N en forma de amonio, que se fija al complejo de cambio del suelo, o bajo la forma de nitrato que no es retenido por el complejo de cambio y puede ser absorbido por la planta o ser lavado por el agua de riego o lluvia. Por el contrario, el

ión fosfato es fijado muy fuertemente por adsorción al suelo donde queda retenido sin producirse apenas lavado, situación similar para el potasio que también queda fijado por los coloides, formando diferentes compuestos minerales y orgánicos.

En el ensayo que describimos se ha estudiado la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio que se ha aplicado como fertilizante, su dinámica de absorción por la planta, desde la fase de crecimiento hasta la de maduración y secado, cantidad de nutrientes que permanecen en la parte aérea y su distribución en distintos órganos, hoja, mazorca entera y grano. Estos resultados nos permitirán conocer la eficacia fisiológica de la planta y la cantidad de materia orgánica si se incorpora al suelo al enterrar los tallos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo ha sido realizado en una parcela perteneciente a la finca de la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), correspondiente al término municipal de Montañana, Zaragoza. La semilla utilizada fue el híbrido *Aristis*, utilizando una densidad de plantación de 66.500 pl/ha y obteniéndose una producción de grano de 12.350 kg ha⁻¹.

Fertilizantes utilizados: La parcela se abonó en fondo o sementera con 600 kg de un complejo 12-24-12 UF ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, complementándose con 300 kg ha⁻¹ de urea. Para cobertera se utilizó 325 kg ha⁻¹ de nitrato amónico del 33.5%.

Agua de riego: El riego empleado fue por inundación, con nueve riegos entre el 14 de junio y el 2 de septiembre. Durante el ensayo se analizó seis veces el agua obteniéndose una conductividad media de 0,69 ± 0.14 dSm⁻¹ y 5,22 ± 2.56 mg L⁻¹ de NO₃⁻. Podemos afirmar que a pesar de ser un riego por inundación (unos 50 l/m²), la cantidad de nitrógeno aportado fue de 1.18 mg L⁻¹. Estos datos hacen estimar que con el riego se añadieron aproximadamente 5.5 kg ha⁻¹ de N.

Características del suelo. El suelo se clasificó como franco limoso con el siguiente análisis granulométrico: 30.2% de arena, 41.5 %, de limo y 25.4% de arcilla. Esta textura implica buena capacidad de retención de agua y una elevada capacidad de intercambio catiónico. El pH fue 7.3, determinado en extracto de agua (1:2,5), lo que favorece la disponibilidad de nutrientes como el N, K, S, Ca y Mg. La materia orgánica fue de 2.05 %.

Análisis nutricional. Cada muestra se formó recogiendo cuatro plantas, únicamente la parte aérea, de cada una de las tres repeticiones en que se dividió el ensayo. Las plantas se recolectaban con un volumen y altura similar a las que se les había realizado las determinaciones biométricas.

Planta entera: Las cuatro plantas se metían juntas en bolsas de malla, una vez lavadas con agua desionizada, se secaban en estufa a 45°C, hasta pesada constante. Una vez secas se procedió a su molienda, que se hizo en dos fases. En la primera las plantas se molieron enteras, con un molino TurboMag-B-Funcor, tomándose alícuotas de diferentes partes de esta primera molienda. Esta alícuota fue nuevamente molida con un equipo Frist Pulverifette-15, equipado con un tamiz de malla 1.

Hoja de mazorca: Independientemente de la muestra anterior, de cada bloque se tomaron hojas de la inserción de la mazorca de cuatro plantas, durante la floración. Estas hojas se sometieron al mismo proceso de lavado, secado y molienda para el estudio nutricional del experimento. Las muestras, así obtenidas, se analizaron según los métodos propuestos por Pinta y DeWaele (1975) y la determinación del nitrógeno total se realizó mediante el método Dumas con un analizador elemental de CE Instruments modelo NA 2100.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En la figura 1-A se representa la evolución de crecimiento medio y el número de hojas de las plantas de maíz, desde la fase de crecimiento, primer muestreo a los 17 días de la siembra, hasta la fase de recolección, a los 135 días. Como se puede observar ambas medidas incrementan desde la fase de crecimiento hasta la fase de plena floración, a los 66 días de la siembra, y que en los gráficos está representada por un símbolo o marcador sólido. Según estos gráficos

alrededor de la floración la planta adquiere la máxima evolución de su altura, 200 ± 10 cm. y el número de hojas con 14 ± 1 .

