

Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay

Giménez Luis¹, García Petillo Mario²

¹*Departamento de Producción Vegetal. Estación Experimental «Dr. Mario A. Cassinoni». Facultad de Agronomía. Ruta 3, Km. 363. Paysandú. Uruguay. Universidad de la República. Correo electrónico: kapoexe@fagro.edu.uy*

²*Departamento de Suelos y Aguas. Unidad de Hidrología. Facultad de Agronomía. Av. E. Garzón 780. Montevideo. Uruguay. Universidad de la República.*

Recibido: 12/10/10 Aceptado: 12/7/11

Resumen

Durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos para grano se presentan un conjunto de limitantes que impiden la obtención de los rendimientos potenciales. En particular, en los cultivos de verano realizados en secano se destacan las deficiencias hídricas como uno de los principales factores que afectan los rendimientos. En este trabajo se estimaron las necesidades potenciales de agua de los cultivos a través de la evapotranspiración de los cultivos (ETc) como forma de evaluar las necesidades potenciales de agua en los cultivos de verano y la evapotranspiración real (ETr) de los cultivos realizados en secano que ocurre en condiciones de campo. El estudio consistió en estimar la ETc y la ETr en soja de GM IV y VI, maíz, sorgo y girasol en dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay en un período de 24 años (1984/2007) utilizando el modelo WinSAREG. Las necesidades de agua variaron. Los años «Niña» y «Niño» se destacaron con los mayores y menores valores de ETc respectivamente. Las necesidades de agua estuvieron asociadas a la longitud de los ciclos. La ETc diaria fue superior en la localidad norte y la ETc total en la sur. La ETr obtenida fue sustancialmente menor que la ETc y de mayor variabilidad en la mayoría de las situaciones estudiadas. El girasol y el sorgo fueron los cultivos que presentaron menores diferencias entre la ETc y la ETr, y la soja y el maíz mostraron las mayores.

Palabras clave: ET, soja, girasol, maíz, sorgo

Summary

Summer Crops Evapotranspiration for Two Climatically Constrating Regions of Uruguay

During the growth and development of grain crops there are a series of limiting factors which prevent obtaining yields to full potential. In particular, in summer crops grown in rain fed conditions, water deficiency stands out as one of the main factors affecting yield productivity. In this study crop evapotranspiration (ETc) was estimated as a way to assess water needs in summer crops and real evapotranspiration (ETr) of rainfed crops that occurs under field conditions. The study consisted in estimating ETc and ETr of soybean GM IV and VI, corn, sorghum and sunflower in two contrasting climatic regions of Uruguay for a period of 24 years (1984/2007) using the model WinSAREG. Water needs varied. The «Niña» and «Niño» years stood out with higher and lower values of ETc respectively. Such water needs are linked to cycle duration. Daily ETc was higher in the North and total

ETc was higher in the South. The ETr obtained was substantially lower than ETc and with higher variability in most agro-climatic situations studied. Sunflower and sorghum were the crops that presented the least differences between ETc and ETr, and soybean and corn showed the greatest differences at both locations.

Key words: ET, soybean, sunflower, corn, sorghum

Introducción

Las necesidades de agua de los cultivos son variables y corresponden a la evapotranspiración (ET) que presentan en el ambiente en el que se desarrollan y a la aplicación de la tecnología utilizada en cada situación productiva (Pereira y Alves, 2005).

En los cultivos agrícolas se presentan un conjunto de limitantes para la obtención de los rendimientos potenciales, pero las deficiencias hídricas, especialmente en los cultivos de verano realizados en secano, se destacan como el factor principal en causar pérdidas en los rendimientos (Boyer, 1982). Las consecuencias de las deficiencias de agua sobre el crecimiento y el rendimiento en grano, dependerán de las etapas de desarrollo en que ocurran (Dardanelli *et al.*, 2003), de las magnitudes que presenten las mismas y del cultivo que se trate.

En Uruguay son escasos los estudios que hayan cuantificado la ETc de los cultivos agrícolas. Se destaca el trabajo de Agorio *et al.* (1988), en el cual se estimaron las ETc y las necesidades de riego en diferentes cultivos hortícolas, frutícolas y agrícolas. El estudio se basó en la realización de balances hídricos de suelo en diferentes zonas del país. En cultivos agrícolas de secano, se trabajó en maíz para las zonas centro-norte y sur y en soja para la zona centro norte y este. Se concluyó que en la mayoría de las situaciones estudiadas es esperable y con alta frecuencia la ocurrencia de deficiencias de agua en verano y por ende la necesidad de riego en los cultivos, el volumen de agua requerido varió con las condiciones climáticas promedio de la zona, las ETc y la Capacidad de Agua Disponible de los suelos (CAAD).

