

LA INFLUENCIA DE LAS CONEXIONES VASCULARES XILEMÁTICAS DURANTE LA DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE COSECHA EN MAÍZ TARDÍO

Victoria J. Martín, Marcos Tejedor y Edmundo L. Ploschuk¹

Facultad de Agronomía – Cañuelas

Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales (UCES)

¹Email: ploschuk@agro.uba.ar

Fecha de recepción: 28/08/2023

Fecha de aceptación: 21/09/2023

RESUMEN

En Argentina, el cultivo de maíz tardío se practica con bastante frecuencia para evitar que la floración ocurra durante un período de sequía, pero los productores se ven obligados a mantener el cultivo durante gran parte del otoño e invierno para lograr que los granos alcancen la madurez comercial. El objetivo de este trabajo fue avanzar en el conocimiento acerca del rol de la conexión xilemática en el proceso de pérdida de humedad de los granos, para lograr una mejor eficiencia de cosecha. Para ello se realizó un experimento de campo con dos tratamientos: uno testigo y otro con la base de la espiga cortada para interrumpir la conexión xilemática durante la ventana de cosecha. En ambos tratamientos, los rendimientos oscilaron los 10000 kg ha⁻¹, pero la tasa de pérdida de la humedad relativa y absoluta durante la primera fase de desecado fue significativamente mayor en el tratamiento cortado. Esto determinó que la remoción de la conexión xilemática lograra alcanzar la madurez comercial a los 65 días de iniciada la ventana de cosecha, a diferencia del testigo cuya humedad era 10 puntos superior. Este trabajo proporciona una nueva base teórica para seleccionar y mejorar cultivares de maíz adecuados para la cosecha mecánica de granos.

Palabras clave: Maíz tardío; Humedad de cosecha; Madurez comercial; Desecado; Conexión xilemática.

ABSTRACT

In Argentina, the cultivation of late-season corn is frequently practiced to avoid flowering during a drought period, but farmers are forced to maintain the crop through much of the autumn and winter to ensure that the grains reach commercial maturity. The objective of this study was to advance the understanding of the role of xylem connection in the grain moisture loss process, in order to achieve a better harvesting efficiency. For this purpose, a field experiment was conducted with two treatments: a control group and another with the base of the cob cut to interrupt the xylem connection during the harvesting window.

In both treatments, yields ranged around 10,000 kg/ha, but the rate of relative and absolute moisture loss during the initial drying phase was significantly higher in the cut treatment. This resulted in the xylem connection removal achieving commercial maturity 65 days after the start of the harvesting window, in contrast to the control where moisture content was 10 points higher. This study provides a new theoretical basis for selecting and improving maize cultivars suitable for mechanical grain harvesting.

RESUMO

Na Argentina, o cultivo de milho tardio é frequentemente praticado para evitar que a floração ocorra durante um período de seca, mas os produtores são obrigados a manter a cultura durante grande parte do outono e inverno para garantir que os grãos atinjam a maturidade comercial. O objetivo deste estudo foi avançar na compreensão do papel da conexão do xilema no processo de perda de umidade dos grãos, visando a obter uma melhor eficiência na colheita. Para isso, um experimento de campo foi realizado com dois tratamentos: um grupo de controle e outro com a base da espiga cortada para interromper a conexão do xilema durante a janela de colheita. Em ambos os tratamentos, os rendimentos variaram em torno de 10.000 kg/há, mas a taxa de perda de umidade relativa e absoluta durante a fase inicial de secagem foi significativamente maior no tratamento cortado. Isso resultou na remoção da conexão do xilema, alcançando a maturidade comercial 65 dias após o início da janela de colheita, em contraste com o grupo de controle, onde o teor de umidade estava 10 pontos mais alto. Este estudo fornece uma nova base teórica para selecionar e melhorar cultivares de milho adequados para a colheita mecânica de grãos.

