

Evolución del área foliar en canopeos de maíz creciendo sobre cultivo de cobertura y sobre barbecho limpio bajo condiciones contrastantes de agua en el suelo

Irigoyen, A.I.; M. A. Cambareri; L. Echarte y R. E. Rivas

RESUMEN

El desarrollo del canopeo influencia la interceptación de radiación, asimilación y partición de los productos fotosintéticos y así, el rendimiento del cultivo. Los objetivos del presente trabajo fueron a) describir la evolución del área foliar en canopeos de maíz creciendo bajo diferente disponibilidad de agua con y sin cobertura de la superficie con residuos vegetales y b) caracterizar los atributos morfológicos de las hojas mediante el tamaño máximo alcanzado. Un experimento a campo fue conducido en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Balcarce, Argentina) durante la campaña agrícola 2016-2017. Se sembró un híbrido de ciclo intermedio (DK692 VT3P RR) el 15 de noviembre a la densidad media de 8 plantas m². Los tratamientos incluyeron la combinación de (i) dos niveles de disponibilidad de agua (con riego, R y secano, S) y (ii) dos tipos de cobertura (sin cobertura, conv, y suelo con un cultivo de cobertura previo de vicia (*Vicia villosa* Roth.) y avena (*Avena sativa* L.), CC). El área foliar por planta fue menor en los canopeos con cultivo de cobertura (CC) previo al maíz bajo condiciones limitantes de agua. Sin limitantes de agua, los atributos morfológicos de las hojas de maíz creciendo en secuencia a un cultivo de cobertura (CC) no se modificaron significativamente con respecto a los canopeos que se desarrollaron después de un barbecho limpio (conv). En secano, las diferencias de tamaño más significativas se detectaron en las hojas de mayor dimensión, en las cuales se modificó tanto el ancho como la longitud. Se observó un retraso y una reducción de la duración del período con tasas máximas de expansión foliar en la estación de crecimiento del tratamiento SCC.

Palabras clave: área foliar relativo; tiempo térmico; expansión foliar

Irigoyen, A.I.; M. A. Cambareri; L. Echarte and R. E. Rivas 2019. Evolution of leaf area in maize canopies growing on cover crop and clean fallow under contrasting soil water availability. RADA X: 25-34

SUMMARY

Canopy development influences the radiation interception, assimilation and partitioning of photosynthetic products and final crop yield. The objectives of the present work were: a) to describe the evolution of leaf area in maize canopy growing under contrasting soil water availability and soil surface cover with plant; and b) to characterize the morphologic attributes of individual leaves by the maximum attained size. One field experiment was conducted in southern of Buenos Aires province (Balcarce, Argentina) during the 2016-2017 growing season. An intermediate maize hybrid (DK692 VT3P RR) was sown on 15 November with a plant density of 8 plants m⁻². Treatments included the combination of (i) two water regimes (irrigated, R and rainfed, S) and (ii) two soil covers (without soil cover, conv, and soil with a previous cover crop of vicia (*Vicia villosa* Roth.) and oat (*Avena sativa* L.), CC). The leaf area per plant was reduced in canopies with cover crop (CC) prior to maize under water-limiting conditions. Without water limitations, the morphological attributes of maize leaves growing in sequence to a cover crop (CC) were not significantly modified with respect to canopy that did develop after a clean fallow (conv). In rainfed conditions, the most significant size differences were detected in the larger leaves, in which both the width and length were modified. A delay and a reduction of the duration of period of maximum rates in the leaf expansion was observed at the growing season for SCC treatment.

Key words: relative leaf area; thermal time; leaf expansion

A.I. Irigoyen ; M. A. Cambareri; L. Echarte y R. E. Rivas. Unidad Integrada Balcarce: Fac. de Ciencias Agrarias UNMdP -INTA Balcarce. Ruta Nac. 226, km 73,5, Balcarce CC 276 (7620), Argentina. Correspondencia a: irigoyen.andrea@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del canopeo influye en la interceptación de radiación, asimilación y la partición de los productos fotosintéticos que determinan el rendimiento final del cultivo. En maíz, el hábito de crecimiento del híbrido es uno de los factores que afecta la generación de área foliar verde (Birch *et al.*, 2003; Maune, 2014). A su vez, la estructura del canopeo también puede modificarse por prácticas de manejo como la fecha de siembra, la densidad de plantas y la disponibilidad de nutrientes y agua (Maddoni *et al.*, 2001; Birch *et al.*, 2003; Valentinuz y Tollenaar, 2006; Birch *et al.*, 2008; Maune, 2014; Díaz, 2015; Corral, 2016).

En el sudeste bonaerense se ha descrito la variación de los atributos físicos y funcionales del canopeo asociados a prácticas de manejo del cultivo (Maune, 2014; Díaz, 2015; Irigoyen *et al.*, 2015; Corral, 2016). En los últimos años, se ha iniciado la evaluación biofísica para el manejo de maíz implantado después de un cultivo de cobertura (Irigoyen *et al.*, 2016), práctica que se promueve actualmente en la región para un uso más eficiente de los recursos del ambiente. Los CC son establecidos entre dos cultivos de verano

y no son pastoreados, cosechados ni incorporados (Álvarez y Scianca, 2006).

