

Nutrición y diagnóstico de nitrógeno en girasol

Hernán E. Echeverría

Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias-UNMdP y EEA Balcarce-INTA

Setiembre 2003

Introducción

El nitrógeno (N) tiene un papel fundamental en regular el desarrollo y la duración del área foliar del cultivo de girasol, y con el fósforo, son los elementos que en mayor proporción son exportados con los granos en relación con el total requerido por el cultivo. A pesar de la elevada exportación de N en los granos, la fertilización nitrogenada no constituye una práctica habitual o generalizada en el sudeste bonaerense como ocurre con otros cultivos estivales. Este panorama parecería cambiar en los últimos años fruto de la intensificación de la actividad agrícola y torna relevante analizar los requerimientos y métodos de diagnóstico para determinar el estatus nitrogenado del cultivo de girasol. Por lo tanto, en este trabajo, se analizará la dinámica de la acumulación y partición del N, los requerimientos y los métodos de diagnóstico más difundidos, a fin de lograr una adecuada nutrición nitrogenada del cultivo.

Acumulación y partición de materia seca y nitrógeno

La dinámica de acumulación de N es un elemento relevante a considerar a la hora de definir el momento de fertilización nitrogenada. El girasol es una especie de ciclo estival que, sin limitaciones hídricas y de nutrientes, acumula igual cantidad de materia seca y de nitrógeno (N) que el maíz entre los 25 y 70 días después de la emergencia (Fig. 1).

En general, la demanda de N se encuentra concentrada entre los estadios de R2 y R6, mientras que durante los estadios vegetativos (emergencia a R1) y posteriores a R6 son de escasa magnitud. La acumulación de N entre los estadios de emergencia y R2, entre R2 y R6 y entre R6 y madurez fisiológica fue de 5, 75 y 20 % del N total en planta, respectivamente (Uhart et al. 1998). Entre los 25 y 70 días después de la emergencia, la tasa de acumulación de N llega a $3,7 \pm 0,22$ kg ha⁻¹ d⁻¹. A partir de entonces, la tasa de acumulación de girasol decae y la de maíz se mantiene hasta los 120 días después de la emergencia. De esta forma en condiciones potenciales, el cultivo de girasol puede acumular en todo su ciclo alrededor de 200 kg N ha⁻¹, mientras que el maíz puede superar los 350 kg N ha⁻¹ (Andrade et al., 2000). El mayor requerimiento energético para la síntesis de materia grasa en el girasol, respecto de los hidratos de carbono en maíz, parcialmente explicaría este comportamiento (Díaz Zorita, 2002). Independientemente de la causa, para rendimientos próximos a los potenciales, los requerimientos de N del girasol son claramente inferiores a los del maíz y explican la menor importancia relativa que la práctica de la fertilización nitrogenada ha recibido en este cultivo.

Para rendimientos próximos a los potenciales, la materia seca total acumulada por el cultivo puede llegar a las 15 Mg ha⁻¹ y el rendimiento en grano a 4,4 Mg ha⁻¹, lo que implica un índice de cosecha (IC) del 30 %.

Por su parte de los 200 kg N ha⁻¹ acumulados por el cultivo en su parte aérea, 120 kg N ha⁻¹ se depositan en el grano, por lo que el índice de cosecha de N (ICN) es más elevado (61 %). En síntesis estos resultados señalan que en los rastrojos, se retorna al suelo el 70 % de la materia seca aérea acumulada y solo el 39 % del N acumulado en la parte aérea del cultivo (Andrade et al., 2000).

Requerimiento de nitrógeno

En función de la relación entre el rendimiento en grano y la acumulación de N en la parte aérea del cultivo, es factible determinar el requerimiento de N para producir 1 Mg de grano (Figura 2). La pendiente de dicha relación indica que se requieren 45 kg N en planta entera por Mg⁻¹ de grano producido y considerando el

ICN (61 %), se exportarían 27 kg N por Mg de grano.

El requerimiento de 45 kg N en planta entera por Mg-1 de grano producido correspondería a un contenido de proteínas en el grano de 15 %. Este valor corresponde al promedio de concentración y se ha determinado que el mismo puede variar desde 12 a 18 %, en función de la disponibilidad de N. Cuando la disponibilidad de N aumenta y particularmente en estadios avanzados del cultivo, se incrementará el contenido de proteínas, disminuyendo la concentración de aceite (Figura 3) (Steer et al., 1984; Sosa et al., 1999). Cambios en el contenido de proteína de los granos, afectará significativamente la cantidad de N acumulada en los granos y en la parte aérea o sea los requerimientos (demanda) de N del cultivo (Tabla 1).

