

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MAÍZ, EFECTO DE LAS DEFICIENCIAS HÍDRICAS SOBRE EL RENDIMIENTO

por

Walter H. CALLERO DARUICH

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO

URUGUAY

2014

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Luis Giménez.

.....

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

.....

Ing. Agr. Mario García

Fecha: 28 de agosto de 2014

Autor:

Walter H. Callero Daruich

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis padres Doris y Walter por sus sabios consejos y el inmenso esfuerzo realizado para que pueda haber estudiado, a mis hermanas también por su constante apoyo. A mi abuela Aida y mi madrina Susana a ellas se lo dedico. Especialmente a mi novia, amiga y compañera Anny muchas gracias por tu confianza y por haber estado siempre, también a sus padres Héctor y Raquel, gracias por su permanente ayuda.

A mis amigos Pablo, Diego, Ronald, Gabriel y José por su compañía, y convivencias compartidas.

A Luis Giménez por su tiempo, dedicación y el esmero para estar en todos los detalles. A Diego Rameau, Matías Van Der Dorpel y Richard Arévalo por su colaboración y tiempo dedicado.

A todo el personal de Biblioteca de Facultad de Agronomía, quienes tanto me ayudaron a través del servicio de envío de documentos agrícolas y referencia virtual, gracias por su atención y buena disposición.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EL MAÍZ EN URUGUAY	3
2.2. AMBIENTE DE PRODUCCIÓN	3
2.2.1. <u>Estación de crecimiento</u>	3
2.2.2. <u>Temperaturas</u>	3
2.2.3. <u>Capacidad de almacenaje de agua de los suelos</u>	4
2.2.4. <u>Precipitaciones</u>	4
2.2.5. <u>Radiación solar</u>	4
2.3. LIMITANTES PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE MAÍZ EN EL AMBIENTE DE PRODUCCIÓN DE URUGUAY	 5
2.3.1. <u>Estrés hídrico</u>	5
2.3.2. <u>Radiación solar</u>	7
2.3.3. <u>Estrés por baja fertilidad</u>	7
2.4. IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ.....	8
2.4.1. <u>Potencial de producción de materia seca</u>	9
2.4.2. <u>Potencial de producción de grano</u>	10
2.4.3. <u>Tasa de crecimiento del cultivo durante el periodo crítico</u>	11
2.5. DEFICIENCIAS HÍDRICAS Y PRODUCCIÓN DE GRANO	12
2.6. DEMANDA DE AGUA	14
2.7. RIEGO DEFICITARIO.....	15
2.8. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA.....	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO.....	18
3.1.1. <u>Características del suelo</u>	18
3.2. MANEJO DEL EXPERIMENTO	18
3.2.1. <u>Tratamientos</u>	18
3.2.1.1. Simuladores de sequia.....	19

3.2.1.2. Riego	19
3.3. MEDICIONES EFECTUADAS	20
3.3.1. <u>Muestras de biomasa aérea</u>	20
3.4. DETERMINACIONES ESTADÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	20
3.4.1. <u>Hipótesis biológicas</u>	20
3.4.2. <u>Hipótesis estadísticas</u>	20
3.4.3. <u>Diseño experimental</u>	20
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
3.6. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERÍODO DE CULTIVO	22
3.6.1. <u>Precipitaciones</u>	22
3.6.2. <u>Radiación solar</u>	24
3.6.3. <u>Evolución del agua disponible del suelo</u>	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	29
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO	29
4.1.1. <u>Parámetros de crecimiento</u>	29
4.1.1.1. Evolución de la deposición de materia seca.....	29
4.1.1.2. Tasa de crecimiento del cultivo durante el periodo crítico	31
4.2. EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SOBRE EL RENDIMIENTO	32
4.2.1. <u>Efecto de la disponibilidad hídrica sobre los componentes del rendimiento</u>	34
4.3. RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO	35
4.3.1. <u>Granos por espigas y espigas por planta</u>	36
4.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA	37
4.4.1. <u>Eficiencia de uso del agua</u>	38
5. <u>CONCLUSIONES</u>	39
6. <u>RESUMEN</u>	40
7. <u>SUMMARY</u>	41
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	42
9. <u>ANEXOS</u>	51

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Parámetros hídricos y físicos del suelo	18
2. Componentes numéricos del rendimiento en grano.	34
3. Espigas por planta y granos por espiga	36
Figura No.	
1. Precipitaciones promedio ocurridas en Paysandú para la serie histórica 1980-2009, y precipitaciones en la temporada 2011-12 registrada en la estación meteorológica de la EEMAC (elaborado en base a datos proporcionados por EEMAC).....	23
2. Radiación solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la temporada 2012-13 en la EEMAC y promedios mensuales para Paysandú de la serie histórica de 2002-12 (Estación meteorológica automática de la EEMAC).	24
3. Evolución del agua disponible en el tratamiento 1 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican los umbrales de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.....	25
4. Evolución del agua disponible en el tratamiento 2 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican los umbrales de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.....	26
5. Evolución del agua disponible en el tratamiento 3 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican el umbral de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.....	27
6. Evolución del AD en el tratamiento 4 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican el umbral de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.	27
7. Evolución del agua disponible durante el ciclo del cultivo en el tratamiento 5.	28

8. Materia seca (kg ha^{-1}) a inicios, fin del PC y cosecha. Las columnas letras iguales no difieren entre sí ($P < 0,05$; Tukey).	29
9. Evolución de materia seca (kg ha^{-1}) del tratamiento 1, y del tratamiento 3 a inicio y fin del periodo crítico y a la cosecha	30
10. Tasa de crecimiento del cultivo diaria durante el periodo crítico en función de los tratamientos. Las columnas con letras iguales no difieren entre sí ($P < 0.05$; Tukey).....	31
11. Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en los diferentes tratamientos evaluados. Las columnas con letras iguales no difieren entre sí. ($P < 0.05$; Tukey).....	32
12. Número de granos m^{-2} y peso de mil granos (g), en función del rendimiento	36
13. Evolución de la evapotranspiración de cultivo diaria del T1. Periodo crítico (línea roja), periodo no crítico (línea azul).....	37

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es una gramínea C4 de gran adaptabilidad, se lo cultiva en más de 113 países y los principales destinos del grano son la alimentación humana y animal. El cultivo ocupa el segundo lugar después del trigo en relación a la producción mundial de granos, y el primer lugar en rendimiento (Núñez Guzmán, 2014). USDA. NASS (2014) estima que la producción mundial de grano de maíz en 2013-14 será de 950 millones de toneladas, mientras que la FAO (2013) prevé en Sudamérica una producción de 124 millones de toneladas, de las cuales 65 % será producido en Brasil. Los factores climáticos favorables ocurridos en el presente año en Argentina, Uruguay y Paraguay hacen prever aumentos en los rendimientos.

Está ampliamente estudiado a nivel mundial (Otegui 1992, Andrade y Gardiol 1995, Andrade et al. 1996, Andrade y Sadras 2000) y local (Giménez, 2012) el significativo efecto del déficit hídrico sobre el cultivo de maíz y dependiendo del momento, la intensidad y la duración del mismo repercuten con diferente magnitud sobre la producción de biomasa y grano.

En Uruguay hay una alta dependencia de la recarga hídrica por precipitaciones (PP) para satisfacer las demandas de los cultivos (Sawchik, 2012) siendo las PP durante el periodo crítico (PC) la principal determinante del rendimiento final (Ernst et al., 2011). Por otra parte, 92.000 millones de m⁻³ de agua de PP escurren anualmente y se pierden hacia ríos y arroyos, y sólo el 2 % de la superficie del país posee sistemas de riego (URUGUAY. MGAP, s.f.).

Dadas las inversiones importantes y costos operativos elevados para el desarrollo de cultivos con riego (Giménez, 2012) los efectos sobre el rendimiento y el incremento del margen bruto por el uso del mismo, definen la factibilidad de esta tecnología en Uruguay (Cardelino y Baethgen, 2000).

A nivel mundial la escasez de agua ha provocado, crecientes regulaciones que afectan el uso de agua para riego y exigencias a productores por una mayor eficiencia en el uso de la misma (Payero et al., 2008). Se necesita generar datos de producción de cultivos para ayudar en la toma de decisiones en las regiones que pueden experimentar una transición de secano, o riego completo hacia riego limitado (Hergert et al., 1993).

Con la intención de que la información generada en este trabajo aporte para avalar estrategias de riego se elaboró la hipótesis de que el déficit hídrico en

diferentes etapas de desarrollo afecta el rendimiento en grano y la producción de biomasa en forma diferente.

Si bien en el país el maíz se desarrolla principalmente en secano, en las experiencias de maíz con riego a nivel comercial los rendimientos logrados distan de los potenciales¹. La información sobre estrategias de riego y evaluación de disponibilidades hídricas en distintas etapas del cultivo, es escasa. Por estas razones, se planteó como objetivo principal de este trabajo generar información, sobre el rendimiento de maíz sin deficiencias hídricas en todo el ciclo y el efecto de las mismas sobre la productividad del cultivo en distintas etapas fenológicas.

¹ Giménez, L. 2012. Com. personal.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL MAÍZ EN URUGUAY

El maíz en Uruguay es uno de los principales cultivos de verano con una participación creciente en la superficie agrícola, en la zafra 2011-12 se realizaron 128.600 ha, siendo superado únicamente por la soja y el arroz. A pesar del conjunto de cambios tecnológicos que han ocurrido la productividad se ha mantenido², en las últimas zafra se registra un promedio de 4.350 kg ha⁻¹, con una gran variación dentro y entre años (URUGUAY. MGAP. OPYPA, 2012).

El maíz se siembra principalmente en el litoral y suroeste, sin embargo también se produce en otras regiones, con creciente importancia en los últimos años. El área cultivada no solo se ve influenciada por las señales de mercado, también influyen las perspectivas ambientales, principalmente las PP de primavera y verano (URUGUAY. MGAP. OPYPA, 2012).

2.2. AMBIENTE DE PRODUCCIÓN

2.2.1. Estación de crecimiento

Dado los daños importantes que experimenta el maíz cuando se expone a temperaturas por debajo de 0°C (Snyder et al., 2010), la estación de crecimiento de los cultivos de verano está acotada al periodo libre de heladas, que como indican Cruz et al. (2000) en promedio para 35 años alcanzó a los 265 días en las localidades de Durazno, Mercedes y Tacuarembó, extendiéndose desde el 2 de setiembre al 25 de mayo, en tanto que en Salto el periodo fue mayor desde 19 de julio a 24 de junio.

