

EFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA BIOLOGÍA FLORAL EN MAÍZ

El maíz es el principal cereal producido a nivel mundial (ocupa el primer lugar con una producción aproximada de 700 millones de toneladas) superando al arroz y al trigo y se emplea principalmente en la alimentación animal y humana.

La agricultura sostenible tiene como objetivos satisfacer de manera continua y rentable las demandas de alimentos de la sociedad y hacer un uso eficiente y seguro de los recursos naturales y de los insumos externos. El sistema de siembra directa es una de las tecnologías a las que acudió el productor argentino en la búsqueda de mejorar la producción de manera sostenible. Sobre esta técnica se mencionan como efectos favorables en el corto plazo la disponibilidad de nitrógeno y su reflejo en el rendimiento de los cultivos siguientes en la rotación. En el largo plazo se esperan cambios en los contenidos totales de materia orgánica del suelo, con consecuencias que excedan largamente el rendimiento de los cultivos en la rotación, influyendo sobre la sostenibilidad del sistema de producción.

Es necesario el conocimiento de los procesos y los mecanismos determinantes del crecimiento y del rendimiento de los cultivos en nuestros ambientes para aumentar la producción de manera sostenible, ya que nos orienta en la elección de prácticas de manejo más apropiadas, nos brinda información para un manejo eficiente y adecuado de los insumos, y guía al mejorador en la selección de genotipos.

La biología floral del maíz tiene características distintivas que implican que el periodo alrededor de la floración sea considerado un momento crítico para la determinación del rendimiento.

Una vez producida la emergencia total de la panoja ocurre la antesis; la

liberación del polen es progresiva comenzando en el eje principal y finalizando en las ramificaciones de la panoja. La floración femenina, por su parte, consiste en la emergencia de los estigmas fuera de las envolturas de las chalas, evento que también es en forma progresiva. La receptividad de los estigmas decae marcadamente a partir de los 7 días de su aparición, tornándose nula a los 14 días de su emergencia. El período de emisión de polen y de aparición de estigmas en el cultivo se extiende por algunos días. A causa de la dominancia apical se establece un desfase entre el inicio de la floración masculina y femenina, que provoca la anticipación de la liberación de polen con respecto a la emergencia de los estigmas. Este fenómeno se denomina protandria. Esta diferencia de días en la década del 80 era de unos 5 o 6 días aproximadamente, en la actualidad se estima que la duración del mismo solo es de 1 o 2 días.

Las situaciones de estrés, como por ejemplo el déficit nutricional, el déficit hídrico o las altas temperaturas, pueden adelantar ligeramente la liberación de polen y provocar un importante retraso en la floración femenina, debido a que la partición de asimilados hacia la espiga se reduce a medida que la tasa de crecimiento disminuye, afectando el número final de granos por espiga.

En el Campo Experimental Villarino de la FCA-UNR sembramos el híbrido DK 752 (ciclo completo) el 26 de septiembre de 2005 para medir cómo diferentes niveles de fertilización nitrogenada, combinadas con dos sistemas de labranza (labranza vertical y siembra directa), afectan la manifestación de la protandria en maíz, y en consecuencia el rendimiento (número de granos) del cultivo. El lote provino de una rotación maíz-soja-trigo/soja; la densidad buscada fue de 67.000 plantas por hectárea

con una separación entre surcos de 0,52 m. Los niveles de fertilización nitrogenada que utilizamos fueron: N₀: testigo; N₆₀: 60 kg ha⁻¹ N y N₁₂₀: 120 kg ha⁻¹ N y la fuente de nitrógeno fue urea (46-0-0). La aplicamos al voleo cuando el cultivo presentaba 5 a 6 hojas (estado V_{5,6} según la escala de Ritchie et al., 1989). El diseño que utilizamos fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones bajo siembra directa y labranza vertical (SD y LV). El tamaño de la unidad experimental fue de siete surcos con un largo de 15 m. Realizamos el conteo de las plantas existentes en los dos surcos centrales de cada unidad experimental en una extensión de 7,5 m y luego hicimos el seguimiento de las plantas que comenzaban la liberación de polen y de las plantas en las cuales emergían los estigmas. Las mediciones las llevamos a cabo a partir del 17 de diciembre del 2005 y culminamos cuando las panojas de las plantas finalizaron la liberación de polen y todas las espigas presentaban estigmas emergidos.

