




Espigas múltiples en maíz. Efecto del híbrido, densidad, fertilización nitrogenada y su relación con la presencia de carbón de la espiga *Ustilago maydis*.

Facundo Ferraguti
INTA EEA Oliveros

 Palabras clave: Espigas, maíz, efecto híbrido, densidad, fertilización nitrogenada.

Introducción

La campaña de maíz 2022-23 fue signada por el fenómeno de El Niño - Oscilación Sur (ENOS) conocida como La Niña (Wyrтки, 1975). Esto implicó precipitaciones menos frecuentes, de menor caudal e irregularidad en el patrón espacial de las mismas. Las temperaturas máximas y medias fueron más altas, con mayor frecuencia y duración de golpes de calor. Este escenario produjo fuertes mermas en los rendimientos obtenidos y en muchos casos, la pérdida completa del lote.

Dentro de las prácticas de manejo utilizadas para enfrentar ambientes restrictivos, se encuentra el manejo de la densidad del cultivo. Bajar la densidad de siembra cuando los recursos son escasos (en este caso agua), tiene por objetivo aumentar la probabilidad de que las plantas individuales crezcan a tasas que permitan una adecuada partición de asimilados a la espiga y evitar reducciones drásticas en el número de granos fijados o incluso la esterilidad (Galizia *et al.*, 2020). A su vez, la fertilización nitrogenada influye en el establecimiento de jerarquías de plantas dentro del cultivo, el rendimiento individual por planta, y finalmente en el rendimiento del cultivo (Caviglia y Melchiori 2011).



f1 Foto 1. Espigas múltiples en diferentes híbridos de maíz (a y b). Esta anomalía se caracteriza por múltiples espigas que se generan a partir de meristemas del pedúnculo de una espiga principal que en general no fijó granos (c).



f2

Foto 2. Espigas múltiples que presentan agallas producidas por carbón de la espiga (*Ustilago maydis*).

Quando las condiciones ambientales restringen el crecimiento e interfieren en la fijación de granos, es común encontrar espigas que presenten algún tipo de malformación. Una anomalía particular observada en muchos lotes de esta campaña fue la aparición de espigas múltiples o tipo “bouquet” (racimo) (Foto 1 a y b). A diferencia de la prolificidad, en que cada espiga procede de un nudo, la generación de espigas múltiples se da en un mismo nudo. Si bien las causas de esta malformación aún no están del todo establecidas, se la ha asociado a períodos de altas temperaturas y estrés hídrico durante la formación de la espiga (V5-V15) y a fallas en la polinización. Esto implicaría una pérdida de la dominancia apical de la espiga principal y una consecuente inducción de los meristemas del pedúnculo. Comúnmente estas espigas son estériles ya que su aparición es tardía y con un gran desfase con la oferta de polen (Ortez *et al.*, 2022).

Los estigmas que no son fecundados continúan creciendo (Foto 1c) y representan la vía de ingreso principal para las teliosporas de *Ustilago maydis*, conocido como carbón de la espiga (Foto 2). Las condiciones de la campaña pasada (ambiente seco, altas temperaturas y estrés hídrico) son especialmente favorables para la proliferación de carbonos, observándose una alta incidencia de *U. maydis* y la reaparición de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) (De Rossi *et al.*, 2023).

Materiales y métodos

Ensayo

El ensayo fue implantado el 5 de enero de 2023 en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Oliveros (32°33'26" S, 60°52'27" W), con el objetivo inicial de evaluar para cuatro genotipos (H1, H2, H3 y H4) la combinación de cuatro densidades de cultivo (D1= 40.000 pl/ha, D2= 60.000 pl/ha, D3= 80.000 pl/ha y D4=100.000 pl/ha) con cuatro dosis de nitrógeno: N1, N2, N3 y N4. El tratamiento N1 (N suelo) consistió en el nitrógeno disponible a la siembra sin aplicación de fertilizante. La dosis N3, 220 kg N ha⁻¹ (N suelo + N fertilizante), se basó en el umbral local para ambientes de alta producción (Correndo *et al.*, 2021). La dosis N2 fue un 20% menor que la dosis umbral y la dosis N4 un 20% por encima de la dosis umbral. Para alcanzar las dosis N2, N3 y N4 se aplicó urea granulada (46-0-0) inmediatamente luego de la siembra mediante una fertilizadora experimental.

El diseño experimental utilizado fue de parcela dividida donde la parcela principal la constituyó el híbrido, en segundo orden la dosis de nitrógeno y por último la densidad de siembra. La unidad experimental, combinando los 3 factores, consistió de 5 surcos distanciados a 0,52m por 15 m de fondo.