2.2.2. Temperaturas

Cruz et al. (2000) analizando una serie de 35 años, indican que durante la primavera las temperaturas medias fueron del orden de 16,9°C, oscilando entre los 18,7°C en Artigas y 15,1°C en Rocha, las medias máximas y mínimas promedian valores de 22,4°C y 11,4°C respectivamente con una distribución ascendente en sentido sur-norte. En los meses de enero, febrero y marzo las temperaturas medias rondan los 23,1°C. Con el mismo comportamiento ascendente sur-norte las máximas medias y mínimas alcanzan 29°C y 17,0°C respectivamente.

² Giménez, L. 2013. Com. personal.

Con respecto a las acumulaciones térmicas Cruz et al. (2000) estimaron para el mes de enero, 460 UT₁₀ y registran una acumulación un 20 % superior para la zona norte, en todos los meses analizados.

2.2.3. Capacidad de almacenaje de agua de los suelos

Durante el verano y en situaciones promedio el contenido de agua disponible (AD) de los suelos no satisface la demanda hídrica del cultivo. La capacidad de almacenaje de agua de los suelos agrícolas en promedio oscila entre 120-160 mm de AD (Molfino y Califra, 2001), esto representa en el mejor de los casos entre un tercio y un cuarto de los requerimientos de agua de un cultivo de maíz de alto potencial de rendimiento (Giménez y García Petillo, 2011).

2.2.4. Precipitaciones

El país tiene un clima sin estación seca y las PP se caracterizan por su extrema irregularidad, tanto en cantidad como en frecuencia e intensidad. En el sur oeste las PP mensuales promedio de los últimos 90 años variaron entre 80 y 100 mm para todos los meses, con valores un poco más altos en otoño y primavera. Sin embargo, si se estudian las PP mensuales de cada uno de esos mismos 90 años, es muy posible que ninguno se haya comportado en forma similar al “año promedio” (Jiménez de Aréchaga, 2007). La situación hídrica se agrava si consideramos que 40 % de las PP totales escurren superficialmente, para ir a cañadas, arroyos, ríos y océanos, mientras que el 60 % restante lo intercepta la vegetación, satura el suelo o infiltra en profundidad (URUGUAY. MGAP, s.f.).

2.2.5. Radiación solar

La radiación solar incidente provee la energía para el proceso de la fotosíntesis, por lo que junto a la temperatura definen el potencial de rendimiento y producción de biomasa, y el objetivo de manejo de cultivos de alta producción debe ser lograr que las hojas intercepten la mayor parte de la radiación incidente (Andrade y Sadras, 2000).

La energía solar utilizada en el maíz es la proveniente de longitud de onda 0,4 y 0,7 micrones, la llamada radiación visible del espectro (Fassio et al., 1998). La cantidad de radiación potencialmente interceptada en el total del ciclo es el resultado de la radiación interceptada en cada una de sus etapas fenológicas, la duración de cada una de estas fases está definida principalmente por las temperaturas a la que se exponga el cultivo ya que estas gobiernan la tasa de desarrollo, mientras que la radiación determina la tasa de crecimiento (Andrade et al., 1996).

Abal et al. (2010) estiman a partir de registros de diferentes estaciones meteorológicas irradiaciones de 12 localidades distribuidas en el territorio nacional, los resultados indican que la misma en el mes de octubre fue de 18,36 MJ m² día⁻¹, 22,68; 23,76; 24,12; 20,88 y 16,92 para noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo respectivamente. Los mismos valores o muy similares reportan en mapas obtenidos a partir de estimativos de irradiación global basados en datos satelitales. Estos autores encuentran que la variación territorial resulta ser mucho menor a la estacional, debido a la relativa uniformidad geográfica de nuestro territorio.

2.3. LIMITANTES PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE MAÍZ EN EL AMBIENTE DE PRODUCCIÓN DE URUGUAY

El maíz es una especie de tipo fotosintético C4 que presenta grandes ventajas para la producción de biomasa en ambientes de producción como los del país. El resultado de tener separado espacialmente la absorción de la fijación de CO₂, es una tasa fotosintética neta muy superior (30 a 40 %) a las especies C3, especialmente ante déficit hídricos y condiciones de conductancia estomática baja (Azcón- Bieto y Talón, 2008).

Para lograr altas producciones de biomasa en maíz es necesario elevadas radiaciones, temperaturas diurnas óptimas para el proceso fotosintético (28-30°C) que posibiliten altas tasas de crecimiento y prolongadas duraciones de las etapas fenológicas (Andrade y Gardiol, 1995). Se requieren días soleados seguidos de noches frescas, para un mayor crecimiento del maíz. Ya que frente a altas temperaturas nocturnas, las plantas consumen demasiada energía en la respiración celular y la cantidad total de materia seca que se acumula es menor que en las noches frescas cuando la respiración es menos intensa (CEDAF, 1998).

2.3.1. Estrés hídrico

Salvagiotti (2009) indicó que en los cultivos extensivos son varios los factores limitantes (nutrientes, plagas, malezas, agua) que explican la diferencias entre los rendimientos potenciales y los reales, y sin duda que muchos de aquellos factores interaccionan entre sí, pero la principal limitante en ambientes semiáridos es la disponibilidad hídrica, como también reporta Rivetti (2007) el crecimiento del maíz, en una región semiárida, depende de las PP y cuando éstas tienen una mala distribución, depende de los riegos que se aportan.

Cardellino y Baethgen (2000) encuentran que la ocurrencia de deficiencias de agua que limitan la productividad del maíz se da con cierta frecuencia y con

intensidad variable, mientras que Cruz et al. (2000) definen claramente un periodo de seis meses de deficiencias significativas para el litoral y Durazno. Este ocurre desde el mes de octubre hasta marzo. Y desde la primavera, el promedio mayor de las deficiencias se desplaza desde el norte hacia el sur-este, presentando el valor máximo en el mes de enero con más de 100 mm.

Concordando con los autores anteriores Giménez y García Petillo (2011) destacan las deficiencias hídricas como uno de los principales factores que afectan la producción y estimaron con el modelo de simulación WinIsareg deficiencias hídricas de 300 y 171 mm, para Colonia y Salto respectivamente, en un análisis que abarcó un periodo de 24 años. Giménez (2012) reportó que la disponibilidad hídrica es la principal limitante del ambiente de producción de Uruguay evidenciando los perjuicios del déficit hídrico en el cultivo de maíz obtuvo diferencias entre tratamientos con bienestar hídrico y seco de más de 10.000 kg ha⁻¹ de biomasa para la zafra 2010-11.

Andrade et al. (1996) encuentran que dentro de la estación de crecimiento no hay mucho margen para ubicar las fechas de siembra de los cultivos que permitan optar por la herramienta de escape, con el objetivo de mejorar los balances hídricos de los cultivos, a la vez que potenciar el crecimiento y rendimiento. Giménez y García Petillo (2011) señalan la misma problemática ya que a través de cambios en la fecha de siembra se intentó ubicar el periodo crítico (PC) de determinación de rendimiento en épocas del año en que las demandas atmosféricas no fueran las máximas pero esto no significó incrementos estables en los rendimientos. Similares resultados reportan Ernst et al. (2011), en varios años el rendimiento obtenido con siembras de setiembre fue mayor que el de los cultivos sembrados tarde o de segunda, comportamiento que se revirtió en las zafra 2007-08 y 2008-09.

Castaño et al. (2011) reportaron demandas atmosféricas máximas que alcanzan 160-185 mm por mes durante el verano, que combinados con una escasa capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Molfino y Califra, 2001) junto a la errática distribución de las lluvias (Genta y Failache, 2010) genera déficits hídricos durante los meses de verano y con alta frecuencia en los meses de primavera, esto provoca cierta inestabilidad en el sistema productivo y en los rendimientos de los cultivos. Zang (2003) reporta que en diferentes regiones la etapa reproductiva coincide con el periodo pico de evapotranspiración del cultivo (ETc), por lo que el estrés durante esta etapa es aún más significativo.

En 1928 Boerger, citado por Fassio et al. (1998) señaló que la cosecha de maíz en el país depende fundamentalmente de las PP de octubre a febrero, siendo las de enero las de mayor importancia. Sawchik (2012) concluye que hay una alta dependencia de la recarga hídrica por PP y/o riego para satisfacer las demandas hídricas de cultivos. Al igual que Ernst et al. (2011) encontraron que las PP que ocurrían en el PC de los cultivos son las principales determinantes del rendimiento final, independiente de un buen manejo de agua a la siembra, los rendimientos logrados fueron muy inferiores a los rendimientos fijados por radiación y la temperatura.

2.3.2. Radiación solar

En los ensayos realizados en Facultad de Agronomía donde se midió el potencial de producción se registró la radiación como una limitante para la producción en los años denominados “Niño”. Giménez (2012) indicó que en la zafra 2009-10 caracterizada por el alto número de PP y días nublados, como consecuencia la radiación solar incidente fue baja, lo que provocó que se limitara la expresión del potencial de producción.

2.3.3. Estrés por baja fertilidad

Los suelos de Uruguay poseen baja capacidad de aportar N y P en momentos y cantidades suficientes para el crecimiento de los cultivos, por lo que las necesidades deben ser satisfechas por medio de la adición de fertilizantes (Ceriani e Innella, 2012). El maíz tiene en general una fuerte respuesta al agregado de N y las deficiencias de este nutriente causan pérdidas significativas en rendimiento. El N es necesario para la formación de proteínas estructurales, proteínas enzimáticas, ADN, (Azcón- Bieto y Talón, 2008), y la falta del mismo lleva a la reducción del crecimiento de hojas y granos afectando la conversión a materia seca de la radiación interceptada, al igual que la eficiencia en el uso del agua (Caviglia y Sadras, 2001).