Es de interés evaluar si el uso del CC provoca variaciones en la generación y mantenimiento del área foliar verde, por las implicancias directas sobre el uso de agua y la producción de biomasa y rendimiento. Las deficiencias de agua durante el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz reducen la tasa de expansión y división celular, provocando una disminución en el área foliar verde y en la altura de las plantas (NeSmith y Ritchie, 1992; Andrade *et al.*, 1996; Tardieu *et al.*, 2000). El número total de hojas (NTH) en condiciones no limitantes queda determinado por el tiempo térmico desde emergencia a la aparición de la inflorescencia masculina (Capristo *et al.*, 2007). Por otra parte, el NTH se ha mostrado sensible a las condiciones ambientales como la temperatura y el fotoperíodo (Andrade *et al.*, 1996; Maune, 2014), pero no a las condiciones nutricionales (Lemcoff y Loomis, 1986; Muchow y Davis, 1988; Colomb *et al.*, 2000).

La tasa y la duración de la expansión foliar definen el crecimiento de la planta ya que el área foliar controla la interceptación de la radiación usada en fotosíntesis y así la producción de materia seca (Andrade *et al.*, 1996). La tasa de expansión foliar puede considerarse constante por unidad de

tiempo térmico bajo condiciones ambientales no limitantes (Lizaso *et al.*, 2003; Sadok *et al.*, 2007). A su vez, existe una máxima tasa de expansión para cada una de las hojas que depende de la posición de la hoja en la planta (Andrieu *et al.*, 2006). Por su parte, el tamaño máximo individual de cada hoja en este cultivo puede ser descrito a partir de una función en forma de campana con relación al número de hoja (Dwyer y Stewart, 1986), aunque también ha sido demostrado que las prácticas de manejo pueden modificar la forma de esa curva (Valentinuz y Tollenaar, 2006; Karadavut *et al.*, 2010; Maune, 2014; Díaz, 2015, Corral, 2016). La evolución de la senescencia puede ser simulada con una función exponencial al tiempo térmico acumulado desde la siembra (Wilson *et al.*, 1995).

Debido a que la información detallada sobre la expansión y la senescencia de hojas individuales ha permitido mejorar la precisión de modelos de área foliar (Stewart and Dwyer, 1994; Birch *et al.*, 1998; Lizaso *et al.* 2003) y que la descripción de los atributos morfológicos del canopeo en determinados momentos fenológicos puede contribuir a la predicción del rendimiento (España *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2014), es de interés también caracterizar aspectos morfológicos del canopeo a escala de hoja individual.

Si bien, se han descrito algunos indicadores del desarrollo foliar para canopeos de maíz luego de un cultivo de cobertura (CC) en el sudeste bonaerense (Irigoyen *et al.*, 2016; Irigoyen *et al.*, 2018) aún no se han analizado en detalle los mecanismos de desarrollo y senescencia foliar que determinan un menor área foliar por planta en el canopeo CC respecto al canopeo de manejo convencional de barbecho limpio (conv) cuando se maneja en seco (S) y, que a su vez, no diferencian el área foliar entre los tratamientos de cobertura (conv y CC) bajo un manejo sin limitantes de agua (R).

Los objetivos del presente trabajo fueron a) describir la evolución del área foliar en canopeos de maíz creciendo bajo diferente disponibilidad de agua con y sin cobertura de la superficie con residuos vegetales y b) caracterizar los atributos morfológicos de las hojas mediante el tamaño máximo alcanzado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña agrícola 2016-2017 fue conducido un experimento en Balcarce, Argentina (37°45' S, 58°18' O; 130m snm) sobre un suelo Argiudol típico con una profundidad efectiva de 1,7 m. Se evaluaron condiciones de disponibilidad

de agua (secano S y riego R) en dos manejos: (i) barbecho limpio con siembra convencional (conv) y (ii) con residuos vegetales en superficie por cultivo de cobertura previo (CC).

El CC estuvo compuesto por vicia (*Vicia villosa* Roth.) y avena (*Avena sativa* L.). El maíz (DK692 VT3, MR118) se sembró el 15/11 a una densidad de 8 plantas m². La emergencia del cultivo fue registrada el 25/11 y el 27/11 para los manejos conv y CC, respectivamente. Los tratamientos estuvieron dispuestos en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los tratamientos de riego fueron asignados a la parcela principal y los de cobertura a la subparcela. Cada subparcela comprendió seis hileras de 12 m de longitud.

El contenido de agua en el suelo se midió semanalmente, con una combinación del método gravimétrico (0-0,10 m) y del método de dispersión de neutrones (0,1 -1,7m). El contenido de agua en cada subparcela experimental fue determinado como la suma del contenido en cada una de las capas medidas. Se expresó la disponibilidad en relación con la capacidad de agua disponible del perfil que se obtuvo a partir de la profundidad (1,7 m) y los límites máximo y mínimo de almacenaje de agua (3,6 y 2 mm cm⁻¹, respectivamente). En los tratamientos R se utilizó riego por goteo, para asegurar un nivel de agua en el suelo por encima del 50% de agua disponible (AD).

Las determinaciones fenométricas y fenológicas fueron realizadas semanalmente sobre 15 plantas por tratamiento. El área foliar verde por planta (AFV) fue determinado para cada fecha de monitoreo mediante la integración del área de hojas individuales, que a su vez fue estimado mediante un modelo multiplicativo entre longitud (L), ancho máximo de la lámina (A) y un factor constante (0,75) atribuido a la forma de la hoja. En el momento de máximo desarrollo foliar se determinó número total de hojas (NTH), altura total de plantas (ATOT) e índice de área foliar (IAF máximo).