Muchos trabajos muestran la importancia que tienen las precipitaciones cuando ocurren en momentos cercanos a la floración. Rosso et al., (1987) (citado por Pedrol, et al., 2004) encontraron para la localidad de Oliveros una alta asociación (r²: 0,94) entre lluvias de diciembre y enero con los rendimientos de maíz. Se estima que las necesidades de agua en maíz oscilan entre 500 y 600 mm, dependiendo de la fecha de siembra, ciclo del cultivar y condiciones climáticas del año. Aproximadamente 200 mm son requeridos en el periodo crítico.

En Zavalla, las precipitaciones entre emergencia y madurez fisiológica fueron de aproximadamente 350 mm, de los cuales 22 mm ocurrieron durante el periodo crítico. Observamos varios periodos con deficiencias. Durante octubre y noviembre el déficit

afectó el crecimiento, registrándose plantas con menor expansión de las hojas y menor altura final. En diciembre el déficit hídrico causó un retraso en la emergencia de los estigmas a través de las envolturas de las chalas por una reducción directa en el ritmo de crecimiento de los estigmas. Este retraso podría ser causado por una reducción en la partición de asimilados a la espiga. La polinización de los estigmas emergidos tardíamente en plantas estresadas puede fracasar pues el polen no puede rehidratarse para su posterior germinación. El déficit hídrico continuó hasta mediados de enero, provocando un aumento en el aborto de granos fecundados, lo que se puede explicar por dos tipos de mecanismos. Por un lado, la disminución en el suministro de sacarosa a los granos por reducción de la fotosíntesis, y por otro, una disminución en la actividad de los granos como destinos metabólicos asociado a un bajo potencial agua.

Las precipitaciones que se presentaron a partir de mediados de enero, de alrededor de 80 mm, favorecieron el llenado de los granos, aunque no en niveles importantes por las altas temperaturas (máximas diarias de 30 a 35 °C durante el período de crecimiento lineal del grano) que provocaron un acortamiento en su duración. La tasa de crecimiento del cultivo es máxima cuando las temperaturas se encuentran entre 28 a 31 °C si no hay restricciones de otros recursos. Las temperaturas medias se mantuvieron por debajo de ese rango, aunque las máximas llegaron en la segunda quincena de diciembre y la primera quincena de enero a superar ampliamente los 31 °C.

Luego de la emergencia de la plántula, el meristema se encuentra ligeramente por debajo de la superficie del suelo. Debido a esto la velocidad de aparición de las hojas es afectada por el ambiente aéreo y

también por el ambiente edáfico, al menos hasta que los entrenudos comienzan a elongarse y el ápice se eleva por encima de la superficie del suelo. Lo que permite explicar porque en los tratamientos bajo SD se observó un retraso en la entrada a floración, de aproximadamente tres días, a pesar de haber sido sembrados en la misma fecha que los tratamientos bajo LV, a causa de una prolongación de la duración de las primeras etapas del período vegetativo. También puede explicarse la menor sincronía floral, por el mayor retraso en la emergencia y la menor tasa en el crecimiento de los estigmas en SD con respecto a los tratamientos bajo LV. Al prologarse la etapa de floración en un ambiente no propicio, la SD fue más afectada por las altas temperaturas y la intensa sequía.

En SD los tratamientos fertilizados presentaron una mayor homogeneidad en la proporción de plantas por día que inician la liberación de polen. En este sistema la mayor competencia entre plantas por una menor disponibilidad de nitrógeno en el tratamiento N_0 produjo una menor velocidad en la cantidad de plantas por día que liberaban polen. En los tratamientos bajo LV las diferencias expresadas entre los diferentes niveles de fertilización (N_0 , N_{60} y N_{120}) fueron menos notorias que en SD. También se produjo un adelantamiento en la liberación de polen en el tratamiento N_{60} con respecto a las dosis mayores.

La liberación de polen en los tratamientos bajo la LV comenzó antes y fue más acotada en el tiempo. Esto nos permite deducir que, a pesar de que la SD presenta una mejor conservación de humedad en el perfil, estos tratamientos fueron los más afectados por las condiciones ambientales adversas existentes para esa fecha.