Determinaciones

Previo a la cosecha, se determinó una superficie de 10 m² en los tres surcos centrales de la parcela donde se evaluó individualmente cada planta y posteriormente se determinó la frecuencia de: plantas con espigas normales (con granos), plantas estériles, plantas con espigas múltiples y plantas con presencia de carbón de la espiga (*Ustilago maydis*).

Posteriormente, se cosecharon manualmente las espigas, se trillaron y se determinó: rendimiento en grano, humedad, peso de 1000 granos y peso hectolítrico. Los resultados se ajustaron a 14,5% de humedad.

Condiciones climáticas

La salida del invierno fue marcadamente seca y con un perfil de suelo que se encontraba muy por debajo de capacidad de campo en los meses de septiembre y octubre. Las precipitaciones fueron escasas, acumulando apenas 112 mm desde septiembre a la fecha de implantación del ensayo el ensayo (Figura 1). Si bien las precipitaciones del mes de enero estuvieron cerca del nivel histórico, no fueron suficientes para recargar el perfil del suelo y, debido que la demanda atmosférica (evapotranspiración potencial) fue muy alta (Figura 1), el período vegetativo

temprano transcurrió en condiciones de déficit hídrico intermitente.

El período crítico para la definición del rendimiento (30 días centrados en R1) se dio en un contexto de constante estrés hídrico y térmico (Figura 1 y 2). En la primera mitad del período crítico, durante la elongación de tallos e inicio del crecimiento de estructuras reproductivas, la tasa de crecimiento se vio afectada principalmente por las bajas precipitaciones y comenzó un ascenso de la temperatura máxima diaria a partir del 25 de febrero, registrándose 23 días seguidos con temperaturas máximas superiores a 35°C (Figura 4). Esta conjunción de stress hídrico y térmico desde vegetativo, y la consecuente caída de la tasa de crecimiento, determinó que en numerosas parcelas se observe un grado variable de individuos estériles, llegando en muchos casos a la totalidad de la parcela. En otros casos, profundizó la asincronía entre la oferta de polen y la aparición de estigmas, conduciendo a fallas en la polinización, en el cuaje de granos y el peso potencial de los mismos.

Resultados

Rendimiento, plantas estériles y componentes de rendimiento

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio para los híbridos evaluados. Se observó una gran