La agricultura extensiva, exceptuando al arroz, se ha realizado mayoritariamente en secano y en esas condiciones la ETr es un factor con escasas posibilidades de manejo. La misma se encuentra determinada principalmente por la demanda atmosférica,

la ocurrencia de precipitaciones (PP), la CAAD de los suelos y las características morfo-fisiológicas del cultivo.

La ET de los cultivos bajo condiciones estándar para FAO (Allen *et al.*, 1998) se denomina ETc y refiere a la ET cuando el cultivo se encuentra bajo óptimas condiciones de suelo, agua y manejo y alcanza el rendimiento potencial. Este valor de ET representa la mayor tasa a la que puede evapotranspirar un cultivo en determinado ambiente, por lo que se suele llamar como ET máxima.

La evolución de la ETc está regulada por la demanda atmosférica dada por las condiciones meteorológicas y por los factores que determinan el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Della Maggiora *et al.*, 2000).

La ET en condiciones no estándar se denomina por FAO como ETc ajustada y refiere a la ET de cultivos que crecen y se desarrollan en condiciones ambientales y de manejo diferentes a las condiciones no limitantes. En condiciones de campo la ET ajustada puede ser menor que la ETc debido a condiciones no óptimas y se suele llamar evapotranspiración real (ETr) (Allen *et al.*, 1998).

La ETr estima el consumo de agua de los cultivos que ocurre en las situaciones reales de campo en condiciones de secano.

En cultivos de verano realizados en secano, las medidas de manejo que logran influir en la disponibilidad de agua son escasas y de bajo impacto sobre los rendimientos.

En ese sentido, en maíz a través de cambios en las fechas de siembra se intentó ubicar el Período Crítico (PC) de determinación del rendimiento en épocas del año en que las demandas atmosféricas no fueran las máximas, pero esto no significó incrementos estables en los rendimientos (DIEA, 2010). En condiciones de secano la disponibilidad hídrica durante el PC depende principalmente de la ocurrencia de PP antes y durante la etapa. Los balances

hídricos de los suelos en los meses de diciembre, enero y febrero mayormente son negativos (Corsi, 1982) y esto se debe a que las PP efectivas en general no cubren la demanda atmosférica y a su vez presentan elevada variabilidad en volumen, intensidad y distribución. Por estos motivos, los cambios en las FS en maíz no han logrado ubicar el PC del cultivo en épocas del año con mejores condiciones hídricas.

De todas maneras, se han elaborado estrategias de manejo que intentan acumular agua durante los períodos entre cultivos, a través de definir duraciones mínimas del período de barbecho y mantener rastrojos abundantes y libres de malezas. Este tipo de manejo en condiciones de PP promedio posee un efecto positivo en mejorar el contenido hídrico del suelo, durante las primeras etapas de los cultivos. En cambio, el alcance es limitado en determinar los rendimientos, ya que los PC se ubican en las etapas reproductivas, alejados de la siembra, por lo tanto permanece la elevada dependencia de la ocurrencia de PP durante dichas etapas.

Por otra parte, la mayoría de los suelos sobre los que se realiza agricultura en el país presentan una CAAD que varía entre 80 y 160 mm (Molfino y Califra, 2001). En las mejores situaciones, la CAAD de los suelos cubre aproximadamente la tercera parte de

las ETc estimadas para los cultivos de verano en la región (Della Maggiora *et al.*, 2000). Dada la escasa CAAD de los suelos es notoria, la elevada dependencia de las recargas hídricas para lograr un abastecimiento ajustado a las demandas de los cultivos y en secano, las recargas provienen fundamentalmente de las PP.

El objetivo de este trabajo fue estimar las ETc y las ETr en soja de GM IV y VI, girasol, maíz y sorgo, en una serie amplia de años y en dos regiones climáticamente contrastantes, de manera de describir y cuantificar la situación hídrica de los principales cultivos de verano realizados en secano en el país.

Materiales y métodos

El trabajo consistió en simular balances hídricos de suelos para los cultivos de soja GM IV y VI, girasol, maíz y sorgo mediante la aplicación del modelo WinLSAREG (Pereira *et al.*, 2003).

En el Cuadro 1, se presenta la duración de los ciclos de los cultivos y de las etapas fenológicas. La información considerada se obtuvo en base a resultados de la Evaluación Nacional de Cultivares, convenio INIA-INASE, 2010 (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria e Instituto Nacional de Semillas) y de resultados de investigación de la Facultad de Agronomía (Giménez, 2007).

Cuadro 1. Fechas de siembra, inicio de etapa vegetativa, floración, formación de rendimiento, inicio de senescencia y cosecha.