La evolución del área foliar durante la estación de crecimiento fue expresada como área foliar verde por planta (AFV) y como área foliar relativo (AFV/AFV máximo de cada tratamiento). Se calculó el tiempo térmico (TT) acumulado desde la siembra hasta cada una de las fechas de determinación, empleando el método residual con temperatura base de 8°C.

Se contabilizó por tratamiento el número de hojas por planta agrupadas según el estado de desarrollo: a) hojas en desarrollo o expansión (cuando aún no alcanzaron su tamaño máximo), b) hojas con tamaño final o área máxima (AFmax) y c) hojas senescentes (cuando ya comenzaron

a disminuir el área foliar activa). A partir de las determinaciones consecutivas se caracterizaron los atributos morfológicos de las láminas finales de cada hoja mediante los valores medios de: área máxima (AFmax), ancho máximo (Amax) y longitud máxima (Lmax). Las hojas fueron numeradas por orden de aparición nodal desde la base al tope del canopeo.

Se utilizaron las hojas nodales 8,10 y 12 para describir la evolución de la elongación promedio en función del tiempo térmico desde siembra hasta la expansión completa (estados fenológicos V8, V10 y V12, respectivamente).

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) empleando el procedimiento PROC MIXED del paquete SAS (SAS/IML® 14.1, 2015) para testear los efectos de la disponibilidad de agua y la cobertura de la superficie (C) y sus interacciones en el IAF máximo, el número total de hojas (NHT) y altura final (ATOT). Cuando las interacciones fueron significativas se aplicó test de contrastes para comparar los valores medios (con nivel de significancia 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta la evolución del agua disponible en el perfil de suelo, la distribución de las precipitaciones y el riego aplicado durante la estación de crecimiento. Los manejos en secano (SCC y Sconv) tienen un período de restricción

hídrica durante el desarrollo vegetativo, mientras que los manejos con aplicación adicional de agua (RCC y Rconv) no presentan condicionantes para el desarrollo y crecimiento debidos a la falta de agua. La evolución del contenido de agua en el suelo para cada tratamiento y su relación con el uso de agua y rendimiento fue descrita en Cambareri *et al.* (2018 a y b).

En la Tabla 1 se presentan los atributos alcanzados por canopeo (IAF máximo) y por planta (NTH y ATOT) en el momento de la aparición de la inflorescencia masculina (VT). Hubo interacción significativa de los efectos de la disponibilidad de agua y de la cobertura para los atributos IAF máximo y NTH. Sin limitantes de agua, el IAF máximo alcanzado en los canopeos de RCC no se diferenció significativamente del obtenido con Rconv. El canopeo limitado por agua (SCC) afectó sensiblemente el IAF máximo respecto al canopeo del manejo RCC. El NTH fue el atributo menos afectado por los tratamientos. En general, se pueden describir efectos importantes para este atributo cuando los tratamientos exponen al cultivo a diferentes temperaturas o fotoperíodos (Andrade *et al.*, 1996; Maune, 2014).

El período de generación de área foliar (hasta VT) se extendió hasta los 70 y 72 días desde siembra en los canopeos de barbecho limpio (Rconv y Sconv) y hasta los 77 y 84 días en los canopeos que siguieron al cultivo de cobertura (RCC y SCC, respectivamente). El retraso inicial observado por efecto de CC desde la siembra a la

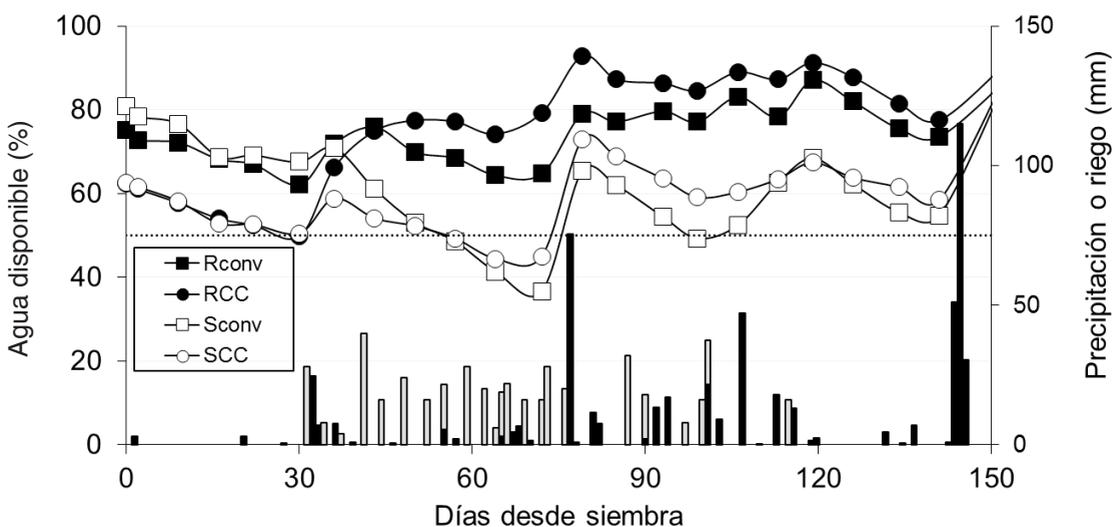


Figura 1. Agua disponible en el perfil total de suelo (1,7 m profundidad) para canopeos de maíz creciendo con y sin cultivo de cobertura previo (CC y conv) en secano (S) y bajo riego (R). Las barras verticales en negro indican precipitación diaria (mm) y las barras verticales sin relleno indican lámina de riego diaria (mm) en los tratamientos R. La línea punteada al 50% de agua disponible representa un nivel seguro para la mayoría de los cultivos.

