

EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MÁXIMA Y LA EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA EN UN CULTIVO DE MAÍZ EN BALCARCE (ARGENTINA).

L. TAMBASCIO⁽¹⁾, A. IRIGOYEN⁽¹⁾, A. DELLA MAGGIORA⁽¹⁾, O. VALENTINUZ⁽²⁾ y J. GARDIOL⁽³⁾.

⁽¹⁾ Unidad Integrada: Fac. Cs. Agrarias UNMDP-EEA Balcarce (INTA).E-mail: adellamaggiora@balcarce.inta.gov.ar

⁽²⁾ EEA Paraná (INTA)

⁽³⁾ Depto. Ciencias de la Atmósfera. Fac. Cs. Exactas y Naturales (UBA)

Resumen

Se estableció como objetivo evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre la evapotranspiración máxima y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de maíz en la localidad de Balcarce (Argentina).

El 10/10/95 se sembró el híbrido de maíz Dekalb 636 a tres densidades, la óptima para la zona (D) con 9.1 pl.m⁻², baja (¼ D) con 2.2 pl.m⁻² y alta (2D) con 16.2 pl.m⁻². El cultivo creció con adecuada provisión de agua, nutrientes, y libres de enfermedades y plagas. La evapotranspiración máxima del cultivo (ETM) se calculó realizando el balance de agua del suelo a partir de mediciones de humedad en el suelo y teniendo en cuenta los datos de precipitación y la lámina de riego.

La evapotranspiración acumulada entre emergencia y madurez fisiológica fue de 557 mm para ¼ D, 600 mm para D y 633 mm para 2 D, con una ETM media de 3.8, 4.1 y 4.4 mm día⁻¹ respectivamente. Las eficiencias de uso de agua calculadas como la pendiente de la relación entre la materia seca acumulada y el consumo de agua acumulado resultaron 23, 52 y 48 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ para ¼ D, D y 2D respectivamente. Las eficiencias en relación con el rendimiento fueron de 7.7, 18 y 14.6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para ¼ D, D y 2D.

Palabras claves: maíz, evapotranspiración, eficiencia en el uso de agua, densidad de siembra.

Introducción

La evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, sin limitaciones de agua y nutrientes se denomina evapotranspiración máxima (ETM) y representa el requerimiento de agua de un cultivo. Está afectada por las características del cultivo y del clima, por lo tanto se debe medir para cada región y cultivo (Hillel, 1990). Dentro de las características de la planta, pueden citarse la especie, el grado de cobertura, la densidad, la orientación, la profundidad de enraizamiento y el estado de crecimiento.

El cambio en densidad modifica la evapotranspiración puesto que afecta el balance de energía sobre la superficie. Así cuando el agua en el suelo está fácilmente disponible, altas densidades interceptarán más energía que bajas densidades, resultando una mayor transpiración. La evaporación en bajas densidades será mayor que en las altas. Mientras que cuando el suministro de agua comienza a afectar la evaporación potencial, la situación cambia. La diferencia en evaporación

entre altas y bajas densidades será menor que la diferencia en transpiración, ya que está más afectado por el suministro de agua que por la radiación, según lo expuesto por Tanner *et al.* (1960).

Con respecto al desarrollo de la planta, en bajas densidades se puede compensar la falta de individuos aumentando: I) el área foliar por planta y II) el número de estructuras reproductivas por planta. Si la densidad es alta, se reduce el área foliar por planta y el rendimiento por planta. La estabilidad de rendimiento, ante cambios en la densidad depende de la capacidad de las plantas de producir granos, cuando hay escasez de un recurso.

El maíz presenta menor estabilidad en el rendimiento que los cultivos de girasol y soja, además en densidades muy bajas esta especie no posee suficiente plasticidad vegetativa ni reproductiva (Gardner *et al.*, 1985). Valentinuz (1996), en Balcarce y en el mismo ensayo empleado para este trabajo, reporta al maíz como el más sensible en rendimiento (en relación con girasol y soja) frente a los cambios en la densidad de plantas debido a la escasa capacidad de incrementar el número de granos por planta a bajas densidades y a un alto umbral de la tasa de crecimiento por planta durante el período crítico.

La cantidad de agua usada por un cultivo (ET) está relacionada con la producción de materia seca total (MS) y con el rendimiento. Gardner *et al.* (1986) define al cociente entre MS y la ET como eficiencia en el uso de agua (EUA) y se puede expresar como g de MS kg⁻¹ de agua o kg de MS. ha⁻¹ mm⁻¹ de agua. Se aplica tanto para materia seca total como para rendimiento comercializable (MS/ET o Rendimiento/ET).