1.INTRODUCCIÓN

Ante la problemática que presentan los cultivos tardíos, se buscan diferentes alternativas para disminuir los riesgos de pérdida de calidad y del rendimiento. En Argentina los cultivos tardíos, como es el caso el cultivo de maíz, se practican con bastante frecuencia en zonas marginales y también dentro de la zona núcleo. Esto se debe a ciertas ventajas que presentan ante los cultivos tempranos, entre ellas una mayor estabilidad en el rinde (Papucci et al, 2016). Sin embargo, a pesar de sus ventajas productivas, también presenta ciertas desventajas para los productores, debido a la falta de adaptabilidad del ciclo a las condiciones climáticas presentes en la Región Pampeana. A esto se le suma la falta de manejo y la poca información que se dispone con respecto al ciclo del cultivo. Entre las dificultades que presenta se puede mencionar la vulnerabilidad ante el ataque de ciertas plagas, tales como, aves y distintos tipos de insectos, orugas, langostas y pulgones.

También se presentan las enfermedades de fin de ciclo que, por lo general, la mayoría son fúngicas (De Emilio et al, 2019).

Otra problemática es el riesgo climático. El cultivo, al mantenerlo en pie, está expuesto a condiciones adversas, como por ejemplo fuertes vientos que provoquen el quebrado o vuelco del cultivo, y también el lavado de los granos debido a las abundantes precipitaciones. Todo lo anteriormente mencionado se debe a que este tipo de cultivo se suele dejar en pie durante los meses de invierno, por el simple hecho de que cuando se completa el periodo llega a madurez fisiológica, pero los granos no cumplen con el porcentaje de humedad que el mercado exige para su comercialización. Debido a este inconveniente los productores se ven obligados a mantener el cultivo todo ese periodo de tiempo extra para llegar a la madurez comercial. Sin mencionar el ámbito económico, lo anteriormente descrito implica descuentos del precio final de los granos, debido a los costos de secado e incluso por la pérdida de su calidad, la falta de contratistas durante la época y los costos de pulverización por enmalezamiento del lote.

Para evitar estos inconvenientes, se busca entender el rol de la conexión xilemática en el proceso de pérdida de humedad de los granos, para lograr una mejor eficiencia de cosecha. En este trabajo se intenta demostrar la posibilidad de conexión vascular que existe entre la inserción de los haces vasculares xilemáticos y la tasa de pérdida de humedad (Zhang et al 2022). Al cortar la conexión de los haces en la base de la espiga durante el periodo de madurez fisiológica, se espera que el porcentaje de humedad de los granos descienda con menos velocidad, con respecto a uno que no se le realice ningún tipo de corte.

Como antecedente directo, los estudios de Zhang et al. (2022) demuestran estos efectos del movimiento de agua por el xilema, desde los granos hacia la planta. De acuerdo con estos resultados, en la fase de deshidratación del grano impulsada por el llenado, el exceso de agua en el grano fluye de regreso a la mazorca a través del xilema del pedicelo, de los cuales algunos regresan a la planta a través del xilema y el pedúnculo de la mazorca. En cambio, el floema no presentó una importancia relevante; esto se debe a que deja de funcionar como vía de transporte cuando el ciclo está más avanzado (no transporta sustancias ni nutrientes al grano).

También es importante mencionar las distintas fases durante el período del secado de los granos, después de entrar en la madurez fisiológica. Esto en parte nos permite comprender cómo se comporta el cultivo en esta etapa. El periodo se destaca por separarse en dos fases, la primera se denomina fase de secado rápido, donde los granos tienen una alta tasa de pérdida de humedad independiente de las condiciones ambientales, y está sujeta al genotipo del cultivo. La segunda fase que es la fase lenta, los granos tienen una baja tasa de pérdida de humedad y esto se debe a que es afectada por las condiciones ambientales, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa (Herrera et al, 2015).

Ante estas ideas, la hipótesis que se plantea es que, al interrumpir la vía xilemática los granos van a tener una menor tasa de pérdida durante la primera fase de secado rápida, debido a que se interrumpe la posibilidad de que la humedad de los granos fluya de regreso hacia el vástago, retrasando el proceso de secado.

2.MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Generalidades y tratamientos

Se llevó a cabo un experimento en condiciones de campo durante la campaña 2022/2023, en el campo experimental de la Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales (UCES) situado en el partido de San Vicente (Pcia. de Buenos Aires, Argentina, 35°03'55.7"S 58°34'39.6"W). Durante el ensayo se realizó un diseño de bloques completos al azar con 3 réplicas y la fecha de siembra fue el 13/12/2022. Se dividió la superficie sembrada en seis micro parcelas de 6m x 2m, de las cuales se fueron tomando muestras. El tratamiento (denominado cortado) consistió en tres repeticiones las cuales, se le realizó el corte a una determinada cantidad de espigas, y se dejaron sujetas a la planta, mientras que las otras tres restantes se dejaron como tratamiento testigo. El diseño se representa como lo muestra la Fig. 1.