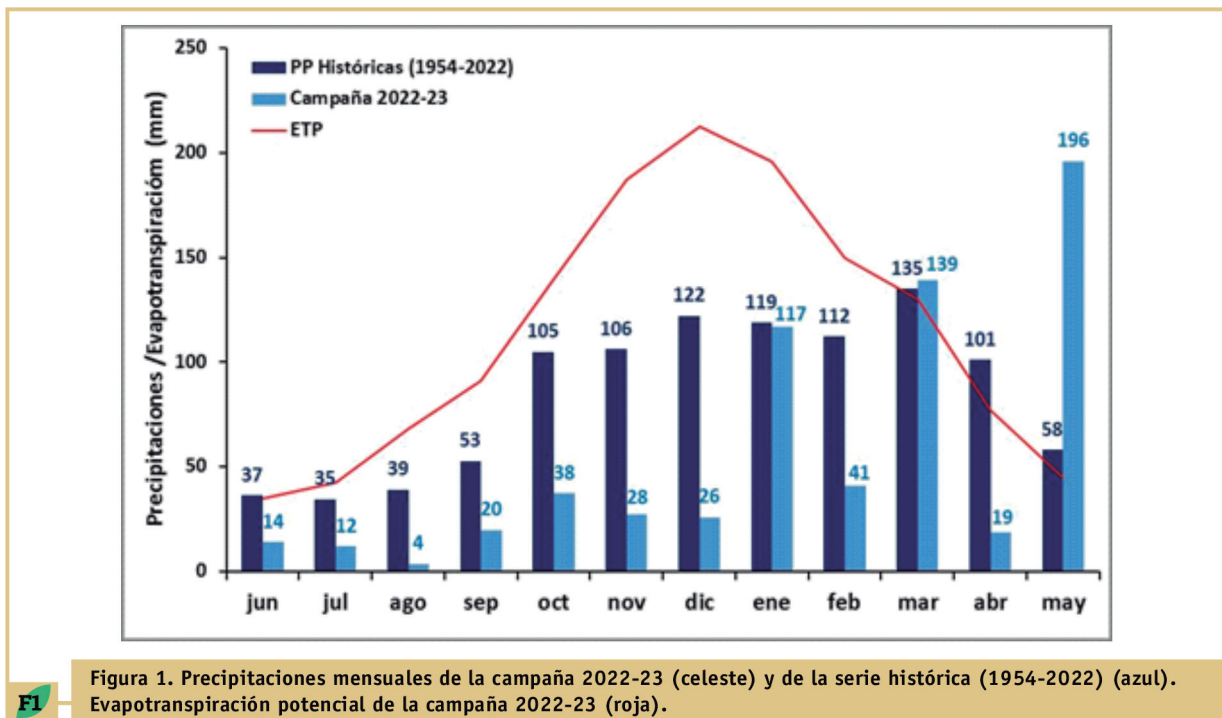


Figura 1. Precipitaciones mensuales de la campaña 2022-23 (celeste) y de la serie histórica (1954-2022) (azul). Evapotranspiración potencial de la campaña 2022-23 (roja).

F1

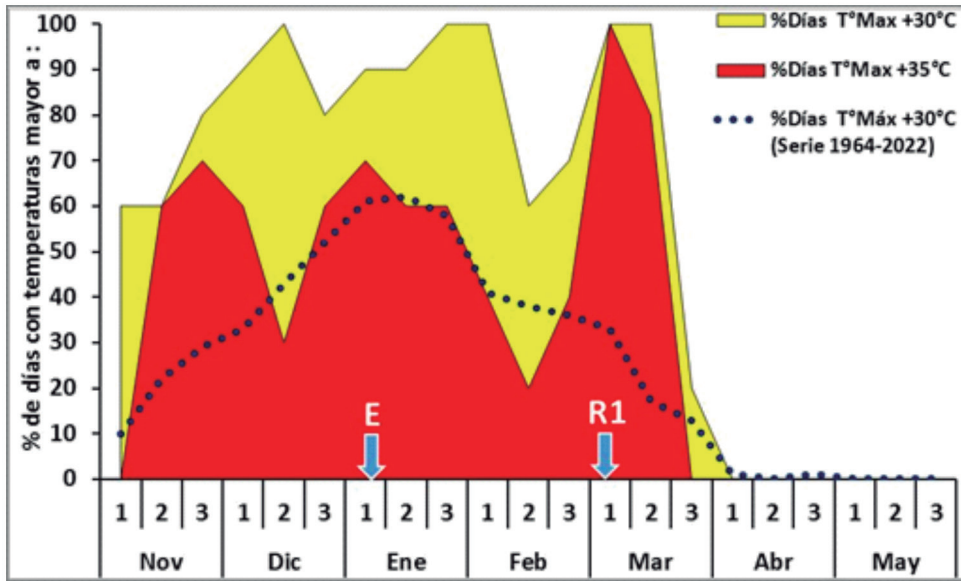


Figura 2. Golpes de calor durante la campaña 2022-23. Frecuencia de días con temperatura máxima por encima de 30°C (amarillo) y por encima de 35°C (rojo). Serie histórica (1964-2022) de días con temperatura máxima por encima de 30°C (línea punteada).

F2

dispersión de datos, con rangos de rendimiento que fueron desde 0 kg/ha al máximo correspondiente a la combinación H1 N4 D2 (5341 kg/ha). Los híbridos H1 y H2 fueron los más sensibles a la disponibilidad de nitrógeno, mientras que H4 mostró una alta eficiencia en uso de este nutriente ya que logró producir 2135 kg/ha en la combinación N1 D3 (Tabla 1).

La densidad de plantas fue un factor determinante en el rendimiento. La densidad más alta impuso un ambiente altamente restrictivo que causó la esterilidad de las plantas en la mayoría de las combinaciones evaluadas. No obstante, el H4 mostró respuestas a la fertilización nitrogenada logrando producir en las combinaciones de D4 con N2, N3 y N4.

Teniendo en cuenta la totalidad de las plantas relevadas, el híbrido H4 fue el que presentó en promedio menor porcentaje de plantas estériles (42%), seguido de H3 y H1 con valores similares (58 y 59%, respectivamente). El híbrido H2 fue el más afectado, con un promedio de 69% de plantas estériles. La caída de rendimiento por punto porcentual de aumento plantas estériles fue similar en los cuatro híbridos (41kg ha/%) (Figura 3). No obstante, la dispersión de los datos fue alta, indicando que las prácticas de manejo influyeron en la compensación para un mismo valor de plantas estériles. La capacidad de compensación de los híbridos evaluados estuvo explicada principalmente por un aumento del número de granos fijados por planta (datos no presentados) y no por el peso

de los mismos. Sin embargo, aunque el híbrido H4 cumple con esta aseveración, el peso de granos fue más relevante y se observó una tendencia mayor producción por planta a medida que el peso de los granos se incrementó (Figura 4).