SITIO	CULTIVO	Fecha de siembra	Fecha de inicio de estadios vegetativos	Fecha de floración	Fecha de formación de rendimiento	Fecha de inicio de senescencia	Fecha de cosecha
Colonia	Soja GM VI	01-nov	10-nov	10-ene	30-ene	10-mar	10-abr
	Soja GM IV	01-nov	07-nov	20-dic	10-ene	10-feb	10-mar
	Girasol	27-oct	06-nov	04-ene	05-ene	20-feb	12-mar
	Maíz	17-oct	24-oct	25-dic	26-dic	20-feb	18-mar
	Sorgo	26-oct	05-nov	10-ene	11-ene	06-mar	21-mar
Salto	Soja GM VI	01-nov	10-nov	30-dic	25-ene	01-mar	30-mar
	Soja GM IV	07-nov	14-nov	18-dic	07-ene	08-feb	22-feb
	Girasol	27-oct	03-nov	29-dic	30-dic	21-feb	20-feb
	Maíz	17-oct	24-oct	13-dic	14-dic	13-ene	14-feb
	Sorgo	26-oct	05-nov	26-dic	27-dic	18-feb	03-mar

La información climática con la que trabajó el modelo fue obtenida a partir de la serie de datos climáticos diarios de 1984 a 2007 proveniente de las Estaciones de INIA «La Estanzuela» (Colonia) ubicada a 34° 20' Lat. S y 57° 41' Long. W y la de «Salto Grande» (Salto) ubicada a 31° 16' Lat. S y 57° 53' Long. W. Las variables climáticas utilizadas fueron: PP, temperaturas medias, velocidad del viento, humedad relativa media del aire y heliofanía real. En el Cuadro 2, se muestran los valores medios mensuales de dichas variables para las zonas consideradas en el estudio.

La ETc se obtiene a través del producto de la ETo por un coeficiente de cultivo (Kc) adimensional (Doorembos y Pruitt, 1975) y adaptado posteriormente (Allen *et al.*, 1998; Pereira y Allen, 1999; Pereira y Alves, 2005), el cual corrige las diferencias entre el cultivo de referencia y un cultivo en particular, en altura, albedo, resistencia a la transferencia del vapor de agua y evaporación del suelo especialmente en la parte expuesta del mismo. El Kc varía con el cultivo y la etapa de desarrollo.

Cuadro 2. Parámetros climáticos mensuales promedio para Colonia y Salto en el período 1984-2007.

SITIO	T.MED. (1)		PREC. (2)		VIENTO (3)		HUM REL. (4)		HELIOF. (5)	
	Colonia	Salto	Colonia	Salto	Colonia	Salto	Colonia	Salto	Colonia	Salto
Octubre	16,2	18,9	118	151	234	192	75,4	75	7,4	7,5
Noviembre	18,8	21,4	119	132	233	181	72,5	71,7	8,8	8,9
Diciembre	21,4	23,9	102	121	226	170	69,5	67,7	9,4	9,1
Enero	23,1	25,6	97	130	218	167	68,8	67,5	9,6	9,4
Febrero	22,2	24,2	115	122	207	157	73,2	71,5	8,9	8,5
Marzo	20,5	21,7	144	173	199	140	75,6	73,1	7,6	7,5

(1) Temperatura media del aire en °C, (2) Precipitaciones en mm, (3) Velocidad del viento acumulada diaria en Km/h, (4) % Humedad relativa media del aire, (5) Heliofanía real en horas/día.

Cuadro 3. Coeficientes de cultivo en etapas inicial, media y final (Allen *et al.* 1998).

SITIO	CULTIVO	Kc (1) inicial	Kc medio	Kc final
Colonia				
	Soja GM VI	0,15	1,10	0,30
	Soja GM IV	0,15	1,10	0,30
	Girasol	0,15	1,00	0,25
	Maíz	0,15	1,15	0,50
	Sorgo	0,15	1,05	0,35
Salto				
	Soja GM VI	0,15	1,10	0,30
	Soja GM IV	0,15	1,10	0,30
	Girasol	0,15	1,00	0,25
	Maíz	0,15	1,15	0,50
	Sorgo	0,15	1,05	0,35

(1) Coeficiente de cultivo.

En el Cuadro 3, se presentan los Kc utilizados. Al no existir información nacional, se consideraron los Kc propuestos por Allen *et al.* (1998).

El modelo WinISAREG simula un balance hídrico con paso diario. Las principales salidas del mismo son: Evapotranspiración de cultivo (ETc) que es el consumo potencial de agua de los cultivos sin limitaciones, Evapotranspiración real (ETr) que es el consumo de agua efectivo de los cultivos proveniente de las PP y del agua almacenada en el suelo y las Necesidades Netas de agua de Riego (NNR) que es la sumatoria de los aportes hídricos que precisan los cultivos para alcanzar la ETc.