Tabla 1: Acumulación de N en parte aérea y grano de girasol por cada Mg de grano producida en función del contenido de proteína.

Proteína (%)	12	14	16	18
N en grano (kg N Mg-1 grano)	21,1	24,6	28,1	31,6
N en parte aérea (kg N Mg-1 grano)	33,4	39,0	44,6	50,1

Diagnóstico de deficiencia de nitrógeno

En la actualidad es posible efectuar el diagnóstico de deficiencias de nitrógeno mediante herramientas con distinto grado de precisión. Las mismas incluyen: la observación de síntomas visuales en el cultivo, el análisis de nitratos en el suelo, el balance de N, los análisis de nitratos en los pecíolos, de N total en planta o clorofila en lámina. Estas metodologías de diagnóstico no son excluyentes, sino que por el contrario, se complementan y permiten efectuar un diagnóstico más preciso del estatus nitrogenado del cultivo.

Los síntomas visuales de deficiencia de N son de suma utilidad en condiciones de campo y requiere cierta experiencia para evitar confundir este efecto con los provocados por fitotoxicidad de herbicidas, enfermedades, etc. Si bien, es una metodología de bajo costo requiere la corroboración de las observaciones empleando análisis de suelo y planta. El N es extremadamente móvil en la planta y en condiciones de deficiencia es traslocado a los órganos más jóvenes de la planta, por lo tanto las hojas inferiores presentan coloración verde pálido que evoluciona a amarillo y por último a necrosis tisular. Las hojas superiores pueden presentar coloración verde pálido. En general, los síntomas son claramente identificados en condiciones de extrema deficiencia, lo que generalmente se produce en estadios avanzados del cultivo y conspira con las posibilidades de ser empleado como metodología de diagnóstico de requerimiento de fertilizantes. A nivel de lote de producción, una forma de mejorar la visualización de los síntomas de deficiencia de N, es por medio de una franja con una dosis de N doble o extra a la empleada en el resto del lote. Esta franja con mayor cantidad de N de la recomendada, permitirá visualizar situaciones en donde la cantidad de N aplicada no fue lo suficiente y eventualmente permitirá realizar una fertilización complementaria de N.

La cantidad de nitrato en el suelo a la siembra es un buen indicador de la disponibilidad de N para el cultivo. Para ello y en función de la movilidad del N, es recomendable la toma de muestras por capas de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, lo que permitirá estimar los kg de N disponibles a la siembra del cultivo. Estudios desarrollados en el sudeste bonaerense muestran que las respuestas a la fertilización no son significativas en condiciones de suelos con más de 50 kg N ha⁻¹ en los 60 cm superficiales (Gonzalez Montaner y Di Napoli, 2002). En el oeste de Buenos Aires (Duarte et al., 1999) observaron respuestas económicas al agregado de urea en más del 90 % de los sitios en los que los suelos presentaban niveles de N menores a 30 kg N ha⁻¹. La cantidad de nitrato en el suelo a la siembra es sin duda un buen punto de partida para el diagnóstico de requerimiento de N.

Si bien la cantidad de nitrato en el suelo a la siembra (N_{in}) del girasol representa una fracción relevante para el cultivo, el aporte por mineralización (N_{min}) durante el ciclo del cultivo no es menos importante, en especial en los suelos del sudeste bonaerense con elevados contenidos de materia orgánica (MO). Ambas fuentes contribuyen a la oferta de N y cuando cubren los requerimientos del cultivo (Req), no es factible esperar respuestas al agregado de N por fertilización. Este método de diagnóstico es generalmente denominado del balance de N (Meisinger, 1984), y la dosis de N a aplicar (N_r) para un rendimiento objetivo (R_{to}) surge de la siguiente ecuación:

$$N_r = [(R_{to} \times Req) - (N_{in} \times e_s) - (N_{min} \times e_m)] / e_r$$

donde: e_s representa la eficiencia para el N inicial a la siembra, e_r la eficiencia del fertilizante y e_m la eficiencia de utilización del N mineralizado. Según esta ecuación, para rendimientos de 2,5 a 3 Mg ha⁻¹ se requieren entre 100 y 150 kg N, los que habitualmente pueden ser cubiertos por la oferta de N ($N_{in} + N_{min}$) de los suelos del sudeste bonaerense con buen contenido de MO y bajo labranza de tipo convencional.