emergencia del cultivo (2 días) se incrementó hasta VT, pero no fue suficiente ese desplazamiento para modificar las condiciones de exposición a temperatura y fotoperíodo capaces de generar cambios significativos en el NTH, como que los que observan al modificar la fecha de siembra a intervalos de un mes o más (Andrade *et al.*, 1996; Maune, 2014). No hubo interacción significativa para el ATOT, observándose menor altura en las plantas del canopeo CC que en las del canopeo conv, independientemente de la disponibilidad de agua.

Tabla 1. Índice de área foliar máximo (IAF máximo), número total de hojas (NTH) y altura final (ATOT) en canopeos de maíz creciendo con y sin cultivo de cobertura previo (CC y conv) en secano (S) y bajo riego (R). Se indica el momento de IAF máximo para cada tratamiento en días desde siembra (DDS).

| Tratamiento | IAF máximo (m ² /m ²) | NTH | ATOT(m) |
|-------------|--|--------|---------|
| RCC | 4,2 A (77 DDS) | 19,9 B | 1,94 B |
| Rconv | 4,7 A (70 DDS) | 20,5 A | 2,13 A |
| SCC | 2,2 b (84 DDS) | 20,5 a | 1,11 b |
| Sconv | 3,8 a (72 DDS) | 20,6 a | 1,53 a |

Interacción disponibilidad de agua x cobertura:
IAF máximo interacción significativa ($p=0,0015$)
NTH interacción significativa ($p=0,0001$)
ATOT interacción no significativa ($p=0,0675$)

En la Figura 2 puede observarse la evolución del área foliar verde de acuerdo con los tratamientos de manejo de residuos en superficie (CC y conv) y de disponibilidad de agua en el suelo (R y S). El área foliar verde por planta (Figura 2a) en CC se diferenció desde el inicio del monitoreo, con un retraso en la expansión foliar. A partir de los 400 °C día y durante el restante período de generación del área foliar (hasta la aparición de la inflorescencia masculina, VT), el manejo en secano y sobre cultivo de cobertura (SCC) exhibió una reducción significativa respecto a los demás tratamientos. Entre los 30 a 70 días desde siembra (300 a 900 °C día aproximadamente), la disponibilidad de agua en secano disminuyó continuamente, iniciando a los 50 días (520 °C día) un período de limitación (menor a 50% de agua disponible), como se puede observar en la Figura 1. Por otra parte, el manejo con cobertura y en condiciones no limitantes (RCC), con una aplicación de riego de 428 mm, aunque inicialmente mostró un retraso en el desarrollo foliar, exhibió mecanismos de generación y mantenimiento del área foliar verde que no diferenciaron el área foliar máxima del manejo convencional con barbecho limpio (Rconv).

La descripción del área foliar relativa al máximo en cada tratamiento (Figura 2 b) brinda información para la toma de decisiones del momento de monitoreo y puede ser útil para el

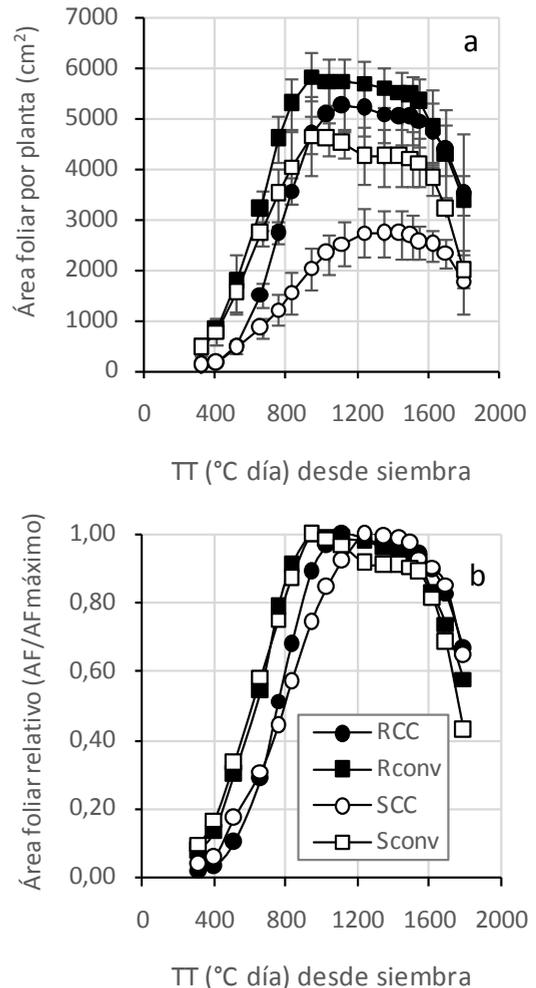


Figura 2. Evolución del área foliar verde por planta en canopeos de maíz creciendo con y sin cultivo de cobertura previo (CC y conv) en secano (S) y bajo riego (R). a. Área foliar verde por planta. b. Área foliar relativo. Se indica con la barra vertical el error estándar.