En el Cuadro 4, se presentan los parámetros hídricos de los suelos utilizados en las localidades de Colonia y Salto, los mismos fueron obtenidos en el laboratorio de suelos del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Paraná, a partir de muestras extraídas en ambos sitios.

El suelo de Colonia se clasifica como Brunosol sub-éutrico típico de la Unidad Cañada Nieto (Fine,

Cuadro 4. Parámetros hídricos de los suelos utilizados en la simulación.

SITIO						
Colonia						
	Horizonte	Profundidad	CC (1)	PMP (2)	DA (3)	CAAD (4)
		(cm)	(mm)	(mm)	(gr/cm ³)	(mm)
	A	0 - 20	91,1	52,2	1,48	38,9
	B	20 - 70	148,4	102	1,34	46,4
		0 - 70	239,5	154,2		85,3
Salto						
	A	0 - 20	141,6	91,8	1,35	49,8
	B	20 - 70	364,9	234,3	1,3	130,6
		0 - 70	506,5	326,1		180,4

1) Capacidad de campo, 2) Punto de marchitez permanente, 3) Densidad aparente, 4) Capacidad de almacenamiento de agua disponible.

thermic, superactive, mixed, Pachic Argiudoll) y el suelo de Salto como Vertisol perteneciente a la Unidad Itapebí-Tres Árboles (Fine, smectitic, thermic, Typic Hapludert).

Dado el objetivo de este trabajo los resultados obtenidos fueron presentados mediante el uso de estadísticas descriptivas, por lo tanto no se utilizaron métodos inferenciales.

Resultados y discusión

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

En el Cuadro 5, se muestran las estimaciones de las ETc y las ETr totales promedio de los cultivos en las localidades y serie de años estudiada.

Se observa que las ETc promedio de girasol, sorgo, maíz y soja GM IV, mostraron valores superiores en la localidad de Colonia. En cambio, la soja GM VI presentó un comportamiento inverso mostrando valores de ETc promedio levemente superior en Salto.

El comportamiento diferencial entre cultivos, se explica por la duración de los ciclos.

Las ETc diarias son superiores en Salto, debido a los valores de radiación solar y temperaturas mayores que presenta la localidad norte en relación a la sur (Cuadro 2), en cambio las ETc totales en la mayoría de los cultivos estudiados son superiores en Colonia.

La duración de los ciclos de girasol, maíz y sorgo está determinada principalmente por la acumulación térmica, esta respuesta es la responsable de la aceleración del desarrollo cuando los cultivos son expuestos a temperaturas más elevadas (Miralles *et al.*, 2003).

En concordancia con estudios anteriores (Cruz *et al.*, 2000), se constató para la serie de años estudiada que las temperaturas medias de Salto, fueron superiores a las de Colonia, esto provoca una menor longitud del ciclo en los cultivos mencionados en la localidad norte.

En el caso de soja la duración del ciclo está controlada por la acumulación térmica y por el fotoperíodo, la sensibilidad a cada factor depende del GM (Grupo de Madurez). Los GMs cortos, como el IV,

Cuadro 5. Evapotranspiración de cultivo y real total promedio para Colonia y Salto.

CULTIVO	Soja GM VI		Soja GM IV		Girasol		Maíz		Sorgo	
	ETc (1)	ETr (2)	ETc	ETr	ETc	ETr	ETc	ETr	ETc	ETr
Colonia	627	409	567	352	508	343	672	364	542	397
Salto	641	443	509	360	463	370	536	365	523	423

1) Evapotranspiración de cultivo total promedio (mm), (2) Evapotranspiración real total promedio (mm).

presentan baja sensibilidad al fotoperiodo, la acumulación de temperaturas es el factor de mayor importancia en la inducción floral y por ende en la duración del ciclo (Hadley *et al.*, 1984) En cambio, en soja de GM VI la duración del ciclo está afectada fundamentalmente por el fotoperiodo (Major *et al.*, 1975).

La soja es un cultivo de día corto con respuesta cuantitativa. La localidad de Salto debido a su menor latitud presenta, en verano, longitudes de fotoperiodo menores que Colonia, por lo cual la duración del ciclo total de soja de GM VI es menor en esa localidad.

Cabe destacar que para los cultivos estudiados y la información fenológica utilizada las diferencias en la longitud del fotoperiodo entre localidades, muestran un menor efecto en la duración de los ciclos que las que provocan las diferencias en temperaturas. Es por ese motivo, que el ciclo de soja de GM VI difiere menos entre localidades, que el resto de los cultivos.