Esta situación ha cambiado en los últimos años, como consecuencia de la intensificación de la actividad agrícola que ha provocado disminuciones en los contenidos de MO de los suelos y por lo tanto en los aportes de N por mineralización. Una situación más grave aún, se plantea en aquellas situaciones en las que se implementó el sistema de siembra directa (SD), el que se caracteriza por una menor oferta de N para los cultivos (Figura 4) (Echeverría y Sainz Rozas, 2001).

La menor oferta de N bajo SD incide en la magnitud de la respuesta a la fertilización nitrogenada. Para las cuatro últimas campañas agrícolas, el promedio de la respuesta al agregado de 55 kg N ha⁻¹ como urea en el ensayo de labranzas de la E. A. INTA de Balcarce, fue de 230 y 500 kg ha⁻¹, bajo LC y SD, respectivamente (Figura 5) (G. Studdert, comunicación personal).

Si bien el método del balance de N es conceptualmente sólido, la información necesaria para aplicarlo generalmente es incompleta, poco confiable o estimada a partir de información parcial, por lo que su aplicación descansa en el conocimiento del sistema del que lo aplica y en la práctica es solo relativamente confiable.

La concentración de nitrato en el jugo de los pecíolos de la última hoja totalmente expandida entre los estados de V4 y V6, ha sido propuesta como una medida del estado nutricional nitrogenado del cultivo (Díaz-Zorita y Duarte, 1998). La concentración de nitrato en planta es un parámetro muy dinámico, por lo que esta evaluación requiere de precauciones en el muestreo evitando tomar las muestras durante el día o en cultivos donde se ha realizado aplicación de herbicidas. Cada muestra debe estar compuesta por al menos 30 pecíolos de distintas plantas y ser tomadas antes de las 8,30 h. Con una prensa, se debe realizar el extracto de la savia y la determinación del contenido de nitratos con el empleo de bandas reactivas específicas y de reflectómetros portátiles. Toda esta operación debe ser realizada en el menor tiempo posible. Según Díaz-Zorita y Duarte (1998), la concentración de nitratos en la savia se asocia a la de nitratos en el suelo y permite identificar cultivos con respuesta a la fertilización nitrogenada (Figura 6). Cuando la concentración de nitratos en los testigos es superior a 3000 mg NO₃⁻ L, se logra en promedio el 90 % del rendimiento del tratamiento fertilizado con urea.

En una red de ensayos de fertilización en la región girasolera, esta variable se asoció pobremente al rendimiento de los testigos ($R^2 = 0,21$) y de manera más aceptable a la respuesta por fertilización nitrogenada ($R^2 = 0,34$) (Barraco, Bono y Quiroga, 2003). Estos resultados cuestionarían la validez del empleo de esta herramienta como único criterio para evaluar el estatus nitrogenado del cultivo de girasol.

El análisis del contenido de N total en planta entera o en una parte específica de la misma como las hojas, también ha sido propuesto como herramienta de diagnóstico del estatus nitrogenado del cultivo que permitiría efectuar

fertilizaciones adicionales para cubrir los requerimientos de los cultivos. La interpretación de los resultados de los análisis foliares de N se pueden realizar en base a el nivel crítico (NC), el rango de suficiencia de nutrientes (RSN) y de la curva de dilución de N. El NC se define como el valor de concentración donde los síntomas de deficiencia de N aparecen o cuando dicha concentración se relaciona con una disminución del 10 % de los rendimientos (Dara et al., 1992). El RSN se define como el rango de concentración entre el NC y el valor por encima del cual se produce toxicidad. Estos sistemas requieren que el valor del análisis foliar sea comparado con el NC o el RSN definidos como umbrales y, determinados en la misma parte de la planta y estadio de crecimiento que la muestra analizada (Jones, 1998). En el caso de girasol, valores de N total en la hoja recientemente expandidas en R1 y R2 de 52 y 33 g kg⁻¹, respectivamente, serían adecuado (Blamey et al., 1997). A su vez el RSN en el estadio de R5 sería de 30 a 50 g kg⁻¹ (Merrien et al., 1986). Esta metodología de diagnóstico ha sido poco utilizada en la práctica por ser muy poco precisa y además porque cuando detecta deficiencias de N, es generalmente tarde para subsanar la deficiencia.

Una mejor utilización de los valores de concentración de N es posible realizar al analizar estos en relación a la acumulación de materia seca del girasol. A medida que los cultivos se desarrollan disminuye la concentración de N en los tejidos, lo que ha permitido definir la denominada curva de dilución de N (Greenwood et al., 1990). Para el girasol Merrien (1993) definió un modelo que describe la concentración de N en planta en función de la biomasa por planta. La misma determina la concentración crítica de N en planta que permite alcanzar al cultivo la máxima tasa de crecimiento. Esta metodología permite identificar situaciones de consumo de lujo de N como así también cuando el cultivo sufre algún tipo de estrés, por lo tanto, la curva de dilución se constituye en un buen estimador de la disponibilidad de N para el cultivo.