pronóstico anticipado de rendimiento (España *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2014). Aproximadamente a la mitad de la estación de crecimiento (937°C día) los manejos sin cobertura (Sconv y Rconv) alcanzaron su máximo valor y mostraron capacidad de mantener el área foliar superior al 0,9 del máximo alcanzado hasta los 1500°C día. Por su parte, el canopeo más limitado (SCC) alcanzó el máximo a los 1100 °C día (dos semanas posteriores a los manejos conv) y conservó valores mayores a 0,90 del máximo alcanzado también hasta los 1500 °C día. El manejo RCC alcanzó su valor máximo aproximadamente a los 1033 °C día y consiguió mantener por encima de 0,90 también hasta los 1500°C día. Tanto en el manejo RCC como Rconv, los canopeos se mantuvieron por encima del 90%

del máximo alcanzado por un período de 50 días, aunque desplazados en el tiempo.

Bajo condiciones ambientales semejantes a la campaña agrícola evaluada, si se monitorea a los 58 días desde siembra (752 °C día), el área foliar por planta estará próxima al 75% del máximo alcanzable en los manejos Sconv y al 80% en Rconv y apenas 51 y 44% en los manejos RCC y SCC, respectivamente. A su vez, si se monitorea el área foliar a la mitad de la estación de crecimiento (próximo a los 937 °C día), el área foliar tiene el máximo alcanzable en los canopeos de manejo convencional, mientras que representará alrededor del 89 y 74% del máximo esperable en canopeos con restricciones en el desarrollo (RCC y SCC, respectivamente). Estos resultados muestran que en condiciones limitantes de agua sería recomendable retrasar en el canopeo CC el momento de monitoreo para la determinación del área foliar máxima y otros atributos funcionales (*i.e* unidades de clorofila) importantes para la definición del rendimiento final.

El área foliar verde (AFV) por planta en un momento dado de la estación de crecimiento está determinado por el número de hojas por planta y el tamaño de cada hoja. La expansión foliar, que incluye tanto la elongación como el aumento en el ancho de la lámina, determina el tamaño final alcanzado por cada hoja (AFmax). Entre los 900 y 1400 °C día se observó el mayor número de hojas con el tamaño máximo (Figura 3a), antes y después de ese período son relevantes la expansión y la senescencia foliar. La expansión completa de un número importante de hojas en el canopeo SCC a partir de los 950°C día determinó un incremento significativo de área foliar por planta (Figura 2a).

El número de hojas por planta en expansión aumentó progresivamente hasta los 700-900 °C día (de acuerdo con el tratamiento) y luego decreció a 0, cuando estaban todas las hojas completamente expandidas (Figura 3b). Entre los 1600 °C día y la madurez fisiológica, el número de hojas senescentes por planta aumentó sustancialmente (Figura 3c) cualquiera sea el tratamiento. En el momento de máximo desarrollo del canopeo ya estaban senescentes entre 8 y 10 hojas, por lo que el crecimiento de los granos debió ser a expensas de la traslocación desde los tallos y la funcionalidad de las hojas del canopeo superior.

En la Figura 4 se muestra la distribución de los atributos morfológicos (AFmax, Lmax y Amax) de acuerdo con la posición nodal de las hojas en el canopeo. Aunque se observaron algunas diferencias en el área foliar máxima (AFmax) entre los tratamientos (Kruskal Wallis, significancia

de 0,05) en la porción central de canopeo, la distribución del tamaño máximo de las hojas siguiendo una curva en forma de campana se mantuvo en cada uno de los tratamientos, en concordancia con lo reportado en la literatura para varias prácticas de manejo del cultivo (Valentinuz y Tollenaar, 2006; Karadavut *et al.*, 2010; Maune, 2014; Díaz, 2015; Corral, 2016).

Se observaron cambios diferenciados asociados con los manejos CC y conv en la distribución de tamaños de hojas de acuerdo con la disponibilidad de agua. Bajo el manejo conv, el suministro adicional de agua desplazó el centro de simetría de la curva de distribución de área foliar máxima hacia las hojas que aparecieron posteriormente (hoja 12 a hoja 14-15), mientras que en el manejo CC no modificó el centro, pero si el tamaño final de hojas. Este efecto debe relacionarse con el momento y magnitud de las deficiencias de agua en la campaña agrícola (Figura 1).

Valores reducidos de AFmax (Figura 4a) en las hojas del canopeo SCC se deben a una disminución simultánea de la longitud (Figura 4b) y del ancho de las láminas (Figura 4c). Las diferencias en área foliar por planta entre tratamientos, en parte pueden explicarse por el tamaño máximo alcanzado por cada hoja individual (Figura 4a) y en parte, por el número de hojas que se expanden o senescen en un determinado momento (Figura 3) que afectan la tasa relativa de crecimiento del canopeo en general.