El consumo potencial de agua de los cultivos, está determinado básicamente por la energía incidente proveniente de la radiación solar, el período de exposición a la misma y las características del cultivo.

En el caso de Salto, se presentaron mayores valores de ETc diarios que en Colonia, pero a su vez las duraciones de los ciclos en la localidad norte son sustancialmente menores en girasol, sorgo, maíz y soja de GM IV y como consecuencia se obtuvieron menores valores de ETc totales promedio que en la localidad sur.

En el caso de soja de GM VI, la duración del ciclo es igualmente menor en Salto, pero las diferencias entre las localidades son menores que en los restantes cultivos estudiados, provocando mayores valores de ETc totales promedio en la localidad norte.

Evapotranspiración real (ETr)

Como se muestra en el Cuadro 5, en Salto se obtuvieron ETr promedio totales similares o levemente superiores que en Colonia. Las diferencias entre localidades para un mismo cultivo fueron relativamente bajas, las mayores ocurrieron en soja de GM VI y fueron de 34 mm.

El comportamiento de la ETr promedio de Salto, se debió a que los balances hídricos de suelos en esta localidad presentaron mayor disponibilidad hídrica para los cultivos que en Colonia. Esto permitió a los mismos evapotranspirar en general mayores volúmenes de agua, no obstante las superiores demandas atmosféricas diarias de la localidad norte. El resultado de los balances hídricos se debió fundamentalmente a que las PP ocurridas en el norte en relación al sur fueron superiores en el 70% de los años evaluados, a la mayor CAAD del suelo de la localidad norte (Cuadro 4) y a la ocurrencia de demandas atmosféricas totales menores dadas las duraciones menores de los ciclos en Salto, tal como fuera discutido anteriormente.

Entre cultivos se observó que la ETr mayor se obtuvo en soja de GM VI en ambas localidades, dado que fue el cultivo con duración de ciclo mayor y las ETr menores fueron estimadas en soja de GM IV y girasol.

Las deficiencias hídricas promedio mayores del sur en relación al norte, han sido reportados en trabajos anteriores (Corsi, 1982). En el caso del cultivo de maíz Agorio *et al.* (1988) destacaron las necesidades de agua de riego mayores del sur en relación al este y al centro-norte debido a las menores PP efectivas de la zona sur. La información analizada no permite inferir que la localidad norte presente mayores potenciales de rendimiento en grano en los cultivos analizados, no obstante los mejores balances hídricos que permiten en general superiores ETr. Esto se debe a que en Salto, las condiciones de temperaturas medias superiores y fotoperiodos más cortos del verano, en relación a Colonia, provocan el acortamiento de los ciclos. Este factor interviene en forma negativa en la deposición de biomasa total y como consecuencia en el rendimiento de los cultivos.

Evapotranspiración de cultivo vs real

En las Figuras 1 a 10 se presentan en cada cultivo estudiado, las estimaciones de las ETc y las ETr para Colonia y Salto respectivamente, en soja de GM VI, girasol, sorgo, maíz y soja GM IV, para la serie de años evaluada.

Las ETc estimadas fueron superiores a las ETr en la mayoría de las situaciones planteadas, las diferen-

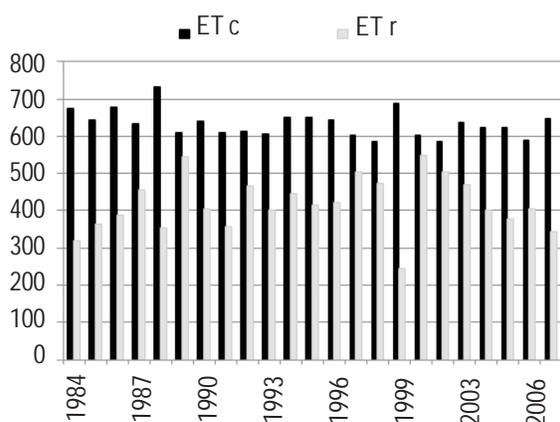


Figura 1. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) de soja de GM VI, en Colonia.

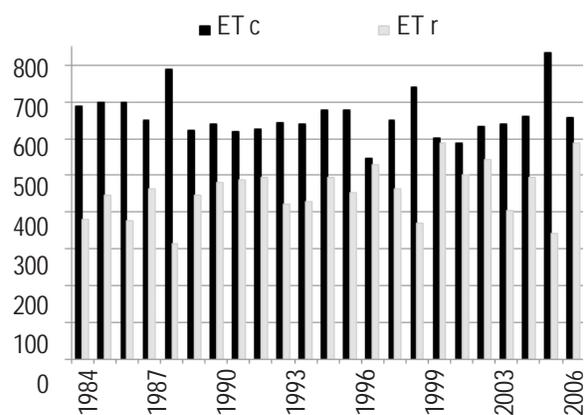


Figura 2. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) de soja de GM VI, en Salto.

