Boletín Técnico Pioneer

Rendimiento del grano del Maíz en relación al estrés durante las distintas etapas de desarrollo

RESUMEN

- *El tamaño, la ubicación y la cantidad de granos de la espiga, así como también el peso de los mismos indica cuándo la espiga estuvo sujeta a un estrés ambiental y la severidad del mismo.*
- *El número de hileras que tendrá la espiga principal se determina durante etapas vegetativas tempranas (aproximadamente V8).*
- *El número de óvulos por hilera se determina en etapas vegetativas posteriores (V12-V14 aproximadamente).*
- *Las máximas caídas de rendimiento ante un estrés se producen alrededor del período de floración.*
- *El período de llenado de granos tiene una importancia relativa mayor en los maíces modernos debido al mayor potencial de rendimiento.*

Introducción

Un estrés ambiental afectará el rendimiento del maíz de manera diferente dependiendo de su intensidad y del momento de ocurrencia en relación al desarrollo del cultivo. En este artículo se presentan los componentes del rendimiento que se determinan en las diferentes etapas de desarrollo del maíz, y cómo un estrés puede afectar los mismos. De esta manera, la observación de las espigas de maíz permitiría realizar un diagnóstico tentativo respecto del momento de ocurrencia del estrés. Los estadíos de desarrollo de maíz usados en este artículo están basados en el artículo "Cómo se desarrolla una planta de maíz" (Ritchie et al., 1997).

Estrés ambiental durante la etapa de determinación de granos potenciales

La planta de maíz determina un número máximo de hileras de la espiga aproximadamente entre los estadios de V5 a V8. La Figura 1 muestra una foto de la espiga de maíz desarrollándose en el estadio de V9.

El domo meristemático está presente en la punta de la espiga, indicando que el desarrollo de la espiga está aún produciendo nuevas hileras de óvulos a lo largo de ésta. Los dos tercios superiores muestran una serie de hileras simples de óvulos desarrollándose. Esos óvulos eventualmente se dividen y producen pares de hileras desde cada hilera simple. Esa formación de a pares es visible cerca de la base de la espiga. Esta división explica por qué la espiga de maíz siempre tiene un número par de hileras.

El lugar donde se inserta la espiga primaria en maíces templados argentinos varía con el genotipo localizándose normalmente en los nudos 13 a 15.

El nudo de la espiga primaria es un excelente punto de referencia para determinar cuando comenzó la diferenciación de la espiga. Una guía general es determinar el nudo que contiene a la espiga primaria, y luego restarle siete. Ese estado vegetativo es aproximadamente cuando el número de hileras de la espiga está comenzando a establecerse. Por ejemplo, la espiga primaria de la Figura 1 está en el nudo 14, entonces, el número de hileras de granos alrededor de la espiga comenzó a establecerse muy cerca del estadio V7.

La Figura 2 muestra una espiga cosechada en el estadío V12. El domo meristemático no está presente, lo que indica que la formación de nuevos óvulos ha cesado quedando establecido el número potencial de granos de esa espiga. La formación de los pares de óvulos es visible a lo largo de toda la espiga.

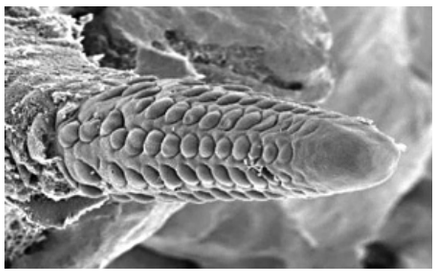

Figura 1. Desarrollo de la espiga primaria, nudo 14 (domo ~ 400 µm). Cortesía de Dr. Antonio Perdomo, Pioneer Hi-Bred.