Perdomo y Hoffman (2011) prevén que en la mayoría de los casos, a nivel de producción no se usa el test de $N-NO_3$ como indicador, sino que probablemente la fertilización promedio consista en aplicar a la siembra una dosis de 130 kg ha^{-1} de 18-46-0 y luego una re fertilización al estado de seis hojas con 90 kg ha^{-1} de urea, lo cual hace un total de 65 kg N ha^{-1} . Los autores encuentran como un problema y una limitante para la expresión de potenciales estas decisiones generalizadas.

2.4. IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

Azcón- Bieto y Talón (2008) indican que el efecto más importante del estrés hídrico es la reducción del crecimiento del cultivo. Los asimilados utilizados para el crecimiento provienen de la fijación fotosintética del CO₂ en los tejidos clorofílicos de las plantas. La apertura estomática permite la difusión de CO₂ desde la atmósfera hacia la cámara sub-estomática para la posterior fijación como estructuras carbonadas. La disminución de la tasa transpiratoria ante situaciones de déficit hídrico siempre va acompañada de una disminución en la absorción de CO₂ y por lo tanto en la fotosíntesis. Pero además de una inhibición del crecimiento el déficit hídrico modifica la evolución fenológica del cultivo (Della Maggiora et al., 2008), su morfología vegetal como grandes aumentos en la relación parte aérea/raíz, como también desfasajes entre floración masculina y femenina (protandria) (Andrade et al., 1996).

Fereres y Soriano (2007), Payero et al. (2008) reportan una estrecha relación entre el agua consumida por el cultivo y la producción. Muchow y Sinclair (1991) agregaron que el consumo de agua y en consecuencia el crecimiento del maíz se vio reducido cuando el contenido hídrico del suelo en la zona explorada por las raíces se redujo por debajo del 40-60 % AD.

Similares valores reportan Della Magiora et al. (2000), estos autores obtuvieron que la transpiración del cultivo se vio fuertemente afectada cuando la fracción de AD cayó por debajo de 50-55 %, y este rango ha sido sugerido como umbral a partir del cual la evapotranspiración real se reduce con respecto a la máxima.

Andrade y Gardiol (1995) notaron que el déficit hídrico en cualquier momento del ciclo puede causar reducciones en el rendimiento, las reducciones dependen de la magnitud del déficit pero particularmente en maíz también depende del momento del ciclo en que ocurra el mismo. En concordancia con este concepto Magalhes y Da Silva (1987) encuentran que el efecto de la falta de agua en la producción de grano es particularmente importante en tres estadios de desarrollo del maíz, a la iniciación floral, momento en que se determina el número potencial de granos, durante el periodo de fecundación, que es cuando se fija el potencial de producción y en la fase de llenado de grano, que es cuando ocurre la acumulación de materia seca en los mismos.

Andrade y Gardiol (1995) identifican a las deficiencias hídricas en torno a la floración como las más perjudiciales para la producción de grano y grafican mermas entorno al 50 %. Por lo que sugieren que el maíz no debe sufrir deficiencias hídricas durante el periodo comprendido entre V_{13} y R_3 (Andrade et al., 1996), para no afectar el número de granos. Los mismos autores señalan que tampoco deberían ocurrir estas deficiencias durante el llenado de los granos ($R_3 - R_6$) para lograr elevados niveles de producción, ya que en este periodo las pérdidas en rendimiento oscilan entre un 20 y 40 %.

Payero et al. (2009) sugieren que el rendimiento se reduce ante estrés hídricos en cualquier etapa del cultivo, pero el efecto del estrés hídrico fue más grave durante las etapas reproductivas. El estrés durante las etapas vegetativas reduce el total de biomasa producida, que se ha demostrado que están relacionados fuertemente con la producción de grano (Tolk et al. 1998, Rivetti 2007, Payero et al. 2008) por lo que limita el potencial de rendimiento desde inicios de la estación de crecimiento.

En cambio Hergert et al. (1993), Bergonci et al. (2001) concluyen que deficiencias hídricas que se produzcan durante el período vegetativo afectarán poco el rendimiento, ya que no afectan significativamente el número de granos por espiga. Por el contrario, deficiencias causadas durante la floración femenina fueron los más perjudiciales para la producción de grano.

Ceriani e Innella (2012) encuentran que el rendimiento obtenido en secano (4.214 kg ha^{-1}) fue 51,5 % del logrado con riego, y que el mayor rendimiento se relacionó fuertemente con el mayor número de granos cosechados. Y reportan que las grandes diferencias en número de granos por superficie se debieron en gran medida al número de granos por espiga (en promedio 456 y 300 en riego y secano, respectivamente).

2.4.1. Potencial de producción de materia seca

Andrade et al. (1996) define a los rendimientos máximos, aquellos que se alcanzan bajo óptimas condiciones de manejo, como la expresión del comportamiento potencial del cultivo y encuentra producciones de biomasa aérea entre 25.000 y 30.000 kg ha^{-1} en maíz conducido sin deficiencias hídricas, ni nutricionales en Balcarce y que alcanzan 85.000 plantas ha^{-1} en la cosecha.

En un ambiente semiárido, Rivetti (2007) en tratamientos sin déficit hídricos alcanzó valores extremos de producción de 34.628 kg ha^{-1} de materia seca (MS), muy superior a los 25.938 kg ha^{-1} cosechado por Puiatti et al. (s.f.) en la zafra 2006-07.

Giménez (2012) obtuvo en dos zafras climáticamente contrastantes “Niño” y “Niña” producciones máximas de biomasa en torno a 21.000 y 25.000 kg ha⁻¹ de MS respectivamente, dado la particularidad de estas zafras relaciona la producción de biomasa con la radiación incidente y concuerda con Andrade et al. (1996) quienes señalaron que el crecimiento de maíz en ausencia de otras limitantes es directamente proporcional a la radiación incidente.

También Bergonci et al. (2001) registraron entre 22.200 y 27.800 kg ha⁻¹ de MS en ausencia de restricciones, para cuatro zafras consecutivas.

2.4.2. Potencial de producción de grano

Espósito et al. (2012) exponen que la exploración de rendimientos potenciales en un cultivo depende del potencial genético del material empleado y del manejo agronómico que se realice del mismo. La correcta planificación del cultivo debe brindarle a éste condiciones óptimas de radiación, agua, temperatura y disponibilidad nutricional para expresar todo el potencial genético.

Rivetti (2007) obtuvo potenciales de 16.158 kg ha⁻¹, y encontró una alta relación entre MS total producida y rendimiento de grano, concordando sus resultados con lo señalado por Tolk et al. (1998) quienes indicaron para tres suelos muy diferentes, una relación lineal y estable, y que dicha relación sólo se vería afectada si existiera un severo estrés durante el PC.

Puiatti et al. (s.f.) en tratamientos que fueron regados cada vez que consumieron 25 mm del agua útil en el perfil, alcanzó rendimientos de 18.186 kg ha⁻¹, similar a los rendimientos reportados por Espósito et al. (2012) quienes de un promedio de siete zafras establecieron un rendimiento potencial de 18.660 kg ha⁻¹, con rendimientos mínimos de 16.300 kg ha⁻¹ y máximos de 22.370 kg ha⁻¹.

Otegui et al. (1994) obtuvieron 11.790 y 10.680 kg ha⁻¹ de maíz en dos zafras consecutivas, los mismos se correlacionaron fuertemente con el número de granos m⁻², y tanto el rendimiento de grano, como los granos m⁻² se relacionan positivamente con la transpiración del cultivo.

Cardelino y Baethgen (2000) registraron diferentes casos a nivel comercial de productores con rendimientos mínimos de 8.000 kg ha⁻¹ que se presentan con muy bajas frecuencias (menos del 10 % de los casos) y máximos hasta de más de 12.000 kg ha⁻¹ que se dieron con la mayor frecuencia, también Baccino (2001) reportó en pequeñas chacras más de 15.000 kg ha⁻¹.

Estos rendimientos están lejos de los potenciales de la especie, hay híbridos que superan los 20.000 kg ha⁻¹ (Barrena, s.f.); pero en la región en cultivos bajo riego el potencial se encuentra en torno a 15.000 kg ha⁻¹ como indican Roselli y Texeira (1998), Puppo et al., citados por Baccino (2001), y recientemente Giménez (2012).

2.4.3. Tasa de crecimiento del cultivo durante el período crítico

Andrade y Sadras (2000) señalan que particularmente en maíz es importante el estado fisiológico entorno a la floración, dado el hábito de crecimiento determinado y por lo tanto la escasa plasticidad, lo que confiere al cultivo baja estabilidad en producción de grano ante situaciones de estrés en floración.

Pedrol et al. (2008) encontraron que el número de granos fijado por planta y en consecuencia los rendimientos se relacionaron fuertemente con la tasa de crecimiento en el período entorno a la floración, y coinciden con Andrade et al. (1996), Andrade y Sadras (2000) en que el déficit hídrico reduce el área foliar, aceleran la senescencia y la eficiencia con que la energía interceptada es convertida en MS, lo que generaría una menor disponibilidad de asimilados a los granos y reducciones significativas de rendimientos. También Boyle et al. (1991) concuerda con los autores y confirman que sequías durante el PC afecta la formación, funcionalidad y el cuaje de los granos, producto de la disminución del envío de sacarosa.

Andrade et al. (1999) consideran a la espiga como un sumidero relativamente débil, al menos al momento de la floración. Por lo que el número de granos es función del estado fisiológico del cultivo durante el PC, y reportan que aumentos de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el mismo periodo de 12 a 25 g m⁻² d⁻¹ produjo un aumento más que proporcional en el número de estos por m², de 1.000 a 3.500. Pagano y Maddonni (2007) obtuvieron un umbral de crecimiento por planta cercano a 1 g día⁻¹ para fijar granos, a partir del cual el número de granos por planta respondió a los aumentos en tasa de crecimiento por planta (TCP) hasta alrededor de 4 g d⁻¹, crecimientos superiores a este no produjeron incrementos notables en granos por espiga. Sin embargo, las TCP superiores a 6 g d⁻¹, permitieron que en una segunda espiga se fijaran granos.

Borras et al. (2007) realizaron comparaciones detalladas de crecimiento de plantas y espigas, encontraron que la espiga creció más rápidamente a medida que aumentó la TCP, y que la tasa de crecimiento de la espiga claramente no fue función lineal de la tasa de TCP. Similar al valor extrapolado por Andrade et al. (1999)

obtuvieron un umbral mínimo para el crecimiento de la espiga de 0,9 a 1,3 g planta⁻¹ día⁻¹.