Parcela 6 Testigo	Parcela 4 Cortado	Parcela 2 Testigo
Parcela 5 Cortado	Parcela 3 Testigo	Parcela 1 Cortado

Figura 1. Esquema del diseño completamente aleatorizado utilizado en el experimento

De este modo, la dimensión de todo el experimento fue de 91 m² (considerando la implementación de pasillos). Se utilizaron semillas de un solo genotipo Bt (Dekalb 6910 Vt3pro) y la siembra se realizó en forma manual. La densidad propuesta fue de 8 plantas m⁻², con hileras separadas de a 0.5m (4 hileras por parcela). Así, cada parcela constó de 96 plantas. El cultivo fue mantenido bajo óptimas condiciones hídricas (mediante riego en las etapas sensibles) y nutricionales (con fertilización de N, P y K). También se mantuvo al cultivo libre de malezas, mediante su remoción manual. A partir de la emergencia de estigmas, las parcelas se mantuvieron cubiertas con una mediasombra, para evitar la incidencia de pájaros que dañen las semillas y las plántulas.

2.2 Observaciones y mediciones

Detección de madurez fisiológica (MF)

Durante la etapa previa a la imposición de tratamientos, se detectó el momento de ocurrencia de la aparición de estigmas de las espigas (R1). Posteriormente, se siguió la marcha del peso unitario de los granos para detectar la MF.

Monitoreo del % de humedad de los granos

Una vez establecidos los tratamientos de manipulación de la conexión xilemática, se siguió la marcha del % de humedad de granos con mediciones semanales hechas en forma gravimétrica (secando los granos en estufa a 60 °C durante 48h) Se detectó, para cada tratamiento, el momento en el que se alcanzó la madurez comercial (HR aproximado de 15%).

Estimación del rendimiento de granos

A los 65 días posteriores al inicio de los tratamientos se realizó una cosecha de 4 plantas por parcela (12 plantas en total) de cada uno de los tratamientos para llevar a cabo esta estimación. La ecuación utilizada fue la siguiente

Rendimiento = n° plantas/ha x n° de espigas/planta x n° de hileras/espiga x n° granos/hilera x peso unitario de grano

La densidad de plantas fue de 8 pl m⁻² y se estimó a través de un muestreo que había 1,1 espigas por planta. En cada espiga se contó la totalidad de las hileras y para estimar el n° de granos por hilera se midieron 3 de ellas al azar.

2.3 Análisis estadístico

Para el caso del peso seco (PS) se utilizó una regresión no lineal en dos tramos con plateau, cuya ecuación se representaría así:

$$a+(b1*días)*(días<punto\ de\ corte)+(b1*punto\ de\ corte)*(días>=punto\ de\ corte)$$

donde **a** representa la ordenada al origen, **b1** la pendiente de las rectas.

En el porcentaje de Humedad Relativa % (HR) también se utilizó un modelo de regresión no lineal pero solamente en dos tramos.

La ecuación es la siguiente.

$$a+(b1*días)*(días<punto\ de\ corte)+(b1*punto\ de\ corte+b2*(días-punto\ de\ corte))*(días>=punto\ de\ corte)$$

Donde nuevamente **a** representa la ordenada al origen, **b1** la primera pendiente mientras que **b2** es la segunda pendiente.

Para la humedad absoluta (gramos de H₂O /gr) se utilizó el mismo modelo que para la HR.

También se realizaron comparaciones múltiples de Tuckey para evaluar significancia entre parámetros. Para ello se hizo uso del programa Infostat.