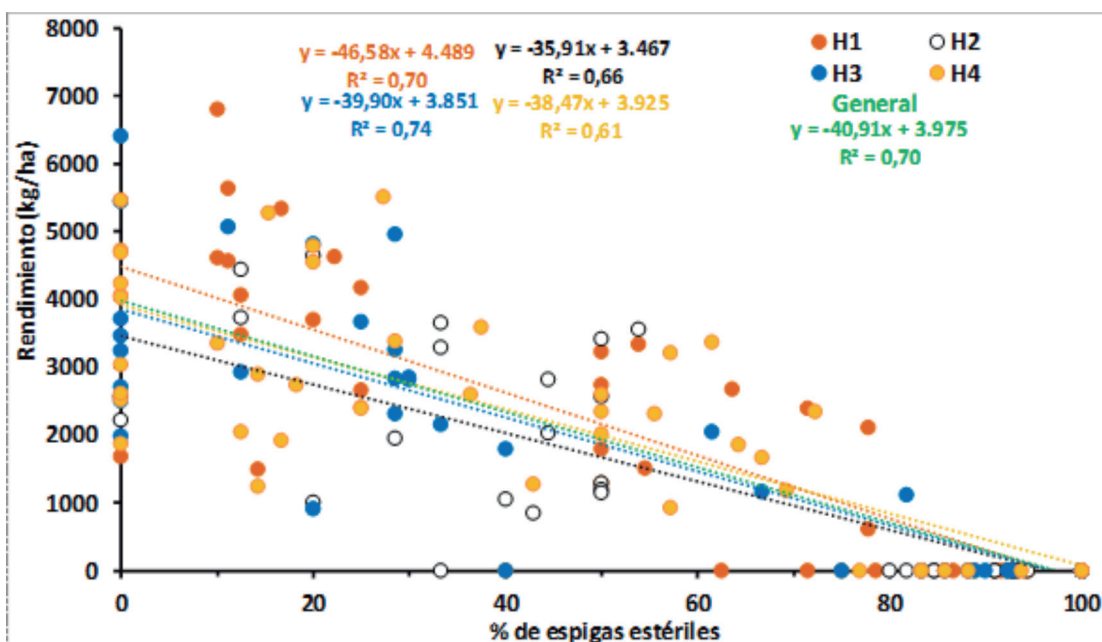
Espigas múltiples e incidencia de carbón de la espiga (*Ustilago maydis*)

Las condiciones extremas de esta campaña produjeron la aparición de anomalías en la morfología de las espigas, entre la que se destacó el fenómeno de espigas múltiples o “bouquet” (Foto 1 y 2). En este ensayo, se pudo comprobar que la incidencia y severidad de esta anomalía estuvo muy ligada al genotipo y en menor medida a las prácticas de manejo. Sólo dos genotipos presentaron espigas múltiples: H1 y H3. No obstante, mientras que en H3 se trató de casos aislados, con sólo un ~3% de incidencia, en el híbrido H1 este valor fue consistentemente más alto, alcanzando el 44% de las plantas evaluadas (Figura 5a). En general, las espigas múltiples representan una merma total del rendimiento de la planta afectada ya que no se fijan granos en la espiga principal ni en las espigas axilares que se generan (Foto 1 y 2). El rendimiento del lote dependerá entonces de la frecuencia de esta anomalía, la distribución espacial y la capacidad de compensación de las plantas sanas mediada por la oferta ambiental.



T1 Tabla 1. Rendimiento medio de los híbridos evaluados para las combinaciones de densidad (D1= 40.000 pl/ha, D2= 60.000 pl/ha, D3= 80.000 pl/ha y D4=100.000 pl/ha) y fertilización nitrogenada (N1 = sin fertilización, N2 Dosis umbral -20%, N3 Dosis umbral (220 Kg N/ha) y N4 Dosis umbral +20%)