La evolución del peso fresco de la planta se ha representado en la figura 1-B, donde se puede observar un rápido incremento de peso hasta la plena floración a la que sigue otra fase, de unos 60 días, de un ligero incremento, a partir de la cual la planta comienza la fase de secado (Berzsenyi and Lap 2005). El último riego se dió a los 100 días de la siembra y si observamos la gráfica, no se observa con este riego ningún incremento significativo en el contenido de agua durante las tres semanas siguientes a la que sigue una fase de rápido secado hasta que el grano alcanza el grado de humedad previsto, 22°C , para su recolección.

Para estudiar la situación nutricional del ensayo se tomaron hojas de la mazorca, por ser considerada por especialistas como la más sensible a la nutrición, durante la floración. La concentración de los elementos analizados (datos no mostrados), tanto de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) como de micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) se encuentran dentro del rango de suficiencia (Benton et al., 1991 y Bergmann 1992). Estos datos permiten afirmar que el estado nutricional del ensayo era adecuado y no había problemas de antagonismo o de sinergismo. En la figura 2 se muestra la evolución de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, % de la materia seca, de la parte aérea de la planta, donde se observa que la concentración de fósforo, representado por una línea discontinua, tiene poca variación y prácticamente se mantiene constante durante el periodo de tiempo estudiado. Por el contrario el nitrógeno y el potasio, líneas sólidas, comienzan con concentraciones muy altas que disminuyen, según crece la planta, hasta pasados los 100 días, fecha del último riego, en que comienzan a estabilizarse. Estos datos, junto los expuestos por Li et al. (2003), podrían interpretarse por una fuerte absorción del N y K durante las primeras fases de crecimiento y que se va diluyendo según crece la planta. Sin embargo, el fósforo parece que sufre una absorción continua a lo largo de la fase de crecimiento, floración y maduración y que podría estar relacionada con el papel que juega este elemento en la fecundación y el buen desarrollo del grano.

En la figura 3-A hemos representado la distribución de los elementos nutritivos que se aplican con el abonado, en distintos órganos de la planta en la recolección, a los 135 días de la siembra. Las muestras de plantas enteras fueron molidas con sus mazorcas, pero independientemente se procesaron muestras de mazorcas, unas con zuro y otras únicamente el grano. Como se puede observar en el gráfico, la cantidad de nitrógeno es similar en la planta entera que en el grano, disminuyendo en la mazorca entera, debido posiblemente a la composición celulósica del zuro. El grano es más rico en fósforo, tanto en mazorca entera como en su grano, donde parece que hay cierta acumulación, probablemente debido al papel de este elemento en la formación de las mazorcas, por el contrario, el potasio está concentrado en las hojas y tallo de la planta. La composición mineral del tallo está derivando en que en la recolección se deje en el suelo, para su posterior incorporación como materia orgánica y su posterior aprovechamiento nutricional. En el gráfico 3-B se ha representado las cantidades totales de nitrógeno, fósforo y potasio que se ha aportado durante el abonado junto al nitrógeno del riego y las extraídas por la parte aérea de la planta, incluidas las mazorcas, pudiendo apreciar que aproximadamente solo se recupera el 50% del nitrógeno y fósforo aplicados y, sin embargo, el potasio de la parte aérea muestra valores muy superiores al aportado, por lo que la planta ha tenido que extraerlo del suelo. Estos datos indican una falta de potasio en el abonado que no se observó ni en los datos del análisis nutricional de la hoja de la mazorca ni en los síntomas visuales que ocasiona. La falta de este elemento, produce un amarillamiento y necrosis de los bordes de las hojas o también puede producir encamado (Llanos, 1984) por lo que suponemos que el suelo tenía que ser muy rico en este elemento. Como se puede observar según el gráfico, las UF de N y P son excesivas, circunstancia que puede indicar una sobrefertilización de estos dos elementos, que en el caso del nitrógeno puede ocasionar una contaminación atmosférica, por denitrificación, o de las aguas por lixiviación de los nitratos.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en las líneas del Grupo Consolidado de Investigación del Gobierno de Aragón “Alimentos de origen vegetal” y ha sido financiado por los proyectos de investigación del Programa Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias AGL-2004-04305 y AGL2004-06776-C2-01. Los autores agradecen a D^a M^a Ángeles Gracia y a D^a Asunción Costar su colaboración en los trabajos analíticos y de campo.