La alta eficiencia en el uso de agua en el cultivo de maíz, se debe principalmente a su metabolismo C4 (Andrade, 1993) que le confiere alta capacidad de fijación de dióxido de carbono por unidad de agua transpirada. Debido a la dependencia de EUA de la condición climática, se encuentra en la bibliografía un amplio rango de EUA para cultivos con adecuada disponibilidad de agua. Se citan valores desde 10-12 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Eck *et al.*, 1986) hasta 24 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Steele *et al.* 1994) con valores intermedios de 17 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Hattendorf *et al.*, 1988 y Howell *et al.*, 1998).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre la evapotranspiración máxima y la eficiencia en el uso de agua en un cultivo de maíz en la localidad de Balcarce.

Materiales y Métodos

La experiencia se realizó, durante el ciclo agrícola 1995-1996 en la Unidad Integrada de Balcarce: Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP-Estación Experimental Agropecuaria (INTA) de la localidad de Balcarce, Argentina (37° 45' S y 58° 18' W, 130 m snm) sobre un suelo Argiudol típico con una profundidad efectiva de 1.50 m.

El híbrido de maíz Dekalb 636 fue sembrado el 10 de octubre de 1995 a tres densidades: óptima para la zona con 9.1 pl.m^{-2} (D), un cuarto de la óptima con 2.2 pl.m^{-2} ($\frac{1}{4}$ D) y el doble de la óptima con 16.2 pl.m^{-2} (2D). El cultivo creció en óptimas condiciones nutricionales e hídricas, libre de plagas y enfermedades. Se aplicó riego por aspersión para mantener el nivel de disponibilidad de agua en el suelo igual o superior al 50%.

Se midió la humedad del suelo, 2 veces por semana, muestreando cada 0.10 m en la capa de 0-0.40 m y cada 0.20 m entre 0.40-1.20 m. Se utilizó el método gravimétrico entre 0-0.10 m y el de dispersión de neutrones entre 0.10-1.20 m de profundidad, utilizando un equipo Troxler mod. 4300.

La evapotranspiración del cultivo de maíz se determinó a partir de la variación de almacenaje de agua del suelo, sumando las lluvias y el riego y descontando el drenaje cuando la lámina de agua actual del suelo superaba el límite máximo. La cantidad de agua incorporada por el riego se cuantificó realizando mediciones de humedad antes y después de cada riego.

Para relacionar la evapotranspiración del cultivo de maíz con la demanda atmosférica se calculó la evapotranspiración de referencia a partir del método de Penman (1948). Los datos necesarios para realizar la estimación se obtuvieron de los informes periódicos de la estación Agrometeorológica Principal de INTA Balcarce.

La evolución fenológica del cultivo, se determinó a través de 2 observaciones semanales, en seis plantas por parcela, utilizando la clave propuesta por Ritchie y Hanway, (1982). La materia seca aérea (MS) acumulada por el cultivo se determinó cortando las plantas a nivel del suelo y secándolas a $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en estufa con circulación forzada de aire hasta peso constante. Las muestras de girasol fueron de tres plantas ($\frac{1}{4}$ D) y cinco plantas (D y 2D) por subparcela. Los muestreos se realizaron en V9, V15, R1, R2, R4, y R6. La cosecha se realizó en una superficie de 10 m^2 . Las plantas fueron trilladas a máquina y la humedad medida con humidímetro TESMA (TESMA SAIC, Bs. As).

Se calculó la eficiencia en el uso de agua como la pendiente de la relación entre materia seca y evapotranspiración y como el cociente entre el rendimiento obtenido y la evapotranspiración acumulada durante la estación de crecimiento.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistic Analysis System (SAS Intitute Inc., 1985).

Resultados y Discusión

La evolución fenológica no presentó notables diferencias debidas a los tratamientos. El comienzo de la etapa reproductiva ocurrió al mismo tiempo en las tres densidades y la duración del subperíodo hasta madurez fisiológica fue igual para $\frac{1}{4}$ D y D, mientras que para 2D se extendió unos días. En la Tabla 1 se presenta la fenología para la densidad óptima (D).

Tabla 1. Ocurrencia de las fases fenológicas según Ritchie y Hanway (1982).