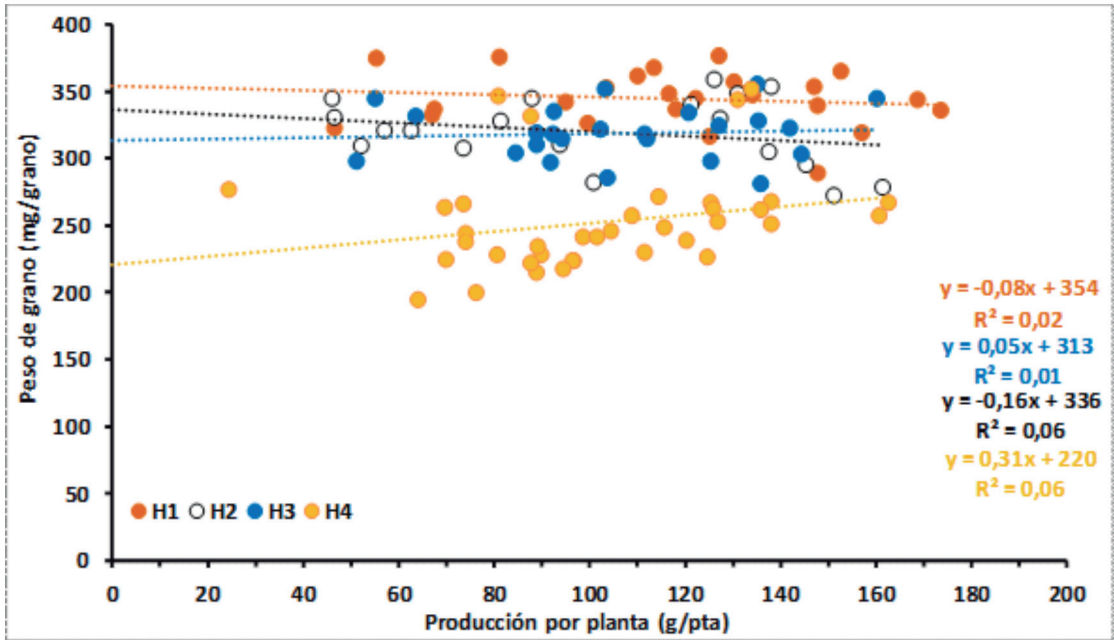
Híbrido	Dosis N	D1	D2	D3	D4
H1	N1	988	0	0	0
	N2	2700	3156	2573	0
	N3	2702	3665	1111	0
	N4	3144	5341	1391	702
H2	N1	2336	0	0	0
	N2	1858	1646	0	0
	N3	1901	3361	1183	0
	N4	1092	2415	0	0
H3	N1	2712	1817	0	0
	N2	1918	3601	683	0
	N3	2684	2575	1654	0
	N4	2358	4325	386	0
H4	N1	2779	3132	2135	0
	N2	1572	3289	1530	1123
	N3	2853	4503	3690	2391
	N4	1978	2682	2212	1130



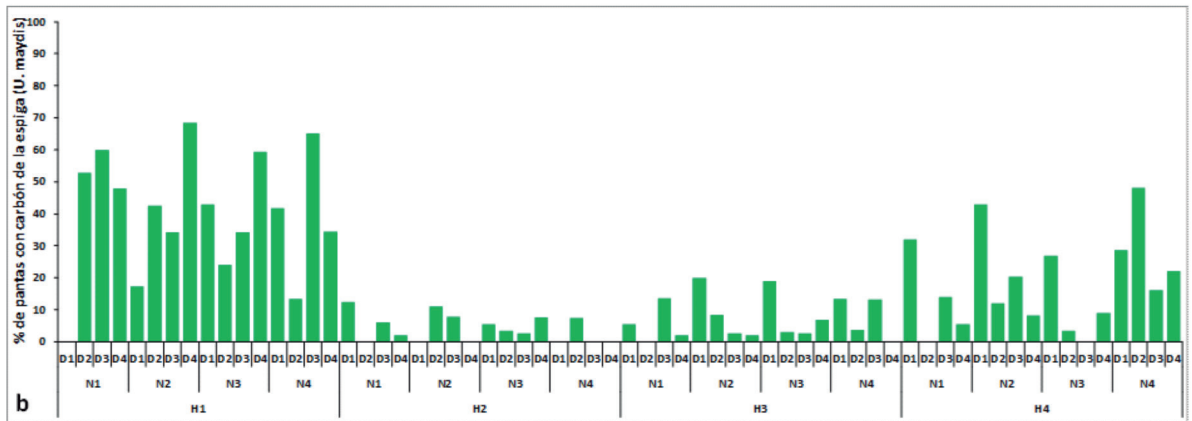
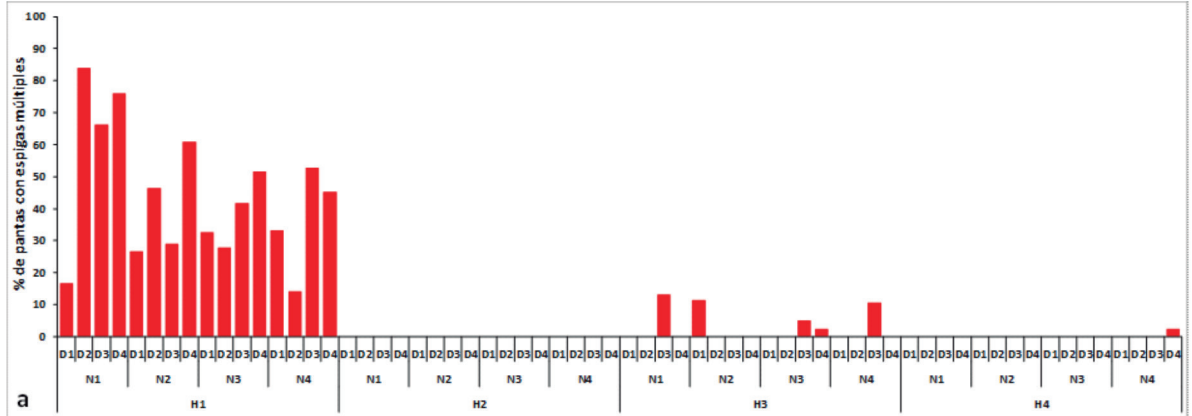
F3 Figura 3. Relación entre rendimiento y porcentaje de plantas con espigas estériles.