3.RESULTADOS

3.1 Condiciones climáticas

Se utilizaron registros del (Servicio Meteorológico Nacional) de la estación de Ezeiza por ser la más cercana a la localidad de Cañuelas donde se tomaron datos de la temperatura y precipitaciones. Las condiciones climáticas son un factor determinante para realizar el ensayo a campo, ya que el cultivo está expuesto a dichas condiciones. En cuanto a los datos climáticos en la Fig. 2, se puede observar la temperatura media de la zona en donde los meses que corresponden a la estación de verano hay un claro aumento de la temperatura. Sin embargo, estos datos pueden variar por zona y pueden presentar diferencias con respecto a Cañuelas. Cabe mencionar que, durante el verano, el periodo en el cual fue sembrado el maíz se caracterizó por altas temperaturas y golpes de calor que se vieron reflejados en el cuaje de los granos, ya que estos no se desarrollaron. Otra de las razones puede ser la repentina helada de febrero y las menores temperaturas que se presentaron durante este mes. De hecho, se observa un claro descenso en el mes de febrero y un aumento en el mes de marzo casi tanto como en enero, lo cual se caracteriza por ser un comportamiento atípico.

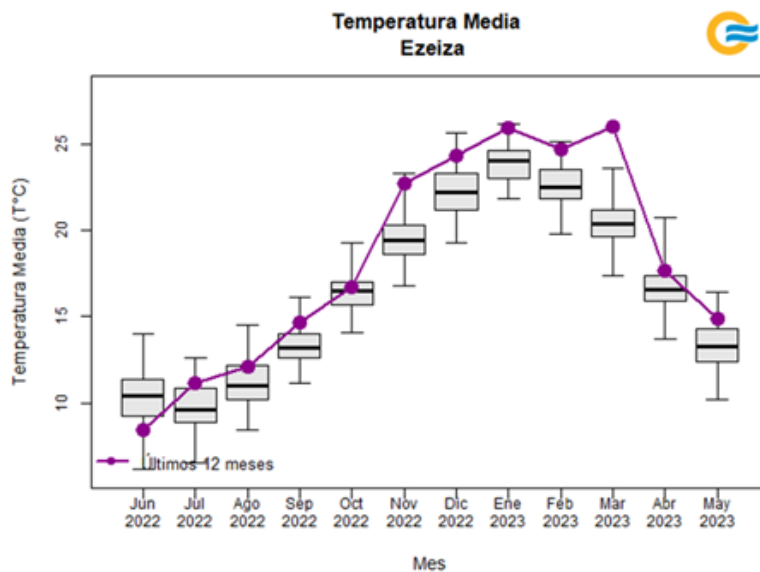


Figura 2: Registro de las temperaturas medias mensuales en la localidad de Ezeiza (Pcia. de Buenos Aires) durante el período anual abordado por el experimento. Los límites superiores e inferiores de las cajas rectangulares representan los percentiles 75 y 25 respectivamente y la línea horizontal gruesa representa a la mediana. Los extremos de los segmentos representan los valores mínimos y máximos absolutos. Los círculos representan al valor promedio

Por otro lado, las precipitaciones estuvieron por debajo de los valores normales y no alcanzó a compensar posteriormente (Figs. 3 y 4). Claramente se trata de un año niña extremadamente seco y el agua es muy importante para el crecimiento y desarrollo del cultivo. A pesar de este fenómeno que afectó de manera negativa, el cultivo fue respaldado por el riego, con lo cual no se vio alterado por las pésimas condiciones hídricas.

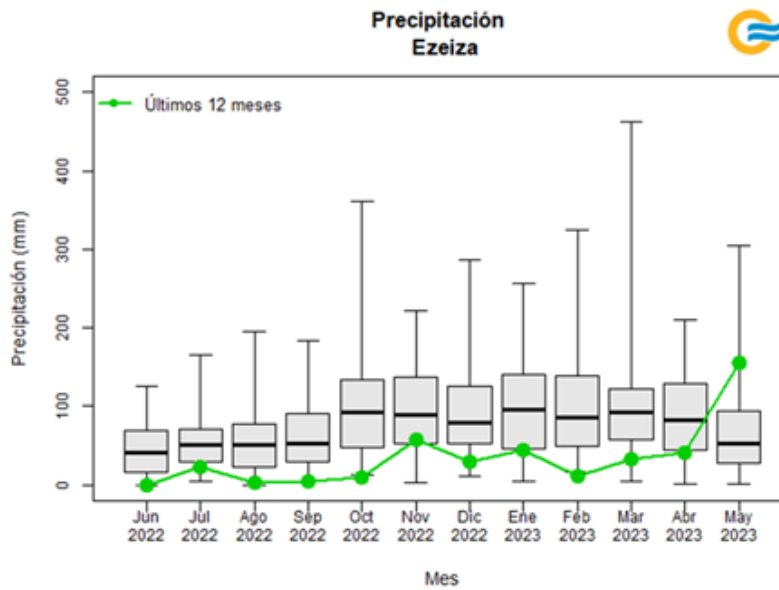


Figura 3. Registro de las precipitaciones medias mensuales en la localidad de Ezeiza (Pcia. de Buenos Aires) durante el período anual abordado por el experimento. Referencias y leyendas en Figura 2.