Fase	Descripción	Fecha	DDE
	Siembra	10/10	
VE	Emergencia	21/10	11
V6	Seis hojas expandidas.	1/12	41
VT	Panojamiento.	9/1	80
R1	Emergencia de estigmas.	15/1	86
R2	Cuaje (ampolla).	30/1	101
R3	Grano lechoso.	2/2	104
R5	Grano dentado.	29/2	131
R6	Madurez fisiológica.	15/3	145

Tabla 2. Evapotranspiración máxima durante la estación de crecimiento (ETT), en el subperíodo Emergencia-Floración (ETAF) y en el subperíodo Floración-Madurez Fisiológica (ETPF).

	ETT (mm)	ETAF (mm)	ETPF (mm)
¼ D	557.4 c	317.3 c	240.2 c
D	600.1 b	342.9 b	257.3 b
2 D	632.7 a	352.8 a	279.9 a

Letras diferentes indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

La evapotranspiración acumulada durante la estación de crecimiento (ETT) mostró diferencias significativas debidas a la densidad de siembra (Tabla 2), con la secuencia $2D > D > \frac{1}{4} D$. La evapotranspiración acumulada en el subperíodo Emergencia-Floración fue mayor que la correspondiente al de Floración-Madurez Fisiológica para las tres densidades, alcanzando un valor promedio de 57%. En los dos subperíodos se mantuvo la relación $2D > D > \frac{1}{4} D$.

La demanda atmosférica (ETo) acumulada fue mayor que la evapotranspiración máxima de las tres densidades durante toda la estación de crecimiento (Fig.1). Durante esta campaña, la demanda atmosférica alcanzada fue 648 mm y las diferencias con las ETT fueron de 91, 48 y 15 mm para $\frac{1}{4} D$, D y 2D, respectivamente.

En la Fig. 2.a se presenta la evolución de la evapotranspiración media de la densidad D en relación con la evapotranspiración de referencia, mostrando un período donde la ETM superó a la ETo en un rango del 5 al 15% durante el máximo desarrollo del cultivo (50 a 130 días desde emergencia). En la Fig.2.b. se pueden visualizar las diferencias en ETM de las densidades $\frac{1}{4} D$ y 2D con respecto a D. Aunque en algunos períodos coincidieron las ETM de las tres densidades, en gran parte de la estación de crecimiento la ETM diaria de 2D superó a D y $\frac{1}{4} D$.

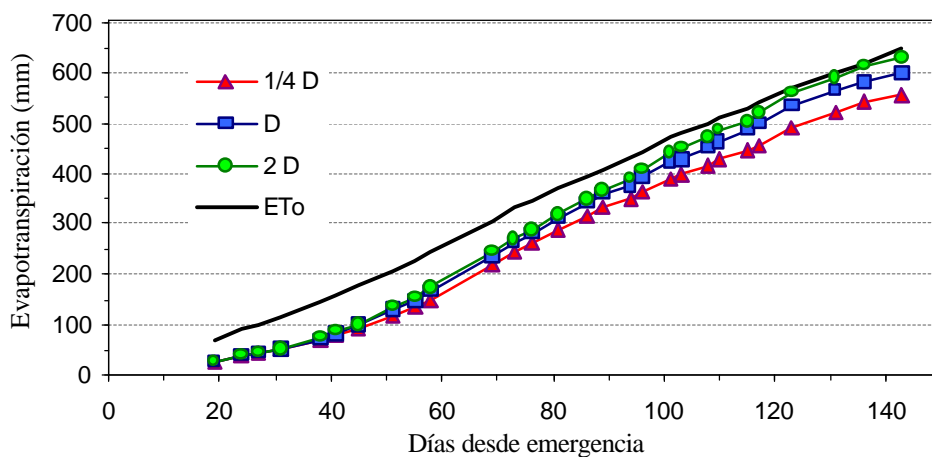


Fig.1. Evolución de la evapotranspiración del cultivo de maíz y de la evapotranspiración de referencia durante la estación de crecimiento.