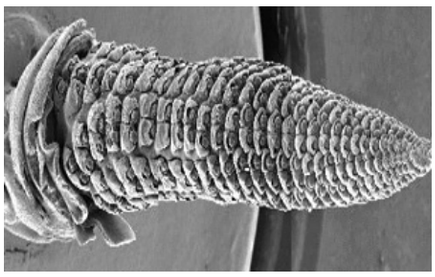

Figura 2. Desarrollo de la espiga primaria en planta en V12. Cortesía de Dr. Antonio Perdomo, Pioneer Hi-Bred

Herbicidas inhibidores de la división celular, como las sulfonilureas, pueden afectar sustancialmente la espiga en formación cuando se las aplica durante la formación de los óvulos. Para la mayoría de los maíces, esto es mientras la planta está entre V7 y V10. Las plantas de maíz deben metabolizar esos herbicidas para la seguridad del cultivo. Si la metabolización es incompleta y suficiente ingrediente activo del herbicida es traslocado a la espiga en desarrollo, la formación de los óvulos puede ser inhibida. Tal inhibición podría detener a los óvulos en el estadio del desarrollo de hileras simples a dobles hileras. Cuando esto ocurre, la espiga de maíz muestra un abrupto cambio en el número de hileras (Figura 3).

Figura 3. Espiga con síntomas de aplicación de sulfonilureas durante la etapa de formación de la espiga.

La variación en el número de hileras por factores ambientales es de escasa magnitud (Bonhome et al., 1984). Tampoco existe un importante efecto ambiental o de manejo sobre el número de óvulos por hilera (Andrade et al., 1996). La producción de óvulos (granos potenciales) tiene un costo energético relativamente bajo para la planta por lo cual estreses ocurridos durante las etapas vegetativas provocan, por lo general, caídas de rendimiento de menor magnitud que si el mismo estrés ocurre alrededor de floración.

Estrés ambiental alrededor de la floración

Polinización y fertilización

La exitosa fertilización de los óvulos maduros requiere de polen viable que aterrice sobre estigmas receptivos.

Existen dos partes básicas en el proceso de polinización. Primero, polen viable debe caer en los estigmas receptivos y, segundo las barbas deben sostener la formación de los tubos polínicos que permitan que las gametas masculinas se unan a las gametas femeninas dentro del óvulo. Una larga porción de polen maduro es usualmente liberado de las anteras del maíz a media mañana dependiendo de las condiciones ambientales (la apertura de las anteras ocurre una vez que éstas no poseen agua libre debido al rocío). Se necesita un mínimo de 100 granos de polen por centímetro cuadrado por día para una exitosa polinización en un campo de maíz. El polen puede perder viabilidad en unos pocos minutos si la temperatura del aire es muy alta (aproximadamente 40°C), y/o si la demanda evaporativa (déficit de presión de vapor) es muy alta. Los granos de polen contienen cerca de 60% de agua cuando son liberados y mueren si su contenido de agua desciende hasta aproximadamente 30% (Fonseca y Westgate, 2005).

Debido al momento del día en que la mayor parte del polen es liberado, cuando en general la demanda evaporativa no es aún demasiado alta, existe la posibilidad de que la fertilización exitosa se produzca incluso en días con temperaturas máximas altas (Astini, J. P.; comunicación personal).

La segunda parte de una fertilización exitosa es la formación del tubo polínico (Figura 4) y la deposición de las gametas masculinas dentro del óvulo. Este proceso depende fuertemente de la parte femenina de la planta, ya que los estigmas son quienes aportan todos los nutrientes y agua necesarios para el crecimiento del tubo polínico.

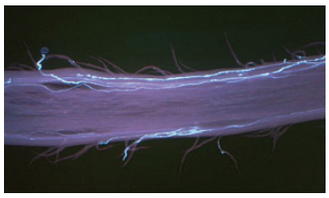

Figura 4. Tubos polínicos creciendo a lo largo del tejido vascular de las barbas. Cortesía de Dr. Antonio Perdomo, Pioneer Hi-Bred.

Dependiendo de la disponibilidad de agua y las condiciones ambientales, tomará desde sólo unas pocas horas hasta aproximadamente un día para que los tubos polínicos crezcan todo su camino hasta los óvulos. Cuando la planta de maíz se encuentra bajo condiciones severas de estrés por sequía, el crecimiento del tubo polínico es más lento y el potencial para una fertilización exitosa decrece. Debido a que el número de granos por unidad de superficie está fuertemente asociado al rendimiento en grano, el estrés alrededor de floración genera las más importantes caídas de rendimiento. Es por ello que a este período alrededor de floración se lo conoce como período crítico para la determinación del rendimiento.