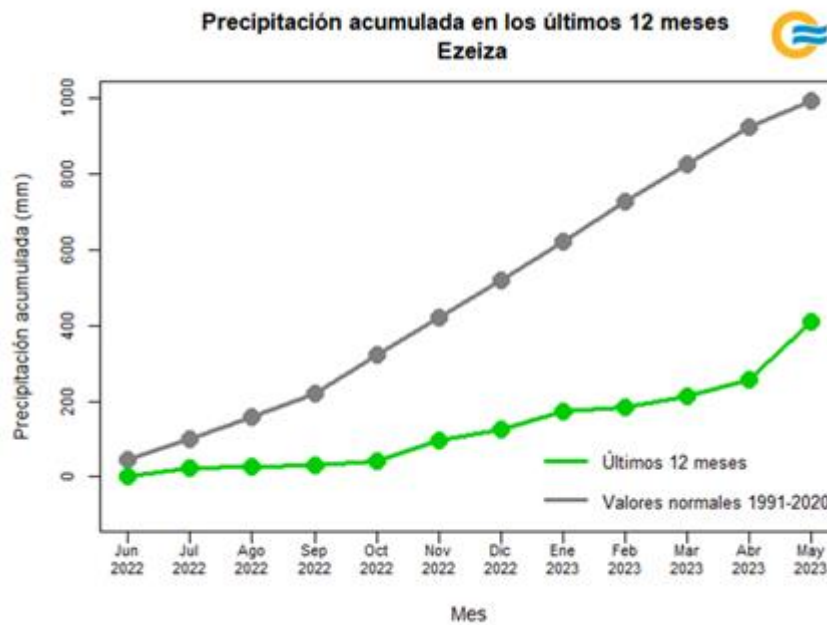


Figura 4. Registro de las precipitaciones acumuladas en la localidad de Ezeiza (Pcia. de Buenos Aires) durante el período anual abordado por el experimento.

3.2 Detección de la madurez fisiológica (MF)

El análisis de la marcha del peso seco de los granos llevado a cabo en este experimento revela que el inicio del tratamiento se inició faltando aproximadamente 10 días para el momento de MF (Fig. 5). Es así como el tratamiento de manipulación redujo el peso seco final de los granos de 0,3 a 0,24 gramos por unidad de grano ($P < 0,01$).