Edmeadest y Daynard (1979) obtuvieron resultados que apoyan el concepto de un umbral de TCP por debajo del cual no se forma, o abortan los granos. El número de granos por mazorca tendió hacia una asíntota en la medida que el flujo total aumentó. Finalmente estos autores concluyen que el umbral puede variar, sin duda, con el genotipo y el medio ambiente, pero su existencia puede ser universal entre los genotipos.

Giménez (2012) explicó que altas TCC (353 kg ha⁻¹ día⁻¹) producto de las altas TCP (3,3 gr. planta⁻¹ día⁻¹) durante el PC, fueron determinantes para lograr un elevado número de granos por superficie (4.477 m⁻²) y elevados rendimientos de grano ha⁻¹ 13.500 kg. Esto evidenció el gran efecto sobre el estado fisiológico que provocaron las deficiencias hídricas inducidas durante el PC, y como aquel repercutió en la TCP (2,2 gr. pl⁻¹ día⁻¹), definiendo un escaso número de granos m⁻² (2.343), y un rendimiento 48 % inferior al potencial.

2.5. DEFICIENCIAS HÍDRICAS Y PRODUCCIÓN DE GRANO

Olano (1987) encuentra que el estado hídrico de una planta en cualquier momento de su vida depende del balance entre el agua que absorbe desde el suelo y la que pierde por transpiración. A pesar de que las plantas poseen mecanismos para regular la pérdida de agua, cualquier exceso de transpiración sobre la absorción determina un déficit hídrico, cuyas consecuencias dependerán de la magnitud y duración del estado deficitario.

Pero especialmente en maíz la bibliografía es pertinente en que la mayor sensibilidad al déficit hídrico es alrededor de la antesis, seguido del período de llenado de grano y finalmente la etapa vegetativa (Andrade et al. 1996, Andrade y Sadras 2000, Giménez 2012). El estrés hídrico durante la floración, produce disminuciones en el rendimiento debido a la reducción en el número de granos (Otegui 1992, Payero et al. 2008), mientras que déficit durante el llenado de granos, reduce el peso de los mismos (Grant et al. 1989, Della Maggiora et al. 2008), por aumento de la senescencia y acortamiento de dicho periodo.

Della Maggiora et al. (2008) constataron que producto del déficit hídrico durante el PC se redujo la transpiración diaria del cultivo 2,5 mm día⁻¹ y se produjeron 3.721 granos m⁻² y un rendimiento de 8.977 kg ha⁻¹ mientras que el tratamiento sin déficit alcanzó los 5.153 granos m⁻² y 13.627 kg ha⁻¹. Las deficiencias

de agua durante la etapa de llenado de granos produjeron una reducción significativa en el peso de los mismos (26 %), la que explicó la disminución del rendimiento (29 %).

Similares resultados fueron obtenidos por Giménez (2012) para quien también el PC fue la etapa más sensible al déficit hídrico y reporta reducciones en el rendimiento de hasta 50 %, explicadas por una significativa reducción del número de granos. Este autor también encontró que el déficit hídrico durante el llenado de grano provocó disminuciones del peso promedio de los mismos, reduciendo el rendimiento en un 30 %.

Así mismo Payero et al. (2009) reportaron que el PC fue el más sensible al déficit hídrico, ya que se redujo la producción de grano el 60 % de los casi 13.000 kg ha⁻¹ potenciales, por haber dispuesto solo de un 40 % AD durante el mismo período.

Herrero y Johnson (1981) señalan que frente a un estrés hídrico severo la floración femenina se fue retrasando y desfasando con respecto a la masculina hasta el punto en que la misma se dio después de que la totalidad del polen había sido derramado creando así un gran número de espigas estériles o mal llenadas. Mientras que la falta de efecto de la sequía sobre la viabilidad del polen fue una respuesta inesperada por los autores, y sugieren que las altas temperaturas durante el desarrollo del polen son más perjudiciales que el estrés por sequía. Similares resultados sobre la viabilidad del polen reportó Otegui et al. (1994) quién concluyó que el rendimiento en grano de maíz es particularmente sensible al déficit hídrico que coincida con el período de floración femenina, causando reducciones notables en el número de granos, principal componente del rendimiento.

Grant et al. (1989) afirman que fue evidente que el intervalo sensible al déficit hídrico para el número de granos comenzó siete días después a la emisión de estigmas y finalizó 16 a 22 días después. Estos autores encontraron que la reducción del número de granos causada por la sequía, no es absolutamente dependiente de la prevención de la fertilización de los óvulos, sino que también del cese del desarrollo de algunos granos post-fertilización.

Westgate y Boyer (1985) encuentran que la sequía en maíz, cuando ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo, se manifiesta en una reducción del número de granos, debido principalmente a la absorción del ovario o esterilidad del polen; esto debido a que el déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo.

2.6. DEMANDA DE AGUA

Azcón- Bieto y Talón (2008) explicaron que el proceso dominante en las relaciones hídricas de una planta es la absorción de grandes cantidades de agua a partir del suelo, su transporte a través de la misma y la pérdida eventual de vapor de agua hacia la atmósfera circundante. Olano (1987) estima que la cantidad de agua que fluye a través de una planta cada día sería de 1 a 10 veces el contenido de agua de sus tejidos, 1 a 100 veces la cantidad de agua utilizada para la expansión de sus nuevas células y de 100 a 1000 veces el volumen utilizado en la fotosíntesis, pero en sí la cantidad de agua que fluye depende de la oferta de agua del suelo y de la demanda atmosférica que a su vez depende de la intensidad de la radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento.

Payero et al. (2008) en la zona centro oeste de Nebraska, obtuvieron una ET_c desde la emergencia a R6, en 2005 y 2006 de 663 y 653 mm ha⁻¹, respectivamente. Estos mismos autores encontraron que la ET_c aumentó con riego hasta un punto donde el riego se hizo excesivo, no observando aumentos de la ET_c.

Nagore et al. (2013) estiman que la evapotranspiración para tres híbridos (DK2F10; DK682RR y DK690MG) en Balcarce Argentina fue similar y alcanzó valores promedio de 646 mm ha⁻¹ en el tratamiento de regadío. También en Argentina Rivetti (2007) en cultivos que cumplieron su ciclo en 138 días, la cantidad de agua aplicada varió entre 360 y 300 mm y el agua total consumida en el ciclo del cultivo fue de 575 mm ha⁻¹ ± 15.

Guzzaroni (2009) estimó para un cultivo de maíz con una población de 85.000 plantas ha⁻¹ una evapotranspiración real y transpiración 467 y 283 mm ha⁻¹ respectivamente. Asimismo reporta una evolución de la ET_c con igual comportamiento a la reportada por Della Maggiora et al. (2000) quienes encontraron que la tasa de ET_c aumentó a medida que se incrementó el área foliar y la intercepción de radiación, y llegó a un máximo poco antes de lograr la cobertura completa del suelo. También reportaron una variación entre años en la ET_c asociada con las condiciones meteorológicas que afectan tanto las tasas de crecimiento y desarrollo vegetal como la demanda atmosférica.

A nivel nacional, Giménez (2012) registró también una gran variación (en torno a 150 mm) entre zafras en el consumo de agua estimado en tratamientos sin déficit hídrico, ni nutricional. A pesar de esto, en las diferentes zafras el mayor consumo se dio durante el PC, y destaca que fue la etapa de menor duración (30 días).

La fase de llenado de grano, fue la etapa que continuó en consumo de agua al PC, y la etapa que presentó menor consumo de agua fue la vegetativa.

Giménez y García Petillo (2011) explicaron que el consumo potencial de agua del cultivo lo determina básicamente la energía incidente proveniente de la radiación, el periodo de exposición a la misma y las características del cultivo. Y registraron para Salto mayores valores de ET_c diarios que en Colonia, pero la duración del ciclo en la localidad norte fue sustancialmente menor (33 días) lo que definió menores valores de ET_c totales promedio que en la localidad sur de Colonia 672 mm frente a 536 mm estimados para Salto.

En la zona de Dolores Ceriani e Inella (2012) indican que no fueron suficientes los 290 mm ha⁻¹ regados para cubrir la ET_c , la que fue superior a 600 mm ha⁻¹.

Cardelino y Baethgen (2000) a los efectos de diseños de equipos de riego estudiaron para el periodo 1968-99 la frecuencia de máxima ET_c de cultivos de maíz, en el clima de La Estanzuela (Colonia). Los resultados presentados indican que los valores de ET_c máxima diaria más frecuente oscilaron entre 5,75 y 6,25 mm día⁻¹.

También Tolk et al. (1998) registraron diferencias ente años en la demanda por evaporación en tres estaciones de cultivo, y destacaron especialmente diferencias entre la polinización y llenado de grano. Estos autores estimaron la ET_c promedio entre 5,9 y 6,9 mm d⁻¹ para la estación de crecimiento y entre 5,1 y 7 mm d⁻¹ a partir de la floración hasta la cosecha.

2.7. RIEGO DEFICITARIO

Hergert et al. (1993) al igual que Giménez (2012) afirman que para una correcta evaluación de posibles estrategias de manejo del agua de riego en maíz se deben conocer los efectos que provocan las deficiencias hídricas sobre el rendimiento en las distintas etapas de desarrollo del cultivo.

Fereres y Soriano (2007), definen al riego deficitario, como la aplicación de agua por debajo de los requisitos completos del cultivo (evapotranspiración), y encuentran en esta tecnología una herramienta importante para lograr el objetivo de reducir el uso de agua de riego. El criterio de riego sería, aplicar para evitar el déficit de agua que reduce la producción de cultivos. El mismo criterio comparten Payero et al. (2008), Payero et al. (2009) pero estos autores indican que es necesario adoptar una técnicas flexibles de programación del riego en lugar de depender de estrategias

pre concebidas. Pero coinciden en que cubrir las necesidades aplicando mayores láminas entre el estado de V_{12} y R_2 es una muy buena estrategia.

Ertek y Kara (2013) observaron claramente que mantener el perfil a 85 % del total de AD a capacidad de campo (CC) podría ser considerado como un tratamiento alternativo para riego deficitario sin una pérdida significativa de rendimiento, similares valores obtuvo Zang (2003) frente a reducciones del 30 % del agua aplicada si fuese riego completo, resultó en una reducción de sólo 10 % en el rendimiento.