Sin limitación hídrica, la duración de la elongación aumentó a medida que aumentó la posición nodal de las hojas hacia el centro del canopeo en los dos manejos conv y CC (Figura 5). Se observó un retraso en el proceso de expansión foliar en la estación de crecimiento para el tratamiento SCC y a su vez, una reducción de la duración del período con tasas máximas (Figura 5 a, b y c). Algunos estados fenológicos (*i.e* V8 y V10) se registraron posteriormente en el manejo más restrictivo (SCC) y cuando algún estado se alcanzó en simultáneo con los demás tratamientos (*i.e* V12), la menor duración de la expansión debida al retraso en la iniciación de la expansión determinó un tamaño significativamente menor de la hoja. El estado de 12 hojas desarrolladas (V12) es clave en la fisiología del rendimiento, ya que en este momento se definen el número potencial de granos y el tamaño de la espiga (Ritchie *et al.*, 1997). Por otra parte, la hoja 12 es frecuentemente la hoja de la espiga y por esa razón es empleada para describir algunos modelos de desarrollo foliar y rendimiento del cultivo (España *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2014). El canopeo de maíz siguiendo a un cultivo de cobertura y sin limitantes (RCC)

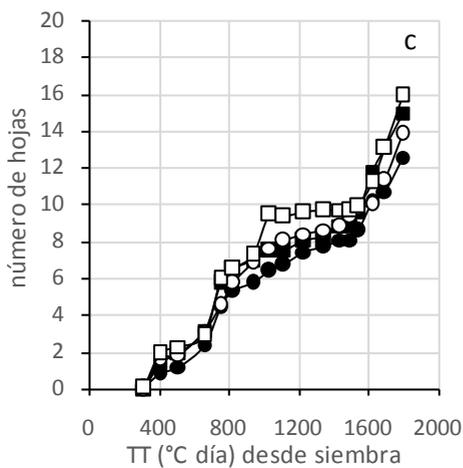
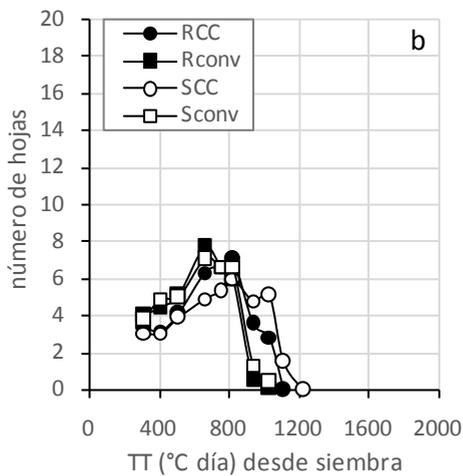
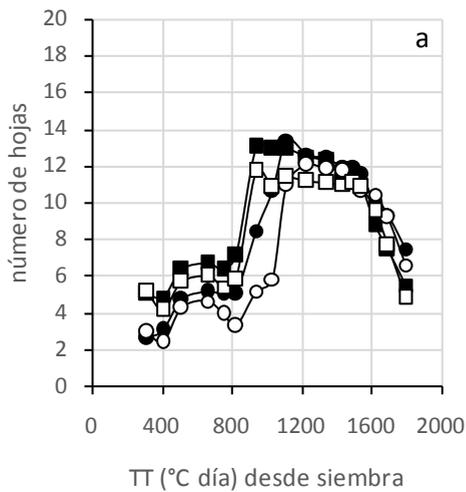


Figura 3. Evolución del número de hojas por planta de acuerdo con el estado de desarrollo en canopeos de maíz creciendo con y sin cultivo de cobertura CC y conv) en seco (S) y bajo riego (R). a. Hojas con el área máxima alcanzada (AFmax). b. Hojas en desarrollo. c. Hojas senescentes.

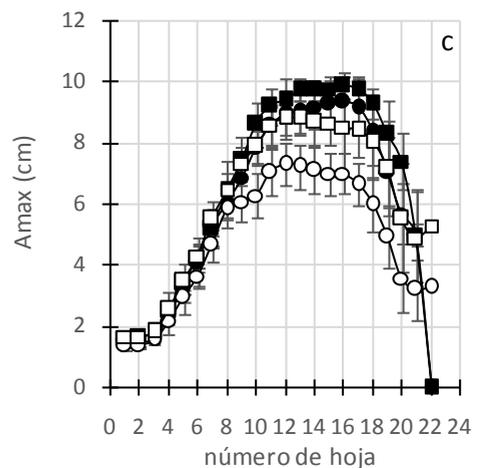
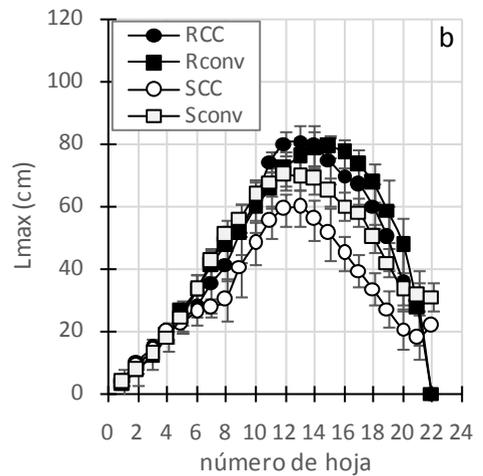
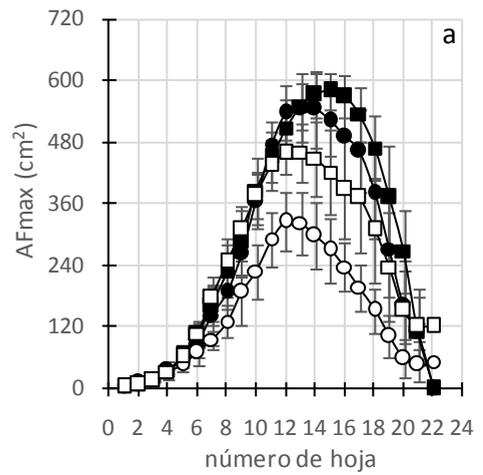


Figura 4. Valores medios de los atributos morfológicos de las hojas en canopeos de maíz creciendo con y sin cultivo de cobertura previo (CC y conv) en seco (S) y bajo riego (R). a. Área foliar máxima (AFmax). b. Longitud máxima (Lmax). c. Ancho máximo (Amax). Se indica con la barra vertical el error estándar.