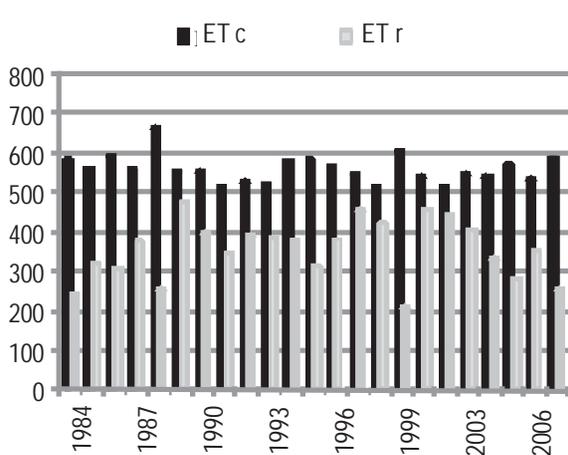


Figura 3. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en soja de GM IV, en Colonia.

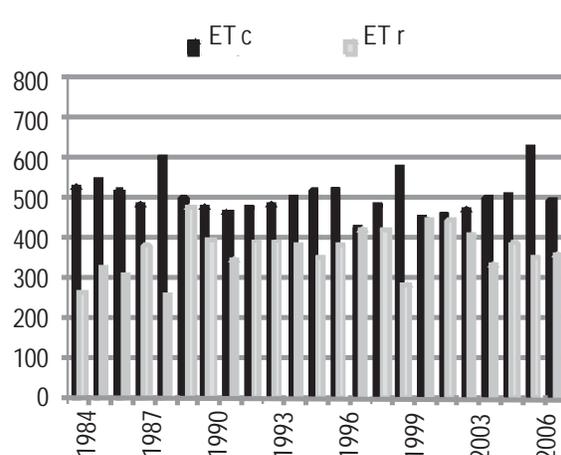


Figura 4. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en soja de GM IV, en Salto.

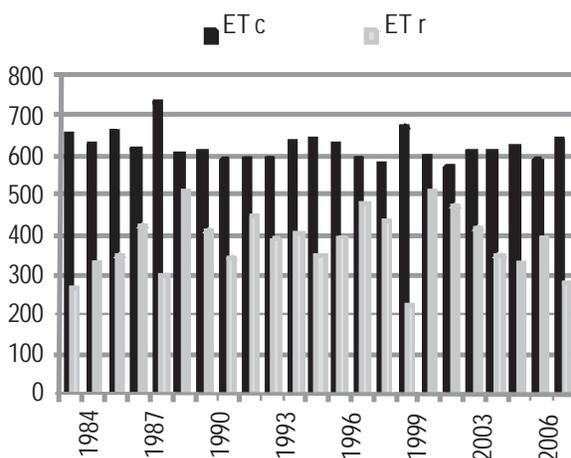


Figura 5. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en girasol, en Colonia.

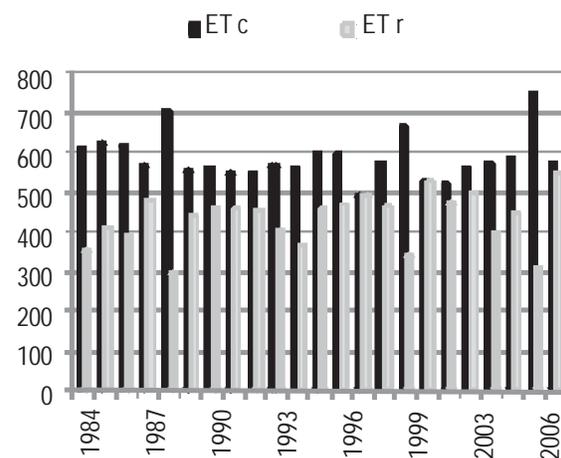


Figura 6. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en girasol, en Salto.

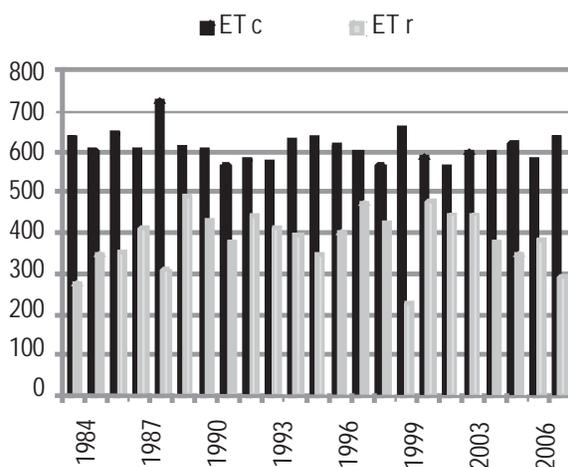


Figura 7. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en maíz, en Colonia.