Jonghan y Giovanni (2009) enfocan el riego deficitario desde la ETc, y reportan que la gestión del riego del maíz en un 75 % ETc es factible con reducción del 10 % del rendimiento de grano. Y en los resultados demuestra que el riego basado en ETc puede ser uno de los esquemas de distribución eficiente del agua.

2.8. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

Fereres y Soriano (2007) encuentran que en la actualidad y más aún en el futuro, la agricultura de regadío se llevará a cabo en condiciones de escasez de agua y que el suministro insuficiente de agua para el riego será normal, por lo que la gestión del riego pasará de enfatizar la producción por unidad de superficie, hacia la maximización de la producción por unidad de agua.

Para Payero et al. (2008) es sumamente importante la cuantificación de la respuesta de los cultivos locales al riego para la gestión del mismo, y reportan valores de eficiencia uso agua (EUA) promedio de 15,3 y 13,7 kg mm⁻¹ (base seca) en 2005 y 2006, respectivamente. La cual aumentó de forma no lineal con la ETc estacional, haciéndose máxima en valores de ETc entre 600 y 700 mm ha⁻¹ alcanzando EUA cercana a los 16 kg mm⁻¹ ha⁻¹. El rendimiento mostró el mismo comportamiento, la EUA fue máxima (17 kg mm⁻¹ ha⁻¹) con rendimientos entorno a los 11.000 kg⁻¹ ha⁻¹. Y en sus resultados muestran que la eficiencia de uso del agua de riego (EUAR) y EUA tuvieron un comportamiento opuesto.

También para Trout (2012) el mantenimiento de la agricultura de riego requerirá de aumentos en la productividad del agua, y obtuvo que la EUAR aumentó desde aproximadamente 30 kg mm⁻¹ ha⁻¹ bajo riego completo a 50 kg mm⁻¹ ha⁻¹ cuando el riego se redujo en un 50 %, e indica que la productividad marginal del agua de riego (rendimiento adicional por unidad de agua adicional) aplicada tiende a ser baja cuando se trata de riego completo, y en la medida que el déficit de agua aumenta la mayor productividad marginal resulta de una mayor eficiencia de las aplicaciones de agua.

Bergonci et al. (2001) obtienen la mayor EUAR de hasta 40 kg de grano $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ cuando el riego se aplicó en el periodo reproductivo, con niveles de riego alrededor de 80 % a 85 % de CC. Similar a lo valores reportados por Ertek y Kara (2013) quienes consideran que la EUA es un parámetro importante para el programa de riego, y encontraron que se hizo máxima en tratamientos mantenidos a 70 % de CC alcanzando producciones entre 48 y 31 kg $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ evapotranspirado durante todo el ciclo, en diferentes zafras. También para estos autores la EUAR se incrementó a medida que disminuyó el consumo de agua del cultivo.

Pedrol et al. (2008) reportan en la zona de la Pampa (Argentina) rendimientos en secano de 10.035 kg ha^{-1} y EUA de 18,5 kg mm^{-1} la que se redujo levemente a 17.5 kg mm^{-1} al implementar riego mediante el cual se elevó el rendimiento a 12.689 kg ha^{-1} .

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

El ensayo se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) de Facultad de Agronomía ubicada sobre la ruta 3, Km. 363 (Paysandú Uruguay), 32° 23'S; 58° 02' W. El suelo del campo experimental de riego de la EEMAC es un Brunosol sub-éutrico típico perteneciente a la unidad San Manuel, según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, incluida dentro de la formación Fray Bentos (Altamirano et al., 1976).

3.1.1. Características del suelo

Cuadro No. 1. Parámetros hídricos y físicos del suelo

Horizonte	Profundidad Cm	CC (mm)	PMP (mm)	DA (g cm ⁻³)	CAAD (mm)
A	0-20	54	28	1,25	26
B	20-70	235	150	1,34	85
A-B	0-70	289	178		111

CC = Capacidad de campo. PMP = Punto de Marchitez Permanente. DA = Densidad Aparente. CAAD = Capacidad de almacenamiento de agua disponible.

3.2. MANEJO DEL EXPERIMENTO

El laboreo primario fue de tipo convencional y consistió en el pasaje de dos rastras excéntricas y el laboreo secundario se realizó con rastras de dientes.

El experimento se sembró el 27 de octubre 2012, las parcelas estuvieron compuestas de cinco surcos de cinco metros cada uno, distanciados entre sí a 0,7 m. El material genético utilizado fue el híbrido DK 692 de ciclo intermedio y fue sembrado a una densidad de 100.000 plantas ha⁻¹. El control de malezas se realizó con el herbicida Atrazina aplicado en pre-emergencia a una dosis de 1 l ha⁻¹ de producto comercial. La fertilización nitrogenada se realizó al estadio V6 y consistió en 300 kg ha⁻¹ de N utilizando como fuente urea (46-0-0).

3.2.1. Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- T1 bienestar hídrico durante todo el ciclo.

- T2 deficiencias hídricas durante el PC, definido como el periodo entre 15 días antes a 15 días después de la aparición de estigmas en las espigas femeninas.
- T3 deficiencias hídricas durante el llenado de grano, esta etapa se consideró desde fin del PC hasta la madurez fisiológica.
- T4 deficiencias hídricas acumuladas desde la etapa vegetativa a fin del PC, esta etapa se ubicó desde la emergencia del cultivo a la finalización del PC.
- T5 seco, sin riego ni intercepción de las PP.

Para determinar los umbrales hídricos definidos, se realizaron dos tipos de intervenciones: riego suplementario e intercepción de las PP en los tratamientos con déficit hídrico a través de la utilización de simuladores de sequía parcelarios y móviles.

3.2.1.1. Simuladores de sequia

Los simuladores de sequía consistieron de estructuras de hierro con dimensiones de 3,5 m de ancho, 5 m de largo 2,5 m de altura, cubiertas por una lona impermeable con el objetivo de impedir el ingreso de agua desde el techo y los cuatro lados (anexo 1). Para evitar el ingreso de agua de escurrimiento las parcelas fueron rodeadas por una ronda construida en tierra con una altura de 0,2 m y a la vez se construyeron desagües para desagotar el agua de lluvia proveniente de los techos de los simuladores.

3.2.1.2. Riego

El riego se realizó por un sistema de goteo con cintas en cada surco y goteros ubicados cada 0,2 m con un caudal de $1,49 \text{ l h}^{-1}$. Se regó aquellas parcelas con deficiencias hídricas de acuerdo a la variación del % AD. Se decidió aplicar agua de riego hasta alcanzar el 90 % del AD, cuando durante el PC el AD descendía por debajo de 60 %, y en los PNC cuando el AD descendía por debajo del 40 %. En aquellos tratamientos y etapas que correspondía déficits hídricos el AD se permitió descender hasta 20 % para luego regar y elevar hasta 40 % el AD en los PNC y hasta 60 % AD en el PC.

El contenido de AD fue estimado a partir de un balance hídrico de suelos de paso diario simplificado. Las variaciones del contenido de agua en el suelo se calcularon mediante la expresión $\Delta S = PP + R - ET_c$, siendo ΔS la variación del AD (mm) y R fue el riego (mm). La ET_c fue calculada diariamente de la siguiente

manera $ET_c = ET_o \times K_c$, siendo ET_o la evapotranspiración del cultivo de referencia (mm), la cual se estimó utilizando la ecuación de FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) y K_c fueron los coeficientes de cultivo, se utilizaron los propuestos por FAO (Allen et al., 1998) para maíz, en ausencia de información nacional. Los parámetros climáticos para estimar la ET_o fueron medidos a través de una estación meteorológica automática Vantage Pro 2TM, modelo 6510 (Davis Instrumentals, Hayward, CA) ubicada en la EEMAC.

3.3. MEDICIONES EFECTUADAS

3.3.1. Muestreos de biomasa aérea

Se efectuaron tres muestreos de biomasa de la parte aérea, coincidiendo con los estadios de inicio (26 diciembre, muestreo 1) y fin del PC (28 de enero, muestreo 2) y al momento de la cosecha (28 de febrero, muestreo 3). En cada muestreo se cortó un metro lineal de plantas a 3 cm del suelo, las que fueron pesadas en el laboratorio, para luego secar una sub-muestra en estufa a una temperatura de 40 y 60 °C, hasta obtener peso constante.

Luego de la cosecha se cuantificó en el laboratorio el número de hileras por espiga, el número de granos por espiga, el peso de mil granos (PMG) y el porcentaje de humedad de los granos.

3.4. DETERMINACIONES ESTADÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Hipótesis biológicas

El déficit hídrico en etapas del desarrollo diferentes afectó el rendimiento en grano y la producción de biomasa en forma diferente.

3.4.2. Hipótesis estadísticas

H_o : los efectos de los diferentes tratamientos son iguales $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$

H_a : existe al menos un tratamiento diferente

3.4.3. Diseño experimental

Dada la homogeneidad entre los bloques, un diseño de bloques completos al azar fue el que se decidió y empleó para asignar los cinco tratamientos en cada una de las tres repeticiones. Se asumió que no habría interacción entre bloques y

tratamientos, por lo que se asignó al azar cada tratamiento en cada uno de los bloques y a la vez dentro de cada bloque se aleatorizó independiente de los demás.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

i= tratamiento: 1, 2, 3, 4, 5

j= bloque: 1, 2, 3

μ : Media general

τ_i : Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} : Error experimental de la unidad experimental i, j.

Y_{ij} : Observación en la unidad experimental i, j.

Supuestos:

- Al modelo:

- Es correcto (en relación al material experimental)
- Es aditivo
- No existe interacción bloque por tratamiento

-A los errores experimentales:

- Son variables aleatorias
- $\varepsilon_{ij} \sim N$
- $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i, j
- Son independientes

- Por definición $\alpha_i = \mu_i - \mu$

Criterios de decisión:

-Si las diferencias entre las medias muestrales son “suficientemente” grandes se rechaza

-Ho. Si el p-valor es $= 0 < \alpha 0,05$, se rechaza Ho

-Si el p-valor es mayor a α 0,05, no se rechaza H_0

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron analizados con el software estadístico SAS, versión 9.1. Con este se realizó:

- análisis de la varianza

Mediante el análisis de la varianza se descompone la variación total en tantos componentes como tenga el modelo.