Un estrés hídrico severo desde el fin de la etapa vegetativa en adelante puede generar un incremento en el intervalo entre la emisión de polen (floración masculina) y la aparición de estigmas (floración femenina). Esto puede generar que al momento de la aparición de los estigmas ya no haya polen en abundancia dando lugar a una polinización incompleta de las espigas (Figura 5). Los óvulos no fertilizados comienzan a desintegrarse y desaparecen antes de que la espiga alcance la madurez fisiológica.

Figura 5. Espiga de maíz mostrando una fertilización incompleta debido a la falta de sincronía entre la emisión de polen y la aparición de estigmas.

Fijación de granos fertilizados

La fertilización exitosa del óvulo no asegura el logro de un grano cosechable. El número final de granos que posea la espiga será determinado en posfloración. El aborto de granos fertilizados puede continuar hasta dos o tres semanas después de la floración (Cirilo y Andrade, 1994).

Todos los granos se adhieren a la mazorca (Figura 6) y compiten por el agua y los nutrientes disponibles. Sólo viven aquellos granos que reciben abundante humedad y nutrientes.

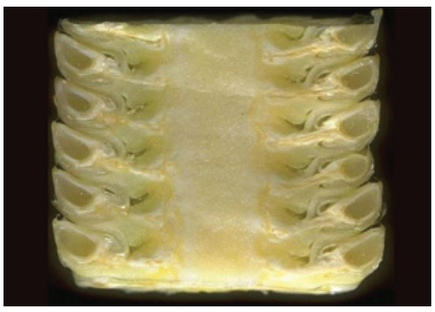

Figura 6. Granos "conectados" a la mazorca.

La proporción de granos fijados (viables) en relación al número de óvulos depende de la tasa de crecimiento de la planta alrededor de floración (Andrade et al., 1999). Cuanto mayor sea el estrés, menor será la tasa de crecimiento de la planta y, por lo tanto, menor el número de granos fijados llegando, en casos extremos, a la esterilidad total de la planta.

Cuando se presenta un estrés, los granos de la punta de la espiga, por ser los más jóvenes, se encuentran en desventaja competitiva y son, por lo general, los primeros en abortar. Dependiendo de la severidad del estrés, el aborto de los granos de la punta continuará hasta quedar determinado el número final de granos a los que la planta de maíz tiene la habilidad de suministrar adecuadamente agua y nutrientes (Figura 7).

El patrón de falta de granos cosechables de una espiga permitirá determinar si la fertilización de los granos no llegó a producirse (Figura 5), o si, por el contrario, una vez ocurrida la fertilización, la baja tasa de crecimiento de la planta hizo que los granos abortaran (Figura 7).

Figura 7. Espigas mostrando aborto de granos debido a estrés durante la etapa de fijación de granos.

Estrés ambiental durante el llenado de grano

Durante las dos semanas posteriores a la floración (fase *lag* de llenado) se acumula poco peso en el grano, pero se determina el peso potencial del mismo; un estrés en este período afectará tanto el número de granos como el peso potencial de los granos viables.

Durante la etapa efectiva de llenado los granos demandan asimilados a tasa constante. El peso de los granos está determinado por un componente potencial (alta influencia genética "fijo") y otro ambiental (condiciones de llenado). Los cambios en el peso de grano por efectos ambientales son modulados por la relación entre la demanda diaria de las espigas para llenar dichos granos y la oferta de carbohidratos que sostengan dicha demanda. Debido al mayor potencial de rendimiento (más demanda), los híbridos modernos de maíz son más dependientes de buenas condiciones durante el llenado de granos para no ver afectado el peso de los mismos (Echarte et al., 2006). La intensidad y el momento del estrés durante el llenado condicionan la magnitud de la merma en el rinde (Borrás et al., 2004). Dicho concepto se expresa en la Figura 8. La línea azul representa las mermas de rendimiento observadas cuando se cosechan las espigas de manera anticipada. Por ejemplo: espigas cosechadas en grano pastoso blando tienen una merma de rendimiento del 60% mientras que espigas cosechadas en media línea de leche presentan una merma de rinde del 12%.