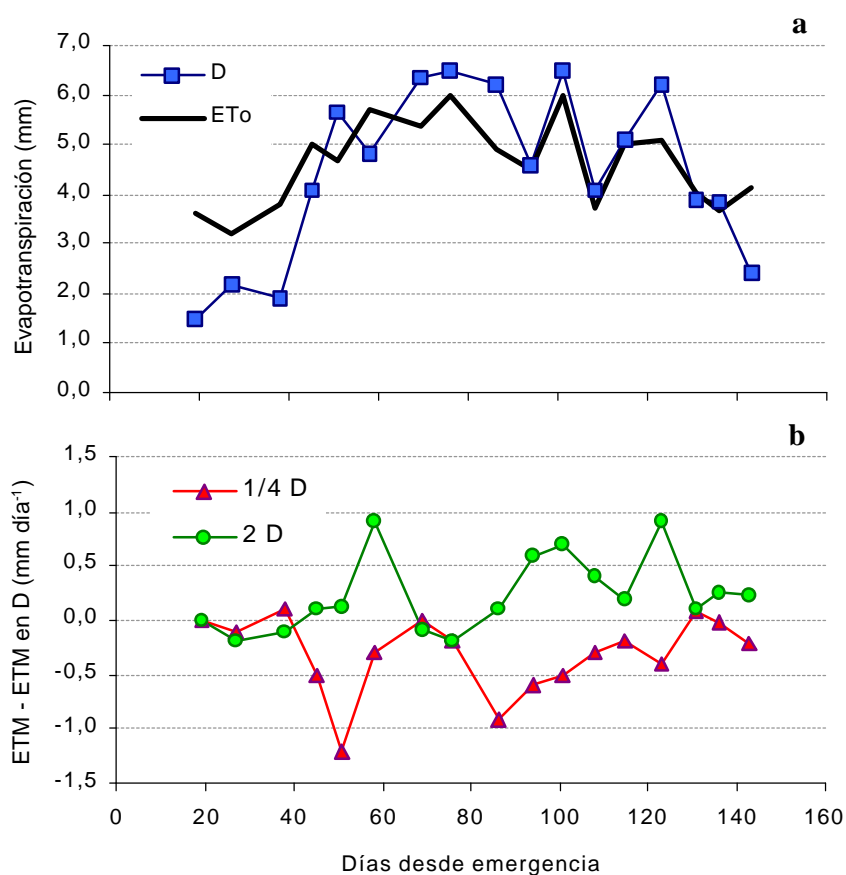


Fig. 2. Evapotranspiración en la densidad D y Evapotranspiración de referencia (a) Diferencias de evapotranspiración en las densidades 1/4 D y 2 D con respecto a la óptima D (b).

Las tasas más altas se alcanzaron a los 96 días desde emergencia (entre R1 y R2), con valores de 7.3, 6.8 y 6.6 mm día⁻¹ para 2D, D y 1/4 D, respectivamente. Las tasas medias durante la estación de crecimiento fueron 3.8, 4.1 y 4.4 mm día⁻¹.

Las eficiencias de uso de agua calculadas como la pendiente de la relación entre la materia seca producida acumulada y el consumo de agua acumulado (Fig. 3) alcanzaron los valores de 24, 54 y 48 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para la ¼ D, D y 2D respectivamente. Los coeficientes obtenidos se presentan en la Tabla 3. La disminución tan marcada en ¼ D puede explicarse por una disminución del 61% en la producción de materia seca con respecto a la densidad óptima, mientras que la ETM sólo se redujo en 7%. Valentinuz (1996) atribuye esta disminución a la menor radiación interceptada en la baja densidad debido a su baja plasticidad vegetativa.

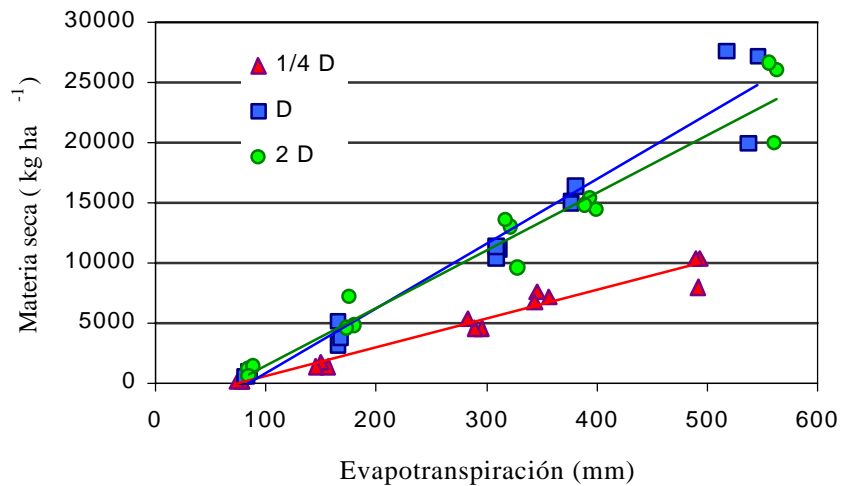


Fig. 3. Relación entre Materia Seca producida y Evapotranspiración. Los datos de Materia Seca fueron determinados por Valentinuz (1996).