- análisis de correlación

Se analizaron las variables de interés, de forma de obtener una medida de la magnitud de asociación entre las variables, mediante el coeficiente de Pearson.

3.6. CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERÍODO DE CULTIVO

3.6.1. Precipitaciones

En la Figura 1, se presentan las PP registradas durante la zafra 2012-13 y también los valores de PP promedio acumulados mensualmente en la serie histórica 1980-2009 (Castaño et al., 2011). Es de destacar la gran variabilidad de las PP producida en dicha temporada coincidiendo con lo reportado por Jiménez de Aréchaga (2007). Las PP de octubre y diciembre superaron en más de 300 y 400 % respectivamente a la media de la serie considerada, mientras que en noviembre y enero solo llovió el 30 y el 50 % de la misma serie. Sólo las PP de febrero se comportaron en forma similar a la media de la serie, como se puede ver en la Figura 1.

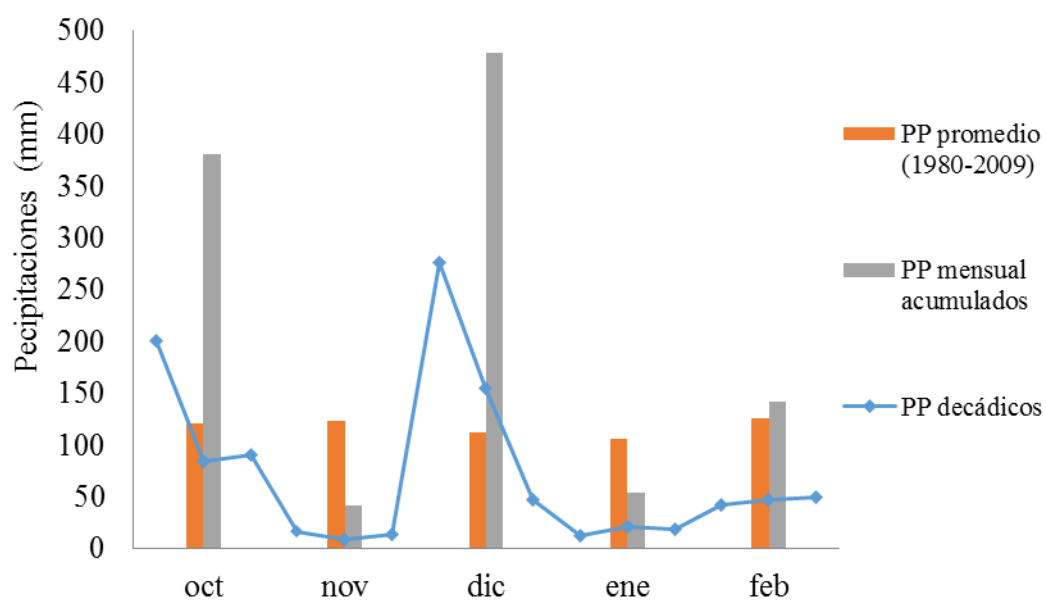


Figura No. 1. Precipitaciones promedio ocurridas en Paysandú para la serie histórica 1980-2009, y precipitaciones en la temporada 2012-2013 registrada en la estación meteorológica de la EEMAC (elaborado en base a datos proporcionados por EEMAC³)

³ Facultad de Agronomía. EEMAC. Estación Meteorológica Automática. 2014. Datos pluviométricos mensuales (sin publicar).

3.6.2. Radiación solar

En la Figura 2 se muestran los valores diarios promedio de radiación solar para los meses en que se desarrolló el cultivo y el promedio de la serie histórica 2002-12 registrado en la EEMAC.

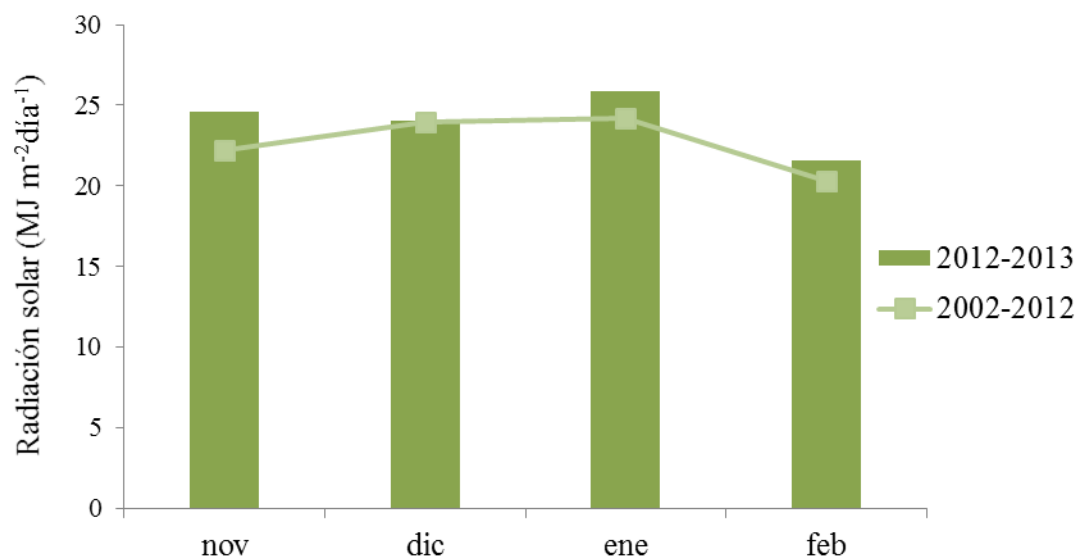


Figura No. 2. Radiación solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) durante la temporada 2012-13 en la EEMAC y promedios mensuales para Paysandú de la serie histórica de 2002-2012 (Estación meteorológica automática de la EEMAC).

Si bien en todo el periodo la radiación solar incidente fue superior al promedio de la serie, durante los meses de noviembre y enero fue aún mayor, coincidiendo con los meses en que las PP y la nubosidad fueron inferiores a la media.

Considerando que el PC se ubicó principalmente durante el mes de enero, fueron especialmente importantes los valores de radiación solar elevados, ya que al ser el maíz una especie C4 el crecimiento en ausencia de limitantes es directamente proporcional a la radiación incidente (Andrade et al., 1996).

3.6.3. Evolución del agua disponible del suelo

En las Figuras 4, 5, 6 y 7, se muestra la evolución del porcentaje de AD en el suelo a la profundidad radicular estimada en cada etapa durante el ciclo de cultivo y los umbrales de riego en las diferentes etapas del mismo, para los tratamientos evaluados.

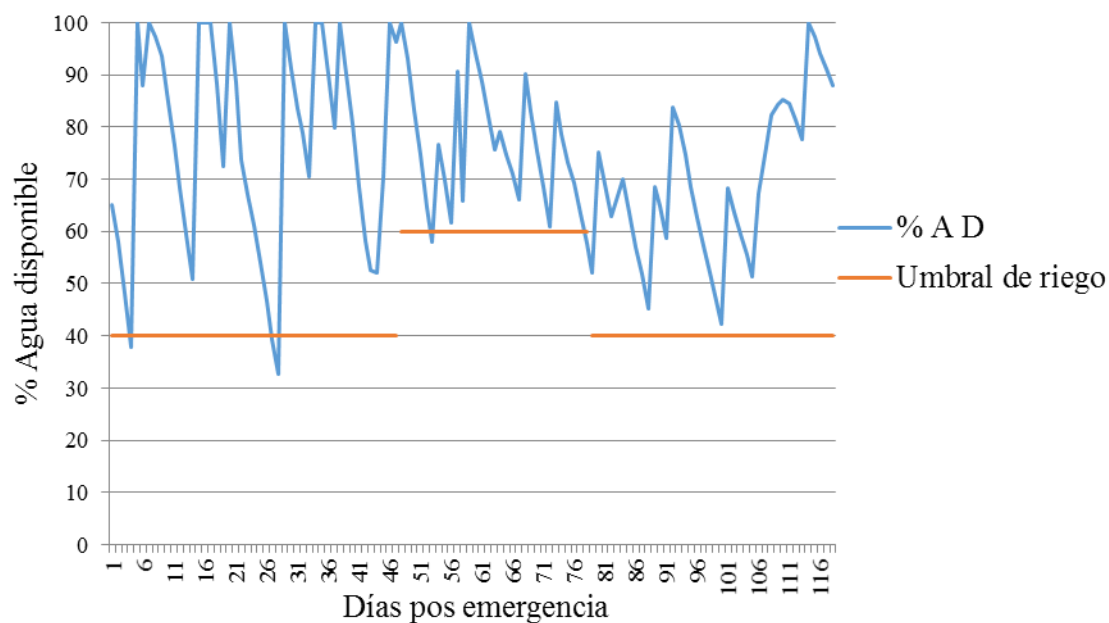


Figura No. 3. Evolución del agua disponible en el tratamiento 1 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican los umbrales de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.

En el T1 se pretendió mantener un estado de bienestar hídrico durante todo el ciclo, y como se puede ver en la Figura 3 se logró en forma satisfactoria. En este tratamiento se asumió que la dispersión del contenido de agua disponible con respecto al umbral objetivo fue mínima y por eso no repercutió en el rendimiento en grano.