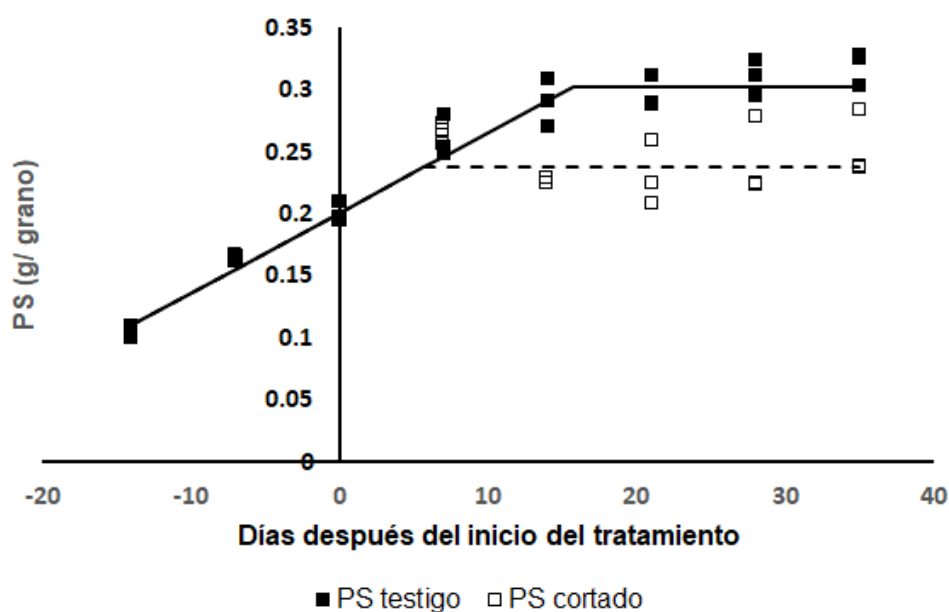


Figura 5. Marcha del peso seco unitario de los granos en función a los días después de la iniciación del tratamiento de interrupción de la conexión vascular de la base de la espiga con la planta. Los símbolos indican las observaciones y las líneas los ajustes bi-lineales para el tratamiento testigo (línea continua) y con la base de la espiga cortada (línea entrecortada).

3.3. Dinámica de reducción de la humedad de los granos.

En términos de descripción del modelo, la ordenada al origen no presentó diferencias entre los tratamientos (Cuadro 1, Fig. 6). Sin embargo, durante la primera fase el tratamiento de corte vascular aceleró significativamente la tasa de desecado respecto al testigo inalterado, a través de la pendiente de su ajuste lineal (Beta 1 de -0,41 y -0,71 para los tratamientos testigo y cortado respectivamente). Sin embargo, el corte del xilema produjo un adelanto de 9 días en el cambio de fase (parámetro Gamma), mientras que en la segunda fase no hubo diferencia significativa entre tratamientos. Como consecuencia, el tratamiento cortado alcanzó la madurez comercial alrededor de 65 días posteriores al

inicio del tratamiento (HR% alrededor del 15%), mientras que el control nunca logró alcanzarla hasta la finalización del experimento.

Cuadro 1. Parámetros estimados del modelo bilineal de ajuste de la Figura 6

	Alfa	Beta 1	Beta 2	Gamma
Testigo	43,68 NS	-0,41 b	-0,29 NS	34,21 a
Cortado	44,90 NS	-0,71 a	-0,25 NS	25,39 b

Alfa: Ordenada al origen, Beta 1: Primera pendiente, Beta 2: Segunda pendiente, Gamma: Punto de corte entre funciones lineales. Letras diferentes indican diferencias significativas entre pendientes para cada parámetro ($P < 0.05$). NS = no significativo.

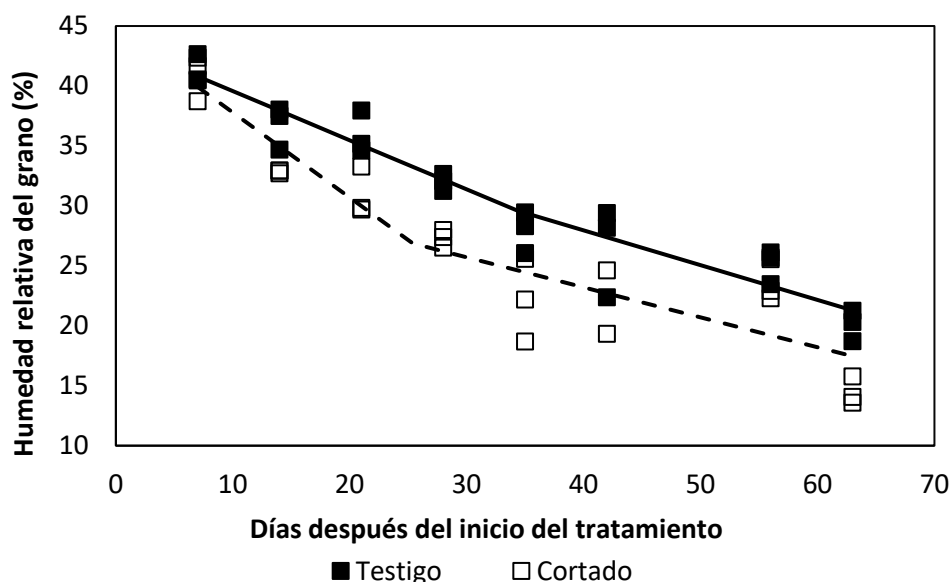


Figura 6. Variación de la humedad relativa de los granos en función de los días posteriores al inicio de los tratamientos.