En la Figura 6 se observa la relación entre la incidencia de plantas con espigas múltiples y el rendimiento del cultivo, exclusivamente para H1, ya que fue el híbrido más afectado. Para mejorar el análisis, se distinguió entre las parcelas que tuvieron rendimientos superiores a 0 Kg/ha y las que lograron fijar granos. En éste segundo set de datos se pudo ajustar una ecuación potencial que representó el 50% de la variabilidad observada en los datos, lo que indicaría que parte de esa variabilidad estaría atribuida a los

tratamientos impuestos. En general, los tratamientos donde los recursos por planta fueron más limitantes produjeron un aumento de la frecuencia de plantas con espigas múltiples, espigas estériles y por ende, mayores mermas de rendimiento (Figura 5a). Por el contrario, tratamientos con densidades más bajas y/o dosis más altas de nitrógeno (mayor oferta de recursos por planta) tuvieron menor incidencia de esta anomalía y mayor capacidad de compensación



F4 Figura 4. Relación entre peso de granos y la producción por planta fértil.



F5 Figura 5. Plantas con espigas múltiples (a) y Ustilago maydis (b) para las combinaciones de híbrido, dosis de nitrógeno y densidad.



de plantas faltantes mediante el aumento de la producción de las plantas restantes.

Se detectó la presencia de carbón de la espiga en los cuatro híbridos evaluados, aunque con diferencias en el promedio de incidencia. Mientras que H2 y H3 se observaron valores bajos (4,1 y 7,2%, respectivamente), en H4 la incidencia fue moderada (18%) y en el caso de H1, elevada 39,9% (Figura 5b). Si bien la bibliografía menciona que las dosis altas de nitrógeno pueden incrementar la presencia de carbón de la espiga (Julian Maywald *et al.*, 2023), en este ensayo no fue posible corroborar esta afirmación. De hecho, si bien no se pudo establecer una relación clara entre las prácticas de manejo evaluadas y la incidencia de *U. maydis*, en la generalidad de los casos, para el híbrido H1 los tratamientos que predispusieron a espigas múltiples también se vieron más afectados por el patógeno.

Atendiendo a esto, en la Figura 7 se puede observar que hubo una relación estrecha ($r^2=0,82$) entre la frecuencia de espigas múltiples en H1 y la incidencia de *U. maydis* en estas anomalías, sobre todo cuando la incidencia de ambos fue baja. La alta incidencia de carbón observada dentro de espigas múltiples (73%) se atribuyó a que estas malformaciones son más propensas a presentar esta patología, debido a que prolongan la disponibilidad de estigmas sin