En una experiencia de fertilización nitrogenada de dos años realizada en Balcarce bajo LC, en la que no se determinó respuesta al agregado de N, se determinó que la mayoría de los valores experimentales se ubicaron por encima de la curva de dilución (Sosa et al., 1999). En otra experiencia con dosis crecientes de N, bajo LC y SD, solo se determinó respuesta significativa al agregado de N bajo LC (Figura 7). La concentración de N de los tratamientos bajo SD se ubicaron por debajo de la curva de dilución de N (Figura 8), lo que significa que estas plantas poseen un porcentaje de N inferior al necesario para obtener la máxima tasa de crecimiento. Es de destacar que los contenidos de N disponible en suelo (0-60 cm) fueron menores bajo SD que bajo LC (33,4 y 60,8 kg N ha⁻¹, respectivamente) (Redolatti et al., 2000), por lo tanto el N disponible en suelo, detectó anticipadamente la deficiencia de N bajo SD.

Cuando el cultivo posee menos de 1 Mg ha⁻¹ de materia seca o en los estadios reproductivos, la misma no tiene sensibilidad para detectar deficiencias de N (Greenwood et al., 1990). Esto constituye una limitante al empleo de la misma, particularmente al comienzo del ciclo.

A partir del cociente entre la concentración de N en el cultivo, para una acumulación de materia seca determinada, y la concentración crítica es posible determinar el índice de nutrición nitrogenada (INN). Si el INN en el estadio de V6 es inferior al 90 %, es probable determinar respuesta al agregado de N de aproximadamente 10 % en los rendimientos del cultivo (Figura 9)(Duarte et al., 1996).

Los resultados presentados sobre la curva de dilución de N y del INN permiten ser auspiciosos respecto al empleo de esta metodología con fines de caracterizar el estatus nitrogenado del cultivo durante gran parte del ciclo del mismo.

Otra alternativa para estimar la respuesta a la fertilización nitrogenada es el empleo de modelos de regresión múltiple. Esta herramienta se empleó para evaluar una red de 24 ensayos de fertilización en la región girasolera argentina. Se planteó desarrollar un método de diagnóstico de respuesta a la fertilización nitrogenada en 4 a 6 pares de hojas, en base a parámetros edáficos, de cultivo y ambientales. La respuesta a la fertilización en rendimiento en grano o kg ha⁻¹ de aceite se estudió usando modelos de regresión lineal múltiple, con selección de variables por el método del Máximo Incremento del R² y con selección descendente (backward) (Rawlings 1988). Se logró explicar el 63 % del rendimiento en grano de los testigos por variables

relacionadas con el N, la textura y la humedad en el suelo. Un 41 % del incremento de rendimiento por agregado de 80 kg N ha⁻¹ se logró predecir por el N total en suelo y en planta y el jugo de los pecíolos. La introducción de algunas variables como MO joven, la relación de MO total con la textura, el N total en planta y el jugo de los pecíolos mejoran modelos similares propuestos para la región semiárida pampeana (Barraco, Bono y Quiroga, 2003).

Consideraciones finales

El crecimiento del cultivo del girasol está regulado por factores ambientales y de manejo. Una vez cubiertas sus demandas hídricas y ante la aplicación de buenas prácticas de manejo agronómico, la disponibilidad de N y de fósforo son los elementos que con mayor frecuencia limitan el desarrollo del cultivo en el sudeste bonaerense. El girasol, en comparación con otros cultivos, no posee elevados requerimientos de N, no obstante, la demanda del mismo puede no ser cubierta por la oferta desde el sistema suelo y esto es particularmente válido para el sistema de SD. Se han propuesto diversos métodos de diagnóstico y de monitoreo de la nutrición nitrogenada. Entre ellos se destacan: la determinación de la oferta de nitratos en el suelo, el balance de N en el sistema suelo-planta, la evaluación de los contenidos totales de N (planta entera o en algún órgano), de alguna fracción de N en planta (nitratos en el jugo de pecíolos), e inclusive la observación visual del cultivo. Estos métodos han demostrado su validez para diferentes condiciones ambientales, no obstante, los mismos en forma aislada no serían suficientemente confiables y robustos como para su aplicación en forma generalizada. A fin de garantizar la nutrición nitrogenada del cultivo, la estrategia más adecuada sería la aplicación combinada de varias de estas técnicas.