Referencias

- Alves BJR, Zotarelli L Fernandes FM Heckler JC, de Macedo RAT, Boddey RM Jantalia CP and Urquiaga S 2006 Biological nitrogen fixation and nitrogen fertilizer on the nitrogen balance of soybean, maize and cotton. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41 (3), 449-456.
- Balik J, Cerny J Tlustos P and Zitkova M 2003 Nitrogen balance and mineral nitrogen content in the soil in a long experiment with maize under different systems of N fertilization. *Plant and Soil Environment*, 49 (12), 554-559
- Benton J, Wolf B and Mills HA 1991 *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing. Georgia, USA.
- Bergmann, W. 1992. *Nutritional disorders in plants*. Ed. Gustav Fisher Verlag Jena. ISBN3-334-60422-5
- Berzsenyi Z and Lap DQ 2005 Effect of sowing date, nitrogen fertilization and plant density on the dynamics of dry matter accumulation and yield formation of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Cereal Research Communications*, 33 (1), 85-88
- Echeverría H E and Studdert, G A 2000). *Nutrición Vegetal y sistemas de labranza en maíz*. *Visión Rural* 39. (julio/agosto).
- Legaz F and E. Primo-Millo (1988). *Normas para la fertilización de los agrios*. Serie Fullets Divulgació nº 5-88. Conselleria d'Agricultura i Pesca. Generalitat Valenciana, 29 pp.
- Li WX, Li L Sun JH Zhang FS and Christie P 2003 Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers and intercropping on uptake of nitrogen and phosphorus by wheat, maize, and faba bean. *Journal of Plant Nutrition*, 26 (3), 629-642.
- Llanos Company M 1984. *El maíz, su cultivo y aprovechamiento*. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- Pinta M and DeWaele, G 1975 Etalons végétaux pour l'analyse foliare. En: *Le controle de l'alimentation des plantes cultivées*. De. P. Kozma. Akademiai Kiado. Budapest, pp 159-172.
- Sango L, Ender M Guidolin AF de Almeida ML and Konflanz VA 2001 Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36 (5), 757-764 MAY 2001
- Weinbaum SA, Johnson RS and Dejong TM 1992 Causes and consequences of overfertilisation in orchards. *Horticultural Technology*. 2, 112-120.