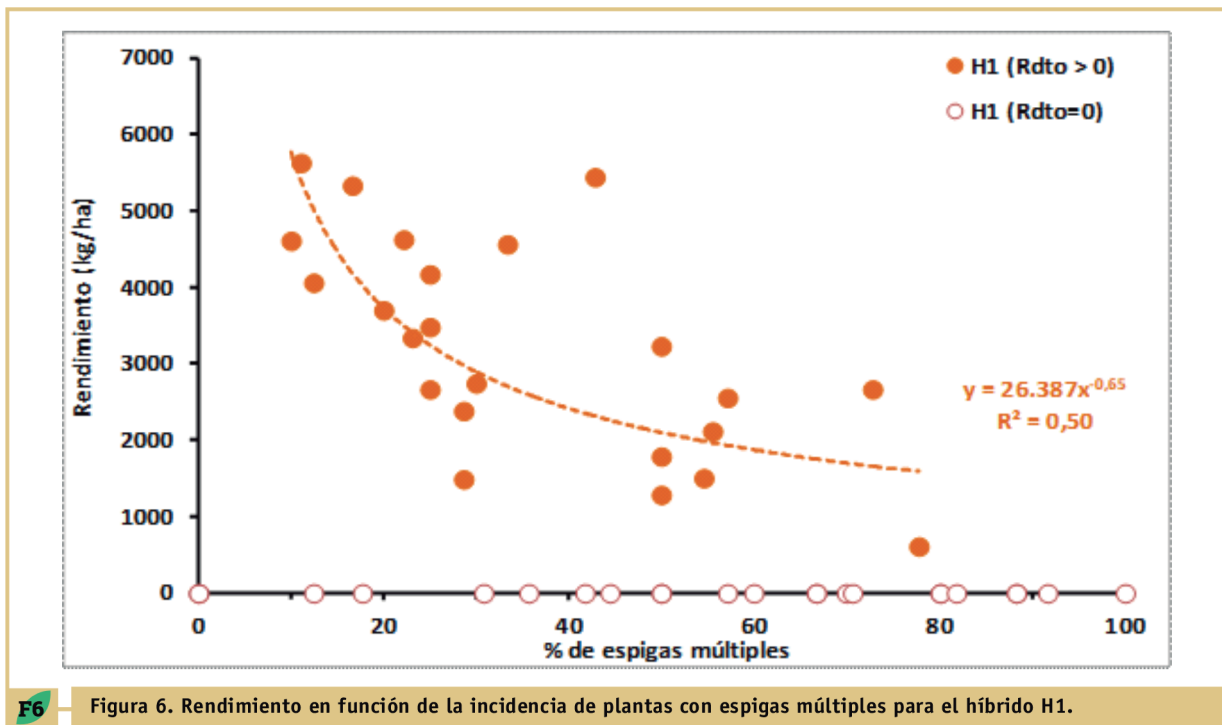
fecundar, la vía principal de ingreso de las teliosporas (Foto 1c y 2). Esto explicaría, al menos en parte, la diferencia notoria en susceptibilidad respecto al resto de los híbridos evaluados.

Conclusiones

En años con condiciones climáticas altamente restrictivas en cuanto a precipitaciones y régimen térmico, la densidad del cultivo y la fertilización nitrogenada son las prácticas de manejo con mayor impacto en los maíces de secano. Asignar mayores recursos por planta evitando altas poblaciones y fertilizando según umbral brinda mejores chances de atravesar períodos de sequía y golpes de calor.

La aparición de malformaciones en estructuras reproductivas, como en este caso las espigas múltiples, están relacionadas al estrés que experimenta el cultivo, sobre todo durante el período crítico. No obstante, el componente genético es muy determinante y existen híbridos altamente susceptibles de presentar estas anomalías. El manejo adecuado de la densidad y la fertilización probaron ser útiles en reducir la expresión de esta característica genotípica.

Si bien las condiciones de la campaña 2022-23 fueron predisponentes para la infección de *U. maydis*,



F6

Figura 6. Rendimiento en función de la incidencia de plantas con espigas múltiples para el híbrido H1.