La emergencia de estigmas adoptó una curva menos sigmoide (más lineal) en los tratamientos fertilizados, con mayores tasas iniciales de crecimiento y emergencia de estigmas. En los tratamientos bajo LV se observa el mismo comportamiento que en SD, pero si comparamos los dos sistemas de labranza, la LV comenzó antes la emergencia de estigmas, con mayores tasas y la completó antes.

En los tratamientos bajo LV la floración se concentró en un menor tiempo, hubo mayor sincronía entre liberación de polen y emergencia de los estigmas, y una menor diferencia entre los niveles de fertilización con respecto a la SD. El mejor comportamiento del cultivo en su biología floral fue en los tratamientos con 60 kg ha⁻¹ N.

Una buena disponibilidad de nitrógeno, especialmente desde los momentos en que este nutriente es requerido en altas cantidades (V_6) asegura: un buen crecimiento foliar que posibilita al cultivo alcanzar rápidamente y mantener el Índice de Área Foliar crítico y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa durante el ciclo. Esto garantiza un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del número de granos y el peso durante el período de llenado.

Los requerimientos nutricionales de las estructuras reproductivas durante el período de llenado son satisfechos por la absorción de nutrientes durante este período y por la removilización de los mismos desde las estructuras vegetativas.

La respuesta a la disponibilidad de N (como suma de NO_3^- del suelo y N agregado como fertilizante) varía en relación con la disponibilidad hídrica. La respuesta promedio es mayor cuando los niveles de fertilización nitrogenada son más altos, cuando el suelo tiene una buena disponibilidad

hídrica desde la siembra, presentándose un umbral cercano a los 135 kg ha⁻¹ N (para la zona sur de Santa Fe) a partir del cual no se observan mayores incrementos en el rendimiento. A medida que empeora la disponibilidad hídrica el valor de los umbrales a partir de los cuales no hay respuesta al N se reduce.

Las menores respuestas corresponden siempre a condiciones de perfil seco. La falta de agua afecta tanto la demanda de nutrientes por el cultivo como la oferta de dichos nutrientes por parte del suelo. Una sequía en floración, reduce más la demanda que la oferta, por lo que la respuesta a la fertilización disminuye.

Las menores respuestas a fertilizaciones nitrogenadas con niveles de 120 kg ha⁻¹ N, pudieron deberse a que bajo las situaciones hídricas existentes, esas dosis de nitrógeno se convirtieron en excesivas, reduciendo mucho el potencial agua en el suelo e intensificando así la dificultad de la planta para extraer agua. De esta

manera el estado hídrico general de la planta empeoró y afectó la biología floral.

El período de producción de polen fue de alrededor de 11-12 días en los tratamientos bajo LV y de 15 días en los tratamientos bajo SD, en los cuales éste comenzó dos días después que en la LV. Esto nos permite deducir que, a pesar de que la SD presenta una mejor conservación de humedad en el perfil, en estos tratamientos se intensificó la competencia entre plantas por la humedad edáfica. En cambio en los tratamientos bajo LV la floración se concretó en un menor tiempo. Observamos que el mejoramiento genético ha llevado a lograr una gran sincronía floral a pesar de la existencia de condiciones de estrés, ya que en términos generales no se presentó protandria. No vimos grandes diferencias entre los distintos niveles de fertilización (el mejor comportamiento se observó con niveles de 60 kg ha⁻¹ N), principalmente en los tratamientos bajo LV. En general la sincronía en los trata-

mientos bajo SD fueron menores a los de LV, ya que al prolongarse la floración en un ambiente no propicio, la SD fue más afectada por las altas temperaturas y la intensa sequía.

El rendimiento fue afectado por estas condiciones ambientales adversas fundamentalmente en el componente número de granos ha⁻¹, ya que, las precipitaciones que se presentaron a partir de mediados de enero favorecieron el proceso de llenado de granos. La respuesta a la fertilización en términos de rendimientos fue atípica, observándose un aumento en el rendimiento hasta dosis de 60 kg ha⁻¹ N y después una caída con dosis de 120 kg ha⁻¹ N. Esto podría deberse a que bajo las condiciones hídricas existentes, las dosis de 120 kg ha⁻¹ N se convirtieron en excesivas, reduciendo mucho el potencial agua del suelo e intensificándose así la dificultad de la planta para extraer agua del mismo. De esta manera el estado hídrico general de la planta empeoró y afectó el número de granos que esta pudo fijar.