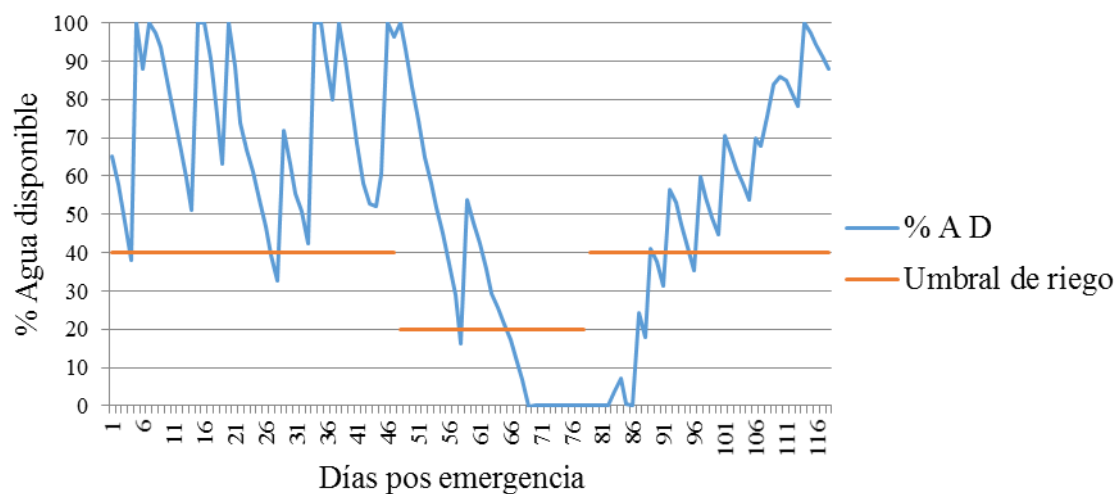


Figura No. 4. Evolución del agua disponible en el tratamiento 2 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican los umbrales de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.

En la Figura 4 se observa que no se pudo generar el estrés hídrico exactamente como se pretendió evaluar. En las etapas iniciales del ciclo no se logró retener el agua de lluvia por lo que se inició el PC con el perfil a 100 % AD y se mantuvo superior al umbral máximo durante los primeros seis días del PC. Los últimos diez días del PC e inicios del llenado de grano se observó que el porcentaje AD fue cero. Cabe aclarar que el balance hídrico de suelos realizado sobreestima las pérdidas y eso no fue exactamente así, de lo contrario el cultivo se hubiera secado.

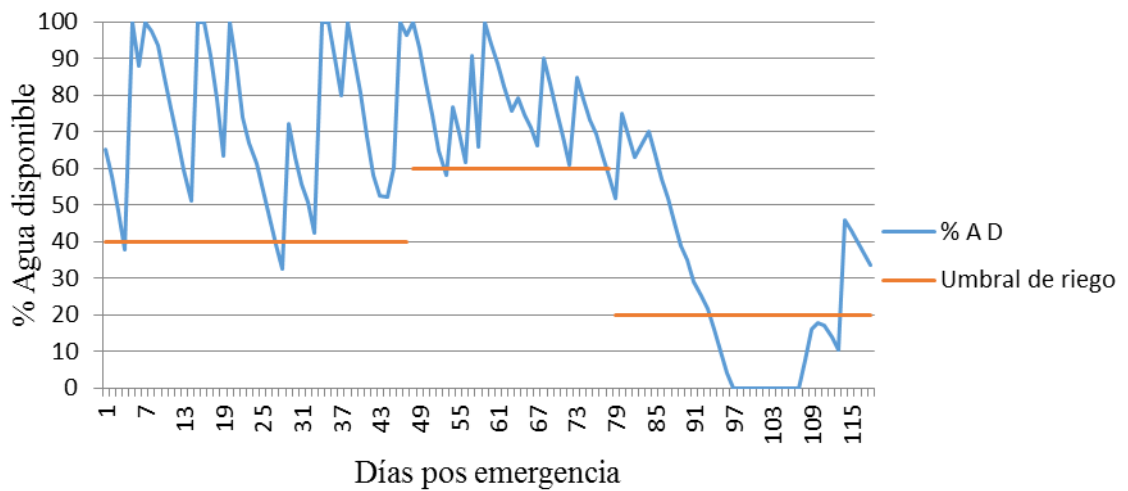


Figura No. 5. Evolución del agua disponible en el tratamiento 3 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican el umbral de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.

En la Figura 5 se puede ver la disponibilidad hídrica en el T3 durante el ciclo. En la fase vegetativa y reproductiva se mantuvo el porcentaje de AD por encima de 40 y 60 %, respectivamente. Pero el déficit que se planificó evaluar desde el inicio de la etapa de llenado de grano se retrasó diez días y hacia fines de la misma etapa el déficit no se pudo generar.

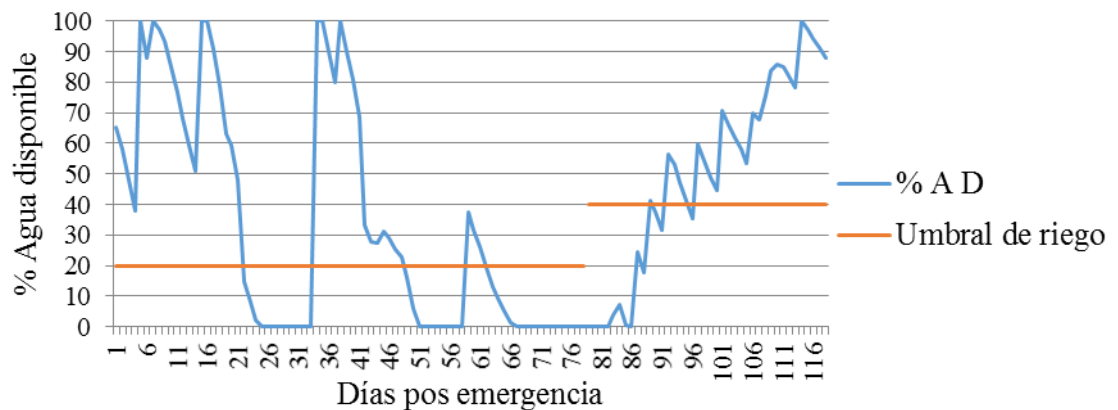


Figura No. 6. Evolución del AD en el tratamiento 4 durante el ciclo de cultivo. Las líneas rojas indican el umbral de riego y la línea azul el porcentaje de agua disponible.

En la Figura 6 se presenta la disponibilidad hídrica en el T4. El déficit que se pretendía generar desde el inicio de la fase vegetativa a fin del PC, se logró a los 29 DPE, como se puede observar en la Figura 6 el porcentaje de AD estuvo siempre por encima del umbral establecido producto de que las PP intensas no se lograron interceptar eficientemente. También a inicios de la fase reproductiva la disponibilidad hídrica fue inferior al umbral establecido.



Figura No. 7. Evolución del agua disponible durante el ciclo del cultivo en el tratamiento 5.

Se presenta en la Figura 7 la evolución del AD en el T5. En este tratamiento la disponibilidad hídrica dependió de la recarga del suelo por las PP, las cuales mantuvieron una buena disponibilidad hídrica durante parte importante de la duración del PC. Pero en una parte significativa del ciclo el cultivo estuvo expuesto a disponibilidades hídricas inferiores a 20 % AD.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

4.1.1. Parámetros de crecimiento

4.1.1.1. Evolución de la deposición de materia seca

En la Figura 8 se presenta la evolución de la MS aérea en los diferentes tratamientos evaluados. La zafra 2012-13 presentó características climáticas que permitieron una elevada deposición de MS. Si bien no se alcanzó a obtener la MS reportada por Giménez (2012) en años “Niña”, sí fue superior a la reportada por dicho autor a en años “Niño”.

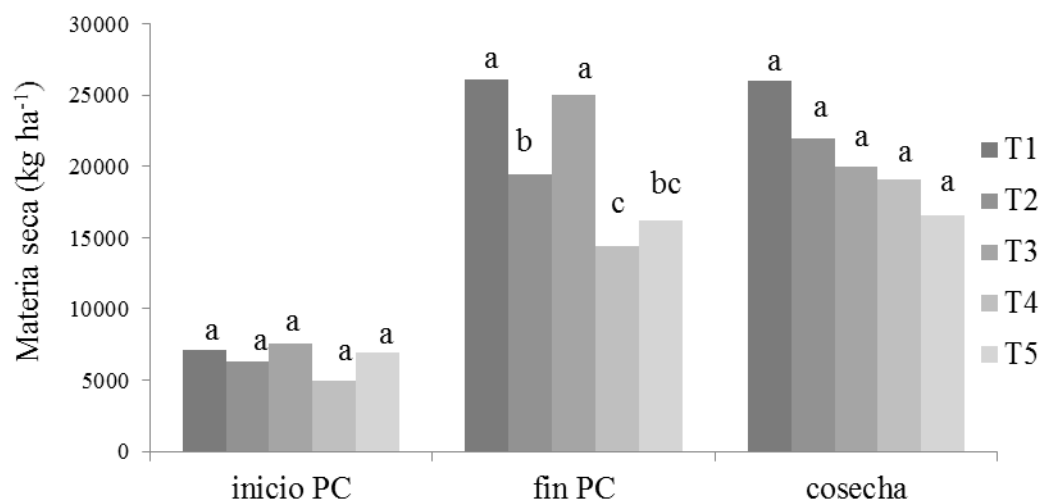


Figura No. 8. Materia seca (kg ha^{-1}) a inicios, fin del PC y cosecha. Las columnas letras iguales no difieren entre sí ($P < 0,05$; Tukey).

La radiación solar incidente diaria superó al promedio de la serie histórica mencionada, esto junto a la buena disponibilidad hídrica en el T1, T2, T3 y T5 permitió que el cultivo creciera sin limitantes hasta el inicio del PC, no obstante el T1 solo había depositado el 27 % de la MS total, estos resultados coinciden con los reportados por Giménez (2012), pero se encuentran muy por debajo del 40 % reportado por Andrade et al. (1996) en condiciones de bienestar hídrico.

En el T4 se redujo un 30 % la MS depositada con respecto a los 7.070 kg ha^{-1} de MS registrados en el T1 a inicios del PC. Sin embargo en este experimento no se

encontraron diferencias entre los tratamientos evaluados coincidiendo con lo reportado por Giménez (2012).

En el T2 y en el T4 a fin del PC, se registró entre 25 y 45 % menor volumen de MS acumulada en relación al T1. Andrade y Sadras (2000) expresan que cultivos sometidos a deficiencias hídricas, reducen la intercepción y/o disminuyen la eficiencia de conversión de radiación interceptada en MS, esto explicaría las diferencias significativas entre los tratamientos.

El T1 superó los 25.000 kg ha⁻¹ de MS lo que coincidió con lo reportado para la región por Puiatti et al. (s.f.), Andrade et al. (1996), Della Maggiora et al. (2008), Giménez (2012). El déficit hídrico afectó la deposición de biomasa en mayor medida durante el PC como reportaron Andrade et al. (1996), Pedrol et al. (2008).