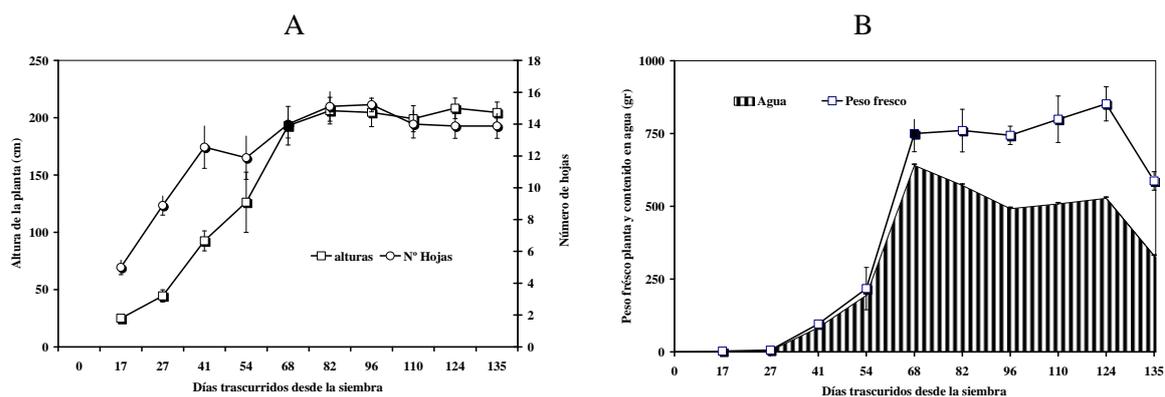


Fig. 1. Evolución de la altura media, del número de hojas, del peso fresco medio y de su contenido en agua en plantas de maíz desde la fase de crecimiento hasta la de secado. El marcador en negro indica la fecha la plena floración.

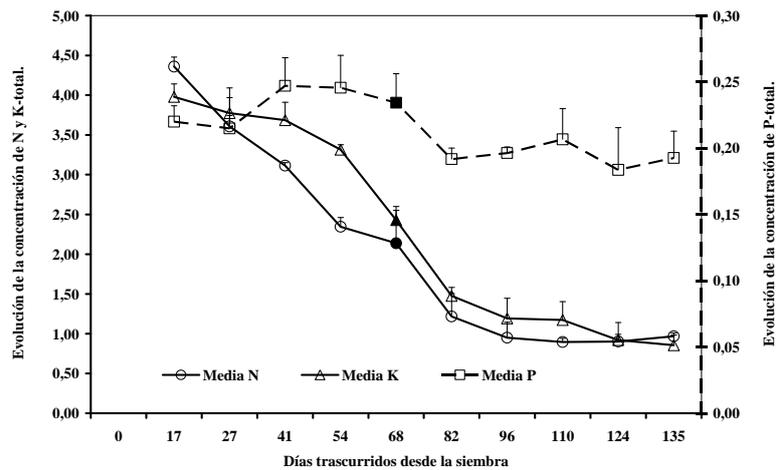


Fig. 2. Evolución de la concentración de nitrógeno, potasio (líneas continuas) y fósforo (línea discontinua) en la parte aérea de planta de maíz desde la fase de crecimiento hasta la de secado. El marcador en negro indica la fecha de plena floración.

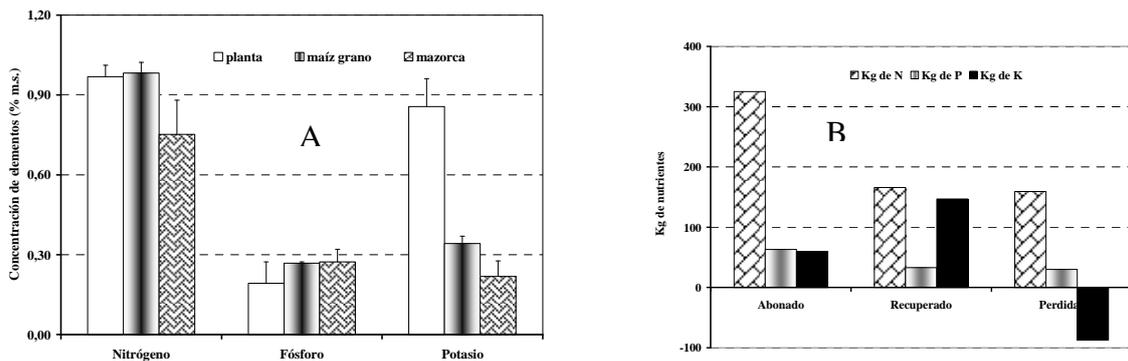


Fig. 3. En la figura A se representa la distribución del nitrógeno, fósforo y potasio, a los 135 días de la siembra, en la parte aérea de la planta, en el grano y en la mazorca, con el zuro, sin las espigas. En la B están representados los Kg. de nitrógeno, fósforo y potasio aplicado con el abonado, el recuperado en la totalidad de la parte aérea en la recolección y las pérdidas debidas a distintos procesos.