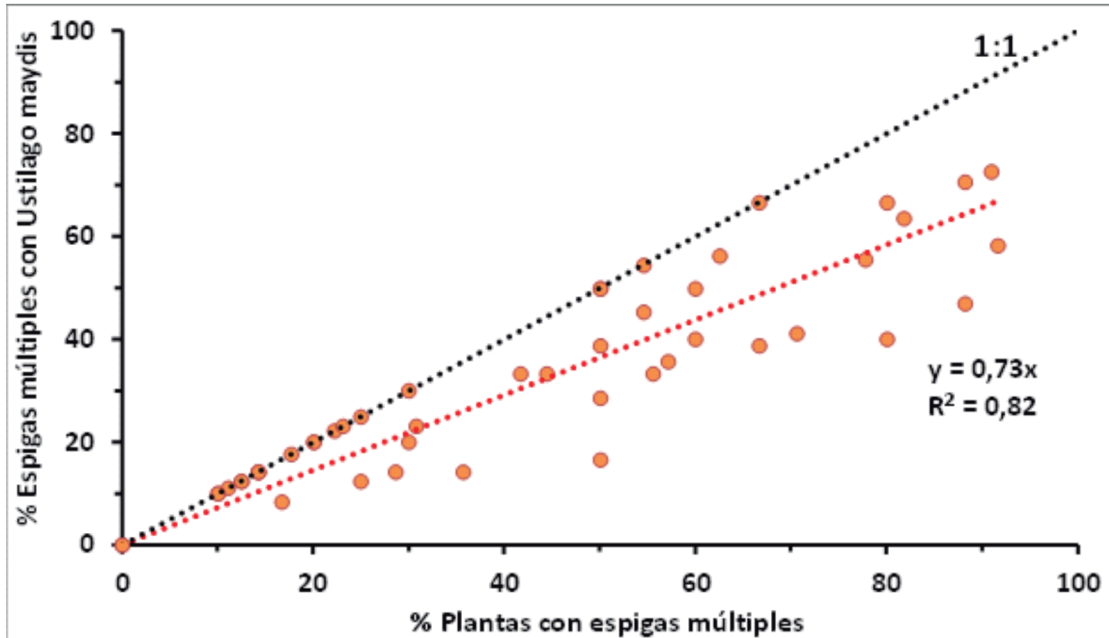


Figura 7. Relación entre espigas múltiples que presentaron Ustilago maydis y el total de plantas con espigas múltiples para el híbrido H1.

F7

y los cuatro híbridos evaluados tuvieron incidencia de este patógeno, se evidenció diferente comportamiento genotípico, sobre todo en el caso de H1, el híbrido que presentó simultáneamente mayor incidencia de espigas múltiples y carbón de la espiga. Se atribuyó esto a un mayor número de espigas que no fueron fecundadas y prolongaron la disponibilidad de estigmas receptivos, principal vía de ingreso para las teliosporas de éste patógeno.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer la colaboración de Paula Colla Hadad, estudiante avanzada de Ciencias Agrarias (UNR) en las determinaciones a campo durante su práctica preprofesional y al personal auxiliar de la EEA INTA Oliveros por su profesionalismo y dedicación.

Se agradece las imágenes presentadas en la Foto 1 b y c, que corresponden respectivamente al Ing. Agr. Mauricio García (Brevant) y al Ing. Agr. Guillermo Alo (NK semillas).

Bibliografía

Caviglia O.P. y R.J.M. Melchiori. 2011. Contribution of contrasting plant hierarchies to the response to N fertilizer in maize. *Field Crops Research* 122: 131-139.

Correndo, A. A., Gutiérrez-Boem, F.H., García, F.O., Alvarez, C., Álvarez, C., Angeli, A., Barbieri, P., Barraco, M., Berardo, A., Boxler, M., Calviño, P., Capurro, J.E., Carta, H.,

Caviglia, O., Ciampitti, I.A., Díaz-Zorita, M., Díaz-Valdez, S., Echeverría, H.E., Espósito, G., Ferrari, M., Ferraris, G.N., Gambaudo, S., Gudelj, V., Ioele, J.P., Melchiori, R.J.M., Molino, J., Orcellet, J.M., Pagani, A., Pautasso, J.M., Reussi Calvo, N.I., Redel, M., Rillo, S., Rimski-Korsakov, H., Sainz-Rozas, H.R., Saks, M., Tellería, M.G., Ventimiglia, L., Zorzín, J.L., Zubillaga, M.M. y Salvagiotti, F. 2021. Attainable yield and soil texture as drivers of maize response to nitrogen: A synthesis analysis for Argentina. *Field Crops Res.* 273, 108299.

De Rossi, R. L.; Couretot, L.; Astiz Gassó, M. M.; García, J.; Samoiloff, A.; Guerra, F. A.; Vuletic, E.; Labaque, M.J., Plazas, M.C. y Guerra, G.D. 2023. El enemigo oscuro del maíz que conviene vigilar. *Revista Aapresid*, 218, 92-97.

Galizia L.A., E.M. Munaro, A.G. Cirilo, M.E. Otegui y K.E. D'Andrea. 2020. Phenotypic plasticity for biomass partitioning in maize: genotype effects across a range of environments. *Field Crops Research* 256: 107914

Julian Maywald, N., Francioli, D., Mang, M., & Ludwig, U. 2023. Role of Mineral Nitrogen Nutrition in Fungal Plant Diseases of Cereal Crops. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1-31.

Ortez, O. A., McMechan, A. J., Hoegemeyer, T., Ciampitti, I. A., Nielsen, R., Thomison, P. R., y Elmore, R. W. 2022. Abnormal ear development in corn: A review. *Agro-nomy Journal*, 114, 1168–1183.

Wyrčki, K. 1975. El Niño—the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *Journal of Physical Oceanography*, 5(4):572-584.