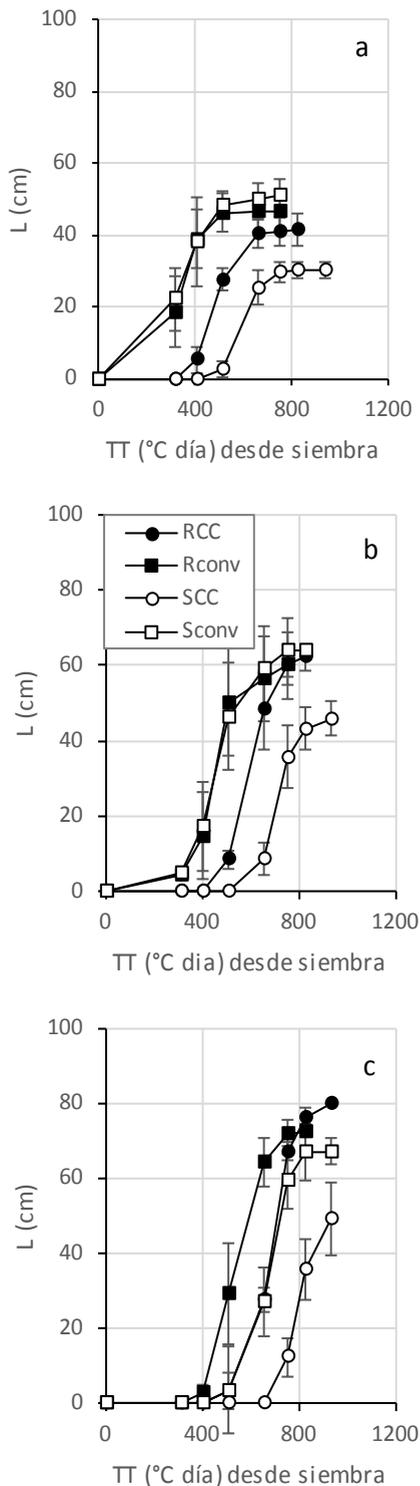


Figura 5. Evolución de la longitud de la lámina (L) hasta alcanzar la longitud máxima (Lmax) en hojas seleccionadas de canopeos de maíz con y sin cultivo de cobertura previo (CC y conv) en secoano (S) y bajo riego (R). a. Hoja 8. b. Hoja 10. c. Hoja 12. Se indica con la barra vertical el error estándar.

mostró tasas de elongación semejantes e incluso superiores a las observadas en canopeos con los manejos de barbecho limpio con y sin limitantes (Sconv y Rconv).

CONCLUSIONES

En este estudio se caracteriza la influencia de la inclusión de un cultivo de cobertura (CC) y el contenido de agua en el suelo sobre atributos estructurales del canopeo de maíz (*i.e.* área foliar) y de las hojas individuales (*i.e.* área foliar máxima, longitud máxima y ancho máximo).

Se demostró que la presencia de un cultivo de cobertura modifica la generación de área foliar si existen limitantes de agua durante el desarrollo vegetativo, como las experimentadas en secoano durante la campaña agrícola 2016-2017; mientras que, bajo condiciones no limitantes, a pesar del retraso en el crecimiento y desarrollo foliar, el índice de área foliar máximo en canopeos siguiendo al cultivo de cobertura pueden no diferenciarse de los alcanzados con el manejo convencional de barbecho limpio.

Sin limitantes de agua, los atributos morfológicos de las hojas de maíz creciendo luego de un cultivo de cobertura no se modifican significativamente con respecto a los canopeos que se desarrollan después de un barbecho limpio (conv). En secoano, las diferencias de tamaño más significativas se detectan en las hojas de mayor dimensión y son debidas a una reducción tanto del ancho como de la longitud.

Nuestro trabajo sugiere que los atributos del canopeo se modifican con la inclusión de CC si hay limitantes de agua y esta condición debiera considerarse si se propone el manejo en secoano de maíz siguiendo a un cultivo de cobertura para no afectar negativamente la interceptación de radiación y el ulterior rendimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) que han provisto la financiación del presente trabajo. A. Irigoyen y R. Rivas son investigadores de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). L. Echarte es investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet).