Para asegurar que las menores humedades relativas observadas en el tratamiento de conexión vascular cortada de la Figura 6 se deben genuinamente a una pérdida de agua, y no a que los granos tuvieron un menor peso seco final por haber adelantado su MF (Fig. 5), se analizó la marcha de la humedad también en valores absolutos de concentración de masa de agua por unidad de grano (Cuadro 2, Fig. 7). Claramente se observa que la mayor caída de humedad es real y no está sesgada por un menor tamaño final de los granos, ya que la primera pendiente del tratamiento manipulado también resultó significativamente más negativa que la del tratamiento testigo.

Cuadro 2. Parámetros estimados del modelo bilineal de ajuste de la Figura 6

	Alfa	Beta 1	Beta 2	Gamma
Testigo	0,195 NS	-0,0017 b	-0,00016 a	28,02 NS
Cortado	0,194 NS	-0,0040 a	-0,00040 b	24,49 NS

Referencias en Cuadro 1.

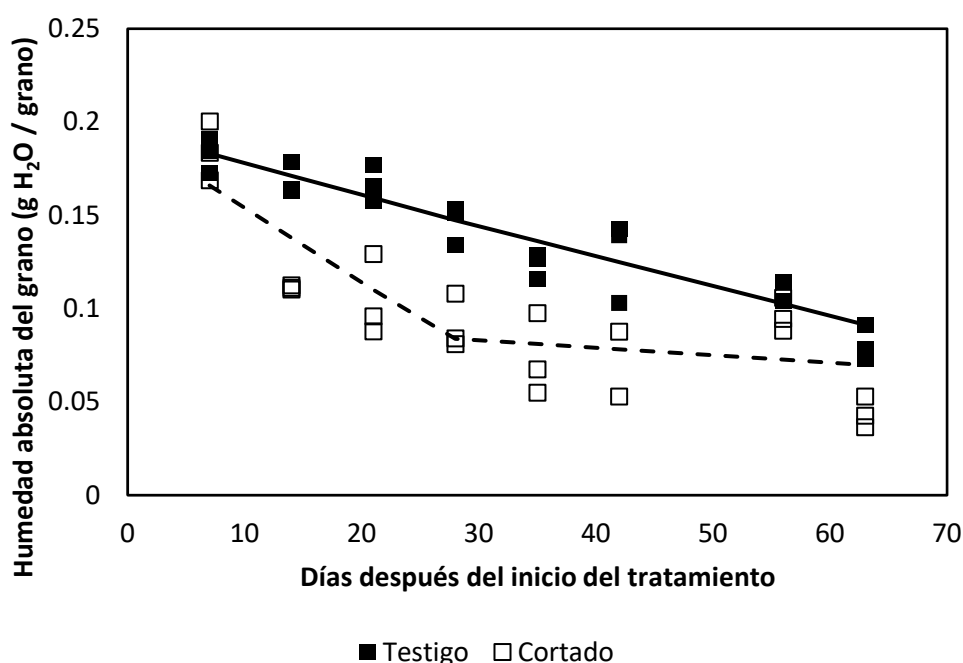


Figura 7. Variación de la humedad absoluta del granos (g H₂O/grano) en función de los días posteriores al inicio de los tratamientos.

Sorprendentemente, la respuesta observada en la segunda pendiente resultó opuesta a la primera, aunque no logró contrabalancear totalmente la mayor tasa de desecamiento resultante del tratamiento cortado. No se observaron diferencias entre tratamientos para la ordenada al origen ni para el momento de cambio de fase.

3.4. Rendimiento

A pesar del menor peso final de granos alcanzado por el tratamiento de conexión xilemática cortada, los rendimientos oscilaron los 10000 kg / ha en ambos tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos ($P > 0.05$, Cuadro 3).

Cuadro 4. Rendimiento de los tratamientos

Tratamiento	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Desvío estándar (kg ha⁻¹)
Testigo	9782,2 NS	882,8
Cortado	10059,6 NS	907,8

NS = No significativo (P>0.05)

4.DISCUSIÓN

Durante el año 2022 y hasta mediados del 2023 se está dando un fenómeno de sequía importante que ha traído dificultades para el manejo de los cultivos. Sin embargo, las condiciones experimentales llevadas a cabo bajo condiciones hídricas y nutricionales no limitantes determinaron que los rendimientos fuera alrededor de 10000 kg por hectárea, considerados como muy altos (Statista, 2023). A pesar del menor peso unitario de los granos obtenido en el tratamiento con el pedúnculo cortado, el rendimiento no difirió respecto al tratamiento control (Cuadro 3). Este resultado resulta esperable, considerando que la principal componente del rendimiento de este cultivo no es el peso sino el número de granos por unidad de superficie (Cárcova et al. 2003).