Consulte la bibliografía de este artículo en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/20/14AM20.htm>

El sistema de labranza y la fertilización nitrogenada: ¿cómo afectan la producción de materia seca y el rendimiento en el cultivo de maíz?

Ing. Agr. Santiago Papucci; Ing. Agr. (MSc) Alicia González
Ing. Agr. Mabel Cruciani; Ing. Agr. Alfredo Ausilio
Ing. Agr. Gustavo Magra; Ing. Agr. (MSc) Hugo Pedrol

Algunas de las preguntas que nos hacemos al observar el auge de la siembra directa son ¿El uso de esta técnica produce cambios en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo? ¿Esta técnica compacta el suelo? Si fuese así ¿cómo afecta al crecimiento del cultivo de maíz? ¿Estos cambios se traducen en un mayor rendimiento?

Se sabe que las labranzas afectan el contenido de nitrógeno (N) en el suelo ya que actúan de diferente manera sobre los procesos físicos, químicos y biológicos. La siembra directa (SD) disminuye la disponibilidad de N para los cultivos debido a la potencialmente mayor inmovilización (Fox y Bandel, 1986). Asimismo reduce la degradación del suelo pero también en algunos casos puede conducir a un exceso de compactación (NeSmith et al., 1987; Hammel, 1989).

Para responder estas preguntas realizamos otro ensayo en el Campo Experimental Villarino durante las campañas 2001/02 y 2002/03. Sembramos el híbrido Dekalb 752 MG de ciclo completo en un lote que presentaba una rotación trigo/soja, maíz y soja. La mitad de la superficie estuvo trabajada con cincel (LV) y la otra mitad no estuvo laboreada (SD). Cuando el cultivo tenía ocho hojas totalmente expandidas (estado V₈ según la escala de Ritchie et al., 1989) fertilizamos manualmente con 60 kg de N/ha y 120 kg de N/ha y dejamos una parte del lote sin fertilizar (testigo). En la campaña 2002/03, cuando el grano se encontraba en estado lechoso (estado R₃ según la escala de Ritchie et al., 1989) medimos la densidad aparente en los

primeros 16 cm de suelo, además determinamos el contenido de nitratos en dos profundidades 0-20 cm y 20-40 cm. En floración femenina y a cosecha medimos los kg de materia seca producida por el cultivo. También determinamos el número final de plantas por hectárea, el número y la producción por espiga, el rendimiento, el peso de mil granos y la humedad.

Condiciones climáticas

Las dos campañas presentaron condiciones de temperatura y precipitaciones muy diferentes. En el primer año las temperaturas y precipitaciones fueron inferiores al promedio de la zona durante la floración del maíz, mientras que en el segundo año ocurrió lo contrario. Estas condiciones climáticas permitieron que el contenido de nitratos fuera más alto en la campaña 2002/03.

Contenido de nitratos y densidad del suelo

En la campaña 2001/02 el contenido de nitratos en los primeros 20 cm de suelo fue mayor bajo LV y cuando se aplicaron 120 kg

de N/ha. La concentración de nitratos, entre los 20-40 cm de suelo, varió según la dosis de N aplicada y la labranza utilizada. En el año 2002/03 el contenido de nitratos en superficie (hasta los 20 cm) fue más alto en LV y cuando aplicamos N. El contenido de nitratos en profundidad fue más alto bajo LV y la compactación del suelo en los primeros 8 cm de la capa arable fue mayor en SD.

Materia seca aérea, rendimiento y sus componentes

En la campaña 2001/02, el cultivo produjo más kg de materia seca en madurez comercial cuando aplicamos N. En el segundo año, el cultivo produjo más kg de materia seca por hectárea en floración bajo LV y con N. En madurez comercial la tendencia fue la misma. La producción de materia seca varió según la labranza utilizada. El rendimiento del cultivo y sus componentes (número de granos por espiga y peso de granos), en ambos años, fueron mayores en LV (gráfico 1) y con incrementos en la dosis de N (gráfico 2). Esto es comprensible ya que el resultado de un cultivo es consecuencia de las interacciones de un gran número de factores, que son afectados por el sistema de labranza y además están influenciados por las condiciones climáticas, suelo, rotaciones, etc.