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C.; Scianca, C. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. Jornada Profesional Agrícola 2006. INTA, Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. 16 p.
- Andrade, F.H.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M.E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. DekalbPress. Balcarce, Argentina. 292 p.
- Andrieu, B.; Hillier, J.; Birch, C. 2006. Onset of the sheath extension and duration of lamina extension are major determinants of the response of maize lamina length to plant density. *Annals of Botany* 98: 1005-1016.
- Birch, C.J.; Hammer, G.L.; Rickert, K.G. 1998. Improved methods for predicting individual leaf area and leaf senescence in maize (*Zea mays*). *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 249-262.
- Birch, C.J.; Vos, J.; van Der Putten, P.E.L. 2003. Plant development and leaf area production in contrasting cultivars of maize grown in a cool temperate environment in the field. *European Journal of Agronomy* 19: 173-188.
- Birch, C.J.; Thornby D.; Adkins S.; Andrieu B.; Hanan, J. 2008. Architectural modelling of maize under water stress. *Australian J. Exp. Agriculture* 48: 335-341.
- Cambareri, M. A.; Irigoyen, A.I.; Echarte, L.; Fereres, E. 2018 a. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua de maíz sobre cultivo de cobertura en el sudeste bonaerense. I: Condiciones de secano. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología. Villa de Merlo.
- Cambareri, M. A.; Irigoyen, A.I.; Echarte, L.; Fereres, E. 2018 b. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua de maíz sobre cultivo de cobertura en el sudeste bonaerense. II: Condiciones de agua no limitante. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología. Villa de Merlo.
- Chen, G.; Zhang, J.; Liu, P; Dong, S. 2014. An empirical model for changes in the leaf area of maize. *Can. J. Plant Sci.* (2014) 94: 749-757.
- Colomb, B.; Kiniry, J.R.; Debaeke, P. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agronomy Journal* 92: 428-435.
- Corral, A. 2016. Densidad de plantas y estructura del canopeo de maíz. Tesis de graduación. UNMdP, Argentina. 54 p.
- Díaz, V. 2015. Área foliar verde y estructura del canopeo en el cultivo de maíz bajo sistemas con diferente grado de intensificación en la producción de granos. Tesis de graduación. UNMdP, Argentina. 42 p.
- Dwyer, L. M.; Stewart, D. W. 1986. Leaf area development in field grown maize. *Agronomy J.* 78: 334-343.
- España, M. L.; Baret, F.; Aries, F.; Chelle, M.; Andrieu, B. and Prévot, L. 1999. Modeling maize canopy 3D architecture application to reflectance simulation. *Ecol. Model.* 122: 25-43.
- Irigoyen, A.; Corral, A.; Díaz, V.N.; Echarte, L. 2015. Chlorophyll leaf profile and light attenuation during reproductive stages of maize as affected by plant population. In: de Campos, A.B.; Gabriels, D. and Deyanira, L.L. (ed.) *Impacts of Agroecosystems on Environment*. CH. I. Environmental sustainability of agrosystems: 23-28. UNESCO Chair of Eremology, Ghent University, Belgium and International Centre of Eremology (ICE), Ghent University, Belgium.
- Irigoyen, A.I.; Cambareri, M.A.; Echarte, L. 2016. Estructura vertical del canopeo de maíz en panojamiento: Efecto de la cobertura de la superficie, agua y nitrógeno. XVI Reunión Argentina y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Puerto Madryn.
- Irigoyen, A.I.; Cambareri, M.A.; Echarte, L.; Bayala, M.I.; Rivas, R.E. 2018. Efectos de la cobertura de la superficie, agua y nitrógeno sobre atributos del canopeo de maíz en panojamiento. *Revista Argentina de Agrometeorología*, v. IX: 75-84.
- Karadavut, U.; Palta, C.; Kokten, K.; Bakoglu. 2010. Comparative study on some non-linear growth models for describing leaf growth of maize. *Int. J. Agric. Biol.* 12: 227-230.
- Lemcoff, J. H.; Loomis, R. S. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Science* 26:1017-1022.
- Lizaso, J.T.; Batchelor, W.D.; Wesgate, M. E. 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research* 80:1-17.
- Maddonni, G.A.; Otegui, M.E.; Cirilo, A.G. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation. *Field Crops Res.* 71: 183-193.
- Maune, C. 2014. Fechas de siembra y desarrollo del área foliar pre-antesis en híbridos de maíz de diferente madurez relativa. Tesis de graduación, UNMdP, Balcarce, Argentina. 46 p.
- Muchow, R. C.; Davis, R. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18:17-30.
- NeSmith, D. S.; Ritchie, J.T. 1992. Short and long-term response of corn to pre-anthesis soil water deficit. *Agron. J.* 84:107- 113.
- Ritchie, S. W.; Hanway, J. H.; Benson, G. O. 1997. How a corn plant develops. Ames: Cooperative Extension Service. 21 p.

- Sadok, W.; Naudin, P.; Boussuge, Muller, B.; Welcker, C.; Tardieu, F. 2007. Leaf growth rate per unit thermal time follows QTL dependent daily patterns in hundreds of maize lines under naturally fluctuating conditions. *Plant, Cell and Environment* 30: 135-146.
- SAS University Edition. 2015. SAS/IML® 14.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Stewart, D. W.; Dwyer, L. M. 1994. A model of expansion and senescence of individual leaves of field-grown maize (*Zea mays* L.). *Can. J. Plant Sci.* 74: 37-42.
- Tardieu, F.; Reymond, M.; Hamard, P.; Granier, C.; Muller, B. 2000. Spatial distributions of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves. *Journal of Experimental Botany* 51: 1505-1514.
- Valentinuz, O.R.; Tollenaar, M. 2006. Effect of genotype, nitrogen, plant density and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. *Agron. J.* 98:94-99.
- Wilson, D.R.; Muchow, R.C; Murgatroyd, C.J. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in a cool climate. *Field Crops Research* 43: 1-18.