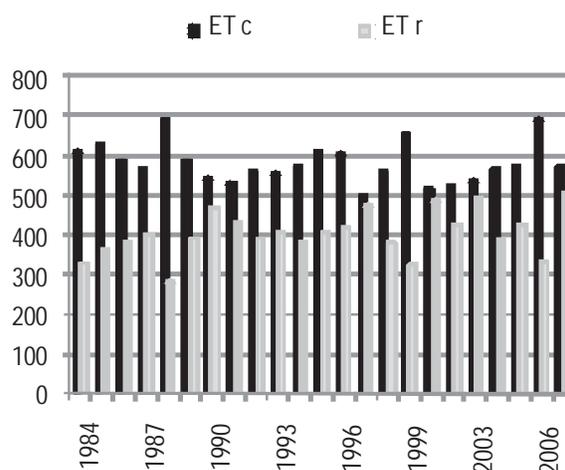


Figura 8. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en maíz, en Salto.

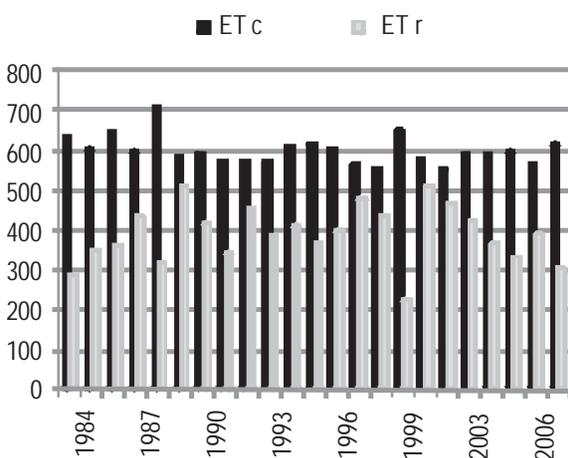


Figura 9. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en sorgo, en Colonia.

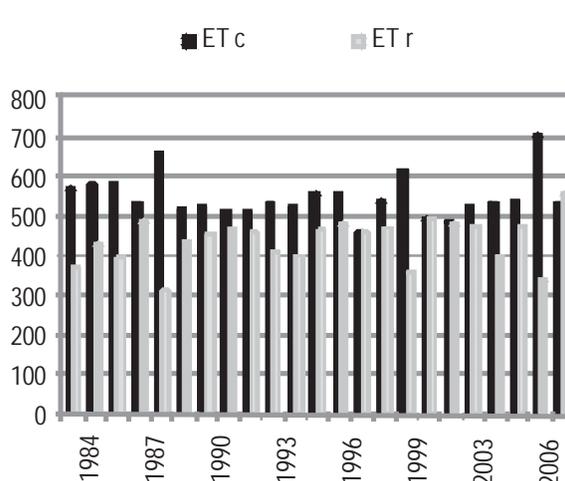


Figura 10. Evapotranspiración de cultivo y real (mm) en sorgo, en Salto.

Las diferencias entre ETc y ETr representan las deficiencias hídricas en los cultivos.

En concordancia con Agorio *et al.*(1988) se observaron diferencias entre las ETc y las ETr de los cultivos en la mayoría de los años analizados, excepto en los años «Niño» como 1997 y en los años que presentaron PP muy superiores al promedio como el año 2000, en que el consumo potencial de agua de los cultivos fue similar al consumo real.

Se destaca que las diferencias máximas entre las ETc y las ETr ocurrieron en años «Niña» como 1988 y 1999, así como en años en que las PP ocurridas

estuvieron muy por debajo del promedio como el año 2006 en la localidad de Salto.

Asimismo, se constató que en los cultivos analizados, en Salto se presentaron menores diferencias entre las ETc y las ETr que en Colonia.

Además en Salto, en los años 1997 y 2000, con PP totales muy superiores al promedio las estimaciones de las ETc y las ETr fueron similares.

En ambas localidades, las diferencias entre ETc y ETr fueron menores en sorgo y girasol y las mayores se presentaron en soja de GM VI y IV y maíz.

Conclusiones

La ETc promedio total de girasol, sorgo, maíz y soja GM IV fueron superiores en Colonia. Sin embargo, las ETc diarias fueron superiores en Salto.