Tabla 3. Coeficientes de las ecuaciones de ajuste obtenidas para la eficiencia en el uso de agua.

Tratamiento	a	b	R ²
¼ D	-1747.4	23.74	0.96
D	-4583.1	53.92	0.95
2 D	-3128.5	47.718	0.95

A partir de la relación entre a y b se calculó la evaporación (Tabla 4), obteniéndose valores de 74, 85 y 65 mm, para ¼ D, D y 2 D respectivamente. Aumento en la densidad por encima de la óptima provocó una disminución de la evaporación, por modificación del balance de energía sobre la superficie. Las diferencias en evaporación entre las densidades ¼ D y 2D no fueron tan marcadas como en transpiración, coincidiendo con lo señalado por Tanner *et al.* (1960).

Tabla 4. Partición de la Evapotranspiración (ETT) en las tres densidades. La evaporación fue estimada como a b⁻¹ (Howell, 1990).

Tratamiento	Evaporación (mm)	Transpiración (mm)
¼ D	73.6	483.8
D	85.0	515.1
2 D	65.6	567.1

Cuando las eficiencias en el uso de agua se calcularon como la relación entre el rendimiento y la evapotranspiración acumulada, los valores obtenidos fueron de 7.7, 18 y 14.6 kg ha⁻¹mm⁻¹ para ¼ D, D y 2 D. La densidad baja mostró diferencias marcadas con las restantes debido a su bajo rendimiento, alcanzando una disminución del 60% con respecto a la densidad óptima. Esto se explica por la escasa capacidad del cultivo de maíz para incrementar el número de granos por planta en bajas densidades.

Conclusiones

A bajas densidades la disminución de la eficiencia en el uso de agua con respecto a la densidad óptima, es más importante que la disminución en evapotranspiración, debido a que la disminución en materia seca y rendimiento es altamente significativa. La eficiencia de altas densidades no se aleja tanto de la densidad óptima, ya que hay diferencias semejantes en las disminuciones de evapotranspiración y en producción de materia seca.

Bibliografía

- Andrade, F.H. 1993. Crecimiento y rendimiento comparados de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico 114. EEA INTA Balcarce.
- Eck, H.V. 1986. Effects of water deficit on yield, yield component, and water use efficiency of irrigated corn. *Agron. J.* 78:1035-1040.
- Gardner, B. R, R, B. Pearce and R.I. Mitchell. 1985. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State Univ.Press.USA.
- Hattenforf M.J., M.S. Redelfs, B. Amos, I.R. Stone, and R.E. Gwin. 1988. Comparative water use characteristics of six row crops. *Agron. J.* 80 : 80-85.
- Hillel, D. 1990. Role of Irrigation in Agricultural Systems. In: B.A.Stewart and D.R. Nielsen (eds.). *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy N° 30. ASA,CSSA and SSSA .Wisconsin. USA.
- Howell, T. 1990. Relationship between crop production and transpiration, evapotranspiration and irrigation. In: B.A.Stewart and D.R. Nielsen (eds.). *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy N° 30. . ASA,CSSA and SSSA .Wisconsin. USA.
- Howell, T.A., J.A. Tolk, A.D. Schneider, and S.R. Evett. 1998. Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agron. J.* 90:3-9.
- Penman, H.I. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London. Proc. Ser. A.* 193: 120-146.
- Ritchie, S.W, and J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 48.
- Steele, D.D., E.C.Stegman, and B.L. Gregor. 1994. Field comparison of irrigation scheduling methods for corn. *Transactions of the ASAE* 37: 1197-1203.
- Tanner,C.B., A. Peterson and J.Love.1960. Radiant energy exchange in a corn field. *Agron. J.* 52:373-379.
- Valentinuz, O.R. 1996. Crecimiento y rendimiento comparados de girasol, maíz y soja ante cambios de densidad de plantas.Tesis M. Sci. Fac. Cs. Agrarias. UNMdP.

Trabajo subsidiado por:

Universidad Nacional de Mar del Plata, Universidad de Buenos Aires y EEA INTA Balcarce.