En los análisis realizados, se puede afirmar que, al realizar un corte en la base de la espiga para interrumpir la vía xilemática, los granos presentaron una mayor tasa de disminución de las humedades relativas (Fig. 6) y absolutas (Fig. 7) durante la primera fase de secado, respecto al tratamiento testigo. Además, se observó un adelantamiento en el cambio de fase (parámetro Gamma, Cuadro 1). Sorprendentemente, esta respuesta resultó opuesta a la esperada de acuerdo con antecedentes hechos también en maíz (Zhang et al., 2022). Aunque las causas de estas respuestas contradictorias no son claras, el tratamiento llevado a cabo en este trabajo es menos invasivo que la técnica de generación de tratamientos a base de tinciones llevada a cabo por Zhang et al. (2022). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis del trabajo que sostiene que la interrupción vascular de la base de la espiga, llevada a cabo después de la madurez fisiológica, retarda la tasa de pérdida de humedad de los granos durante la fase 1 de la ventana de cosecha.

5.CONCLUSIONES

Esta estrategia fue diseñada con el fin de encontrar algunas propuestas que puedan ser llevadas a cabo en futuros planes de mejoramiento para acelerar el proceso de secado de granos en los maíces tardíos. Efectivamente, el corte xilemático de la base de la espiga aceleró este proceso a través de una mayor tasa de pérdida de humedad durante la primera fase rápida de secado, que depende fundamentalmente de las características del genotipo

y no de las condiciones ambientales (Herrera et al., 2015). Como consecuencia, se logró alcanzar la madurez comercial alrededor de 65 días posteriores al inicio del tratamiento (que equivale al comienzo de la ventana de cosecha). Aunque esta línea de investigación sigue siendo incipiente, este trabajo proporciona una nueva base teórica para seleccionar y mejorar cultivares de maíz adecuados para la cosecha mecánica de granos. Además, existen otros factores de carácter hormonal que podrían incidir en las respuestas de los genotipos que deberían ser investigados en futuros planes de investigación (Zhang, et al, 2018).

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales. Agradecemos a César Alfonso y su familia por la valiosa colaboración en la instalación, mantenimiento y cuidado del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

Cárcova, J., Borrás, L. y Otegui, M.E. (2003) Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz. En E. H. Satorre, R. L. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. Otegui, y R. Savin, eds. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina, p. 783.

De Emilio, M1; Tamagnone, M2; Miguez, L2 y Ferraguti, F3 (2019) 1 AER INTA Las Rosas, 2 Asesor privado, 3 EEA INTA Oliveros

Herrera, V; Leis, N; Seren, F. (2015) Facultad de Ciencias Agropecuarias – FCA

Papucci, S.; González, A.; Cruciani, M; Tuttolomondo, G.; González, M. (2016) Cátedra de Sistemas de Cultivos Extensivos Facultad de Ciencias Agrarias – UNR

Servicio Meteorológico Nacional (2023). <https://www.smn.gob.ar/clima/vigilancia>

Statista (2023). Rendimiento del cultivo de maíz en Argentina de 2019 a 2031. <https://es.statista.com/estadisticas/1334090/argentina-rendimiento-de-la-cosecha-de-maiz/#:~:text=En%202021%2C%20la%20cosecha%20de,hect%C3%A1rea%20frente%20al%20a%C3%B1o%20anterior.>

Zhang, G.-P., Marasini, M., Li, W.-W., & Zhang, F.-L. (2022). Grain filling leads to backflow of surplus water from the maize grain to the cob and plant via the xylem. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008896>

Zhang, L., Liang, X.-G., Shen, S., Yin, H., Zhou, L.-L., Gao, Z., Lv, X.-Y., & Zhou, S.-L. (2018). Increasing the abscisic acid level in maize grains induces precocious maturation by accelerating grain filling and dehydration. *Plant Growth Regulation*, 86(1), 65–79. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0411-7>