La ETc de soja GM VI presentó un comportamiento inverso fue mayor en Salto que en Colonia, debido a que las diferencias en duración del ciclo entre localidades son menores que en el resto de los cultivos, dada la importancia del fotoperiodo en la determinación del ciclo en este cultivo.

Las ETc estimadas presentaron variabilidad entre años, destacándose los años «Niña» y «Niño» con los mayores y los menores valores respectivamente. La respuesta estuvo asociada inversamente al comportamiento de las PP.

El rango de variación de las ETc en las diferentes situaciones agroclimáticas planteadas fue de 455 a 836 mm y las ETc promedio variaron entre 463 y 641 mm.

Las estimaciones de las ETr fueron sustancialmente menores que las ETc en la mayoría de las situaciones agro-climáticas planteadas y con una variabilidad entre años superior. Asimismo, se destacan los años «Niña» y «Niño» con los menores y mayores valores de ETr respectivamente.

En la gran mayoría de los años estudiados ocurrieron deficiencias hídricas, excepto en la localidad de Salto en girasol, sorgo y soja de GM IV, en años «Niño» (1997) o en años con PP muy superiores al promedio (2000). Las deficiencias hídricas promedio se encontraron entre 93mm en girasol realizado en Salto y 308mm en maíz realizado en Colonia. Las máximas deficiencias hídricas estimadas variaron entre 410 y 474 mm para soja GM IV y soja GM VI en Colonia y Salto respectivamente y se produjeron en años «Niña».

Bibliografía

- Agorio C, Cardellino G, Corsi W, Franco J. 1988. Estimación de las necesidades de riego en Uruguay : I. Magnitud y frecuencia de la lámina neta total. Montevideo : MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 110p.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration : Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Roma: FAO. 300p. (Irrigations and Drainage ; 56).
- Boyer JS. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443 - 448.
- Corsi WC. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. *Miscelánea (CIAAB)*, (40): 28 p.
- Cruz G, Munka C, Pedochi R. 2000. Caracterización agroclimática de la región centro oeste de la República Oriental del Uruguay. *Agrociencia*, 4(1): 87 - 92.
- Dardanelli J, Collino D, Otegui ME y Sadras VO. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Satorre EH, Benech RL, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R. (Eds.) Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. pp. 373-440.
- Della Maggiora AI, Gardiol JM, Irigoyen AI. 2000. Requerimientos hídricos. En: Andrade FH, Sadras VO (Eds.). Bases para el manejo del maíz el girasol y la soja. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana. pp. 155 - 171.
- DIEA-MGAP (Dirección de Estadísticas Agropecuarias-Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 2010. Anuario Estadístico Agropecuario. [En línea]. Consultado 22 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/portal/agxppdwn.aspx?7,5,352,0,S,0,2359%3bS%3b3%3b106>
- Doorembos J, Pruitt WO. 1975. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Roma: FAO. 179 p. (Irrigation and Drainage; 24).
- Giménez, L. 2007. Comportamiento fenológico de diferentes grupos de madurez de soja (*Glycine max*) en Uruguay : Ubicación temporal del período crítico. *Agrociencia*, 11(2): 1 - 9.
- Hadley P, Roberts EH, Summerfield RJ, Michin FR. 1984. Effects of temperature and photoperiod on flowering in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill): A quantitative model. *Annals of Botany*, 53: 669 - 681.
- INIA-INASE (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria e Instituto Nacional de Semillas). 2010. Evaluación de cultivares: Resultados experimentales de evaluación [En línea]. Consultado. 22 de abril de 2011. Disponible en: http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/PubMaizGranoySilo2009.pdf
- Major DJ, Johnson DR, Tanner JW, Anderson IC. 1975. Effects of day and temperature on soybean development. *Crop Science*, 15: 174 - 179.
- Miralles DJ, Windauer LB, Gómez NV. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Satorre EH, Benech RL, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R. (Eds.) Producción de granos : Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. pp. 60-71.
- Molfino J, Califra A. 2001. Agua disponible en las tierras del Uruguay: Segunda aproximación. Montevideo: MGAP. 12p.
- Pereira LS, Alves I. 2005. Crop water requirements. En: Hillel D. (Ed.). Encyclopedia of Soils in the Environment. Vol.1. London : Elsevier. pp. 322 - 334.
- Pereira LS, Teodoro PR, Rodrigues PN, Texeira JL. 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. En: Rossi G, Cancellieri A, Pereira LS, Oweis T, Shatanawi M, Zairi A (Eds.). Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Dordrecht : Kluwer. pp. 161-180.
- Pereira LS, Allen RG. 1999. Crop Water Requirements. Chapter 5.1. In: van Lier, HN, Pereira, LS, Steiner, SR (eds). CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol I: Land and Water Engineering, ASAE, St. Joseph, Michigan: 213-262.