Gráfico 1: Rendimiento según Sistema de Labranza

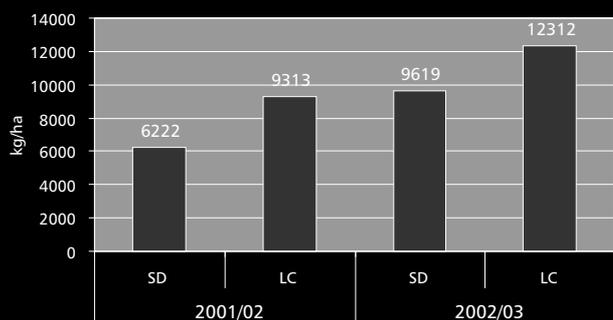


Gráfico 2: Rendimiento según dosis de nitrógeno

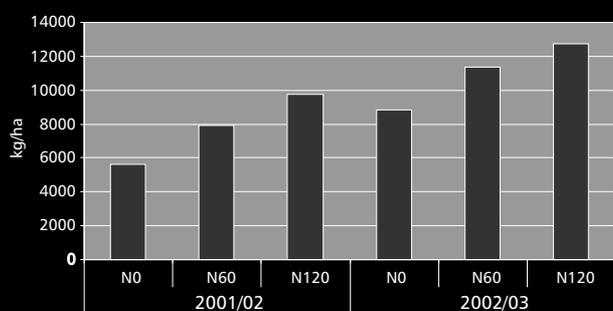
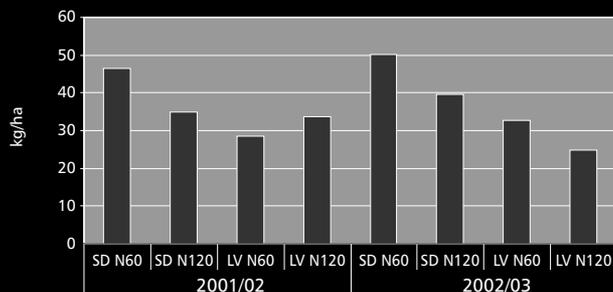


Gráfico 3: Eficiencia en el uso del nitrógeno



Relación entre contenidos de nitratos, densidad, rendimiento y sus componentes

A medida que aumenta el contenido de nitratos en el suelo, el rendimiento y sus componentes también lo hacen. En la campaña 2001/02 encontramos una asociación positiva entre rendimiento ($r^2 = 0,85$), número de granos por espiga ($r^2 = 0,74$), peso de los granos ($r^2 = 0,85$) y el peso de la espiga ($r^2 = 0,79$) con el contenido de nitratos. En la campaña 2002/03 observamos una asociación positiva entre el contenido de nitratos (tanto en superficie como en profundidad) y el número de espigas por planta, el número de granos por espiga, el rendimiento, el peso de los granos y la producción por espiga. En las dos campañas los mayores rendimientos los obtuvimos bajo LV.

En la campaña 2002/03 observamos valores más altos de densidad aparente (medida de compactación de suelo) en SD que en LV que corrobora lo encontrado por NeSmith et al. 1987; Hammel, 1989 y Oussible et al. 1992 que atribuyeron los menores rendimientos a la mayor compactación. Sin embargo otros autores no hallaron diferencias entre los distintos sistemas de labranzas (Hill et al., 1985 y Chang et al., 1989). En este ensayo, hallamos una asociación negativa entre la densidad aparente en los primeros centímetros de suelo y el rendimiento ($r^2 = -0,43$), el número de espigas por planta ($r^2 = -0,41$), el peso de granos ($r^2 = -0,44$) y el peso de la espiga ($r^2 = -0,42$).

Eficiencia en el uso del nitrógeno del fertilizante

La eficiencia en el uso del nitrógeno (EfN) del fertilizante la determinamos dividiendo los kg de grano obtenidos por los kg de nitrógeno utilizado. Si bien cuando se laboreó el suelo obtuvimos mayores rendimientos la EfN fue superior en la SD para ambos niveles de N y ambos años (gráfico 3) coincidiendo con lo reportado por Galarza C. y colaboradores (1998).

Conclusiones

Los sistemas de labranza y la fertilización nitrogenada afectan la producción de biomasa y el rendimiento, modificando sus componentes numéricos. El laboreo del suelo con cincel y la aplicación de N incrementan la producción por espiga y el número de granos por espiga. La siembra directa mejora la eficiencia en el uso del N del fertilizante.

Consulte la bibliografía de este artículo en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/20/14aAM20.htm>