La línea roja indica la merma esperable si ocurriera una pérdida del área foliar del 100% en diferentes momentos de llenado de granos. Si la defoliación ocurre en grano pastoso blando, se pierde el 40% del rendimiento y si ocurre en mitad de línea de leche la merma es del 5%.

La diferencia entre ambas curvas se debe al aporte de reservas de carbohidratos acumulados en los tallos del maíz. Estas reservas son removilizadas hacia los granos actuando como "fuente alternativa" de recursos en momentos donde las condiciones de llenado son adversas (ej: altas temperaturas, baja radiación, defoliación por piedra o insectos, enfermedades foliares, etc.). Puede ocurrir que si las plantas removilizan recursos desde el tallo, este se debilite generando quebrado.

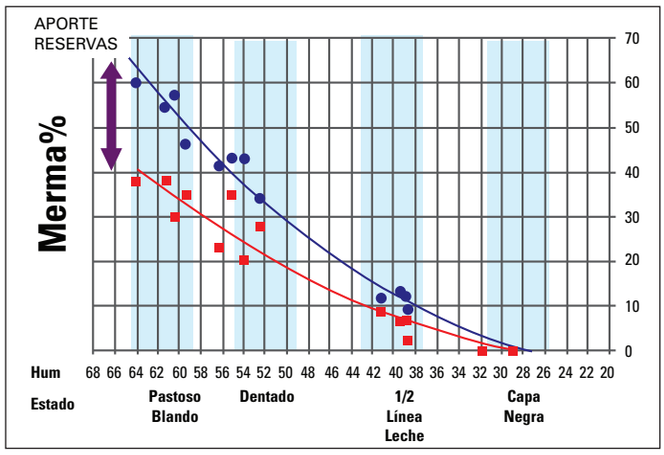

Figura 8. Merma del rendimiento debida a una defoliación total en diferentes momentos del llenado de granos. Línea roja: con aporte de reservas. Línea azul: sin aporte de reservas

Como puede notarse, ante una misma intensidad de estrés, las mermas de rendimiento serán menores cuanto más cerca de la madurez fisiológica (capa negra en la Figura 8) se encuentre el cultivo.

Conclusiones

El lugar, ubicación y cantidad de granos de maíz, así como su peso, deja documentado cuándo la espiga estuvo sometida a estrés ambiental y la severidad del mismo. El conocimiento del desarrollo de la espiga y de cuándo se determina cada componente del rendimiento ayudará a los agrónomos y productores de maíz a determinar en qué momento ocurrió el estrés. Esto también proporciona un punto de partida para el desarrollo de prácticas de manejo para mitigar estos estreses en el futuro.

Referencias

1. Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S., Otegui, M. E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa. Balcarce. 292 pp.

2. Andrade, F. H., Vega, C, Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., y Valentinuz, O. 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science, 39: 453-459.

3. Bonhome, R., Derieux, M., Duburcq, J. B. y Ruget, F. 1984. Variations in ovule number at silking in various corn genotypes. Maydica, 29: 101-107.

4. Borrás, L., Slafer, G. A. y Otegui, M. E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. Field Crops Research, 86: 131-146.

5. Cirilo, A. G. y Andrade, F. H. 1994. Sowing date and maize productivity: II: Kernel number determination. Crop Science, 34: 1044-1046.

6. Echarte, L., Andrade, F. H., Sadras, V. O. y Abbate, P. 2006. Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. Field Crops Research, 96: 307-312.

7. Fonseca, A. E. y Westgate, M. E. 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. Field Crops Research, 94: 114-125.

8. Ritchie, S. W., J. J. Hanway, y G. O. Benson. 1997. How a corn plant develops: special report no. 48. Iowa State University Cooperative Extension Service, Ames, IA.

9. Strachan, S. D. 2004. Corn grain yield in relation to stress during ear development. Crop Insights Vol. 14, no. 1. Pioneer Hi-Bred, Johnston, IA.

PIONEER®
A DuPont Business

Pioneer Argentina S.R.L.
www.pioneer.com/argentina