Al momento de la cosecha no se obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos coincidiendo con los resultados de Roselli y Texeira (1998), Giménez (2012). El patrón de crecimiento y la deposición de biomasa para el T2, T4 y T5 se asemeja al reportado por Andrade et al. (1996).

En el T3 el déficit generado durante la fase de llenado de grano modificó la evolución de la MS. Se puede observar en la Figura 9 que la MS durante el periodo de llenado de grano se redujo, Otegui et al. (1994), Andrade y Gardiol (1995) reportan en cultivos sometidos a deficiencias hídricas la senescencia de las hojas basales, esto podría explicar la reducción en la biomasa depositada en el ensayo.

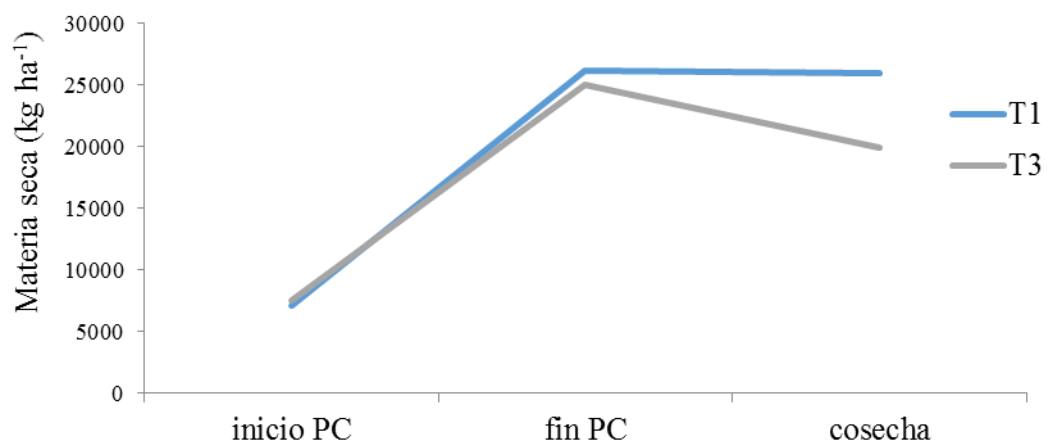


Figura No. 9. Evolución de materia seca (kg ha⁻¹) del tratamiento 1, y del tratamiento 3 a inicio y fin del periodo crítico y a la cosecha

También una pequeña reducción de la MS total entre fin de PC y cosecha se registró en el T1, si bien no se constató en el experimento el cultivo podría haber translocado reservas internamente¹ desde el tallo y hojas basales hacia los granos en crecimiento como reportaron Andrade y Gardiol (1995).

4.1.1.2. Tasa de crecimiento del cultivo durante el periodo crítico

La TCC refleja la condición fisiológica del cultivo (Andrade et al., 1999) y ello es determinante del número de granos por superficie, principal componente que explica los cambios en el rendimiento (Giménez, 2012). El déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los granos en desarrollo, impidiendo la fertilización o causando aborto y pérdida de rendimiento Westgate y Boyer (1985).

En la Figura 10, se muestra la acumulación de MS diaria durante el periodo de determinación de rendimiento comprendido entre 15 días antes y 15 días después del inicio de la floración femenina.

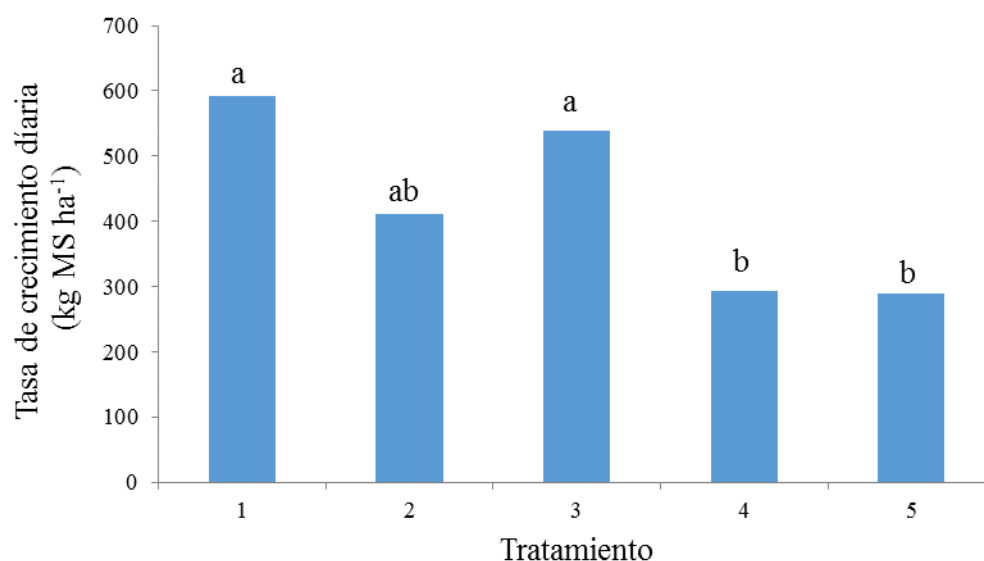


Figura No. 10. Tasa de crecimiento del cultivo diaria durante el periodo crítico en función de los tratamientos. Las columnas con letras iguales no difieren entre sí ($P < 0.05$; Tukey).

En coincidencia con Otegui et al. (1994), quienes reportaron que el éxito reproductivo en maíz sometido a estrés hídrico está fuertemente relacionado con el

crecimiento durante el PC, también en este experimento las TCC durante el PC estuvieron fuertemente relacionadas con el rendimiento. El T1 y T3 presentaron los máximos valores para ambas variables, el T4 los mínimos y en el T2 se lograron TCC y rendimientos intermedios.

El déficit hídrico redujo significativamente la TCC diaria durante el PC, las disminuciones fueron de 31 % en el T2 y de 49 % en el T4, en ambos casos con respecto al T1. La reducción del T2 podría deberse a lo reportado por Andrade y Sadras (2000), quienes como consecuencia del estrés hídrico encontraron que la TCC se redujo, debido a la baja eficiencia de conversión de la radiación interceptada en MS. En el T4 se le sumaría el efecto de una menor radiación interceptada debido a la menor área foliar definida durante la fase vegetativa como reportaron Della Maggiora et al. (2008).

4.2. EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SOBRE EL RENDIMIENTO

En la Figura 11 se presentan los rendimientos en grano en los diferentes tratamientos evaluados en el experimento. El análisis estadístico indicó que los mismos se diferenciaron significativamente ($P < 0,5$).

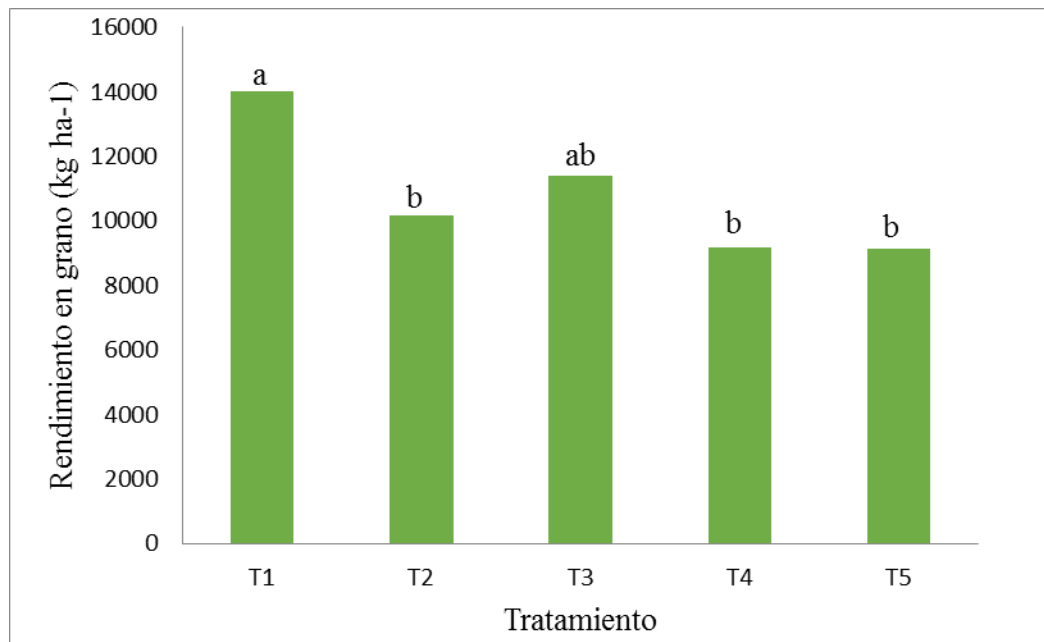


Figura No. 11. Rendimiento en grano (kg ha⁻¹) en los diferentes tratamientos evaluados. Las columnas con letras iguales no difieren entre sí. ($P < 0.05$; Tukey)

El rendimiento obtenido en los T2, T4, y T5, fue significativamente inferior al obtenido en el T1 concordando con los resultados de Andrade y Gardiol (1995) quienes reportan que el déficit hídrico en cualquier momento del ciclo causó reducciones en el rendimiento. Pero coincide que el T2, el T4 y el T5 sufrieron déficit durante el PC y presentaron los rendimientos menores del experimento concordando con Otegui (1992), Payero et al. (2008). Estos autores señalan que el estrés hídrico durante la floración femenina, produce las mayores disminuciones en el rendimiento.

Al igual que lo reportado por Giménez (2012), se encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre el T1 y el T2, el estrés hídrico en el T2 redujo el 28 % el rendimiento de grano con respecto al T1. Si bien la reducción fue muy inferior al 50 % reportado por Giménez (2012), en este caso, el estrés hídrico se inició una semana después de iniciado el PC.

El rendimiento en el T3 fue 82 % al obtenido en el T1 y no se diferenció significativamente del mismo, y la reducción del rendimiento por déficit durante el llenado de grano fue significativamente menor a la reducción ocasionada por déficit durante el PC. Similares resultados reportaron Della Maggiora et al. (2008), Giménez (2012), quienes registraron reducciones del rendimiento por déficit durante llenado de grano en torno al 30 %.

Numerosos autores (Hergert et al. 1993, Bergonci et al. 2001, Payero et al. 2009) coincidieron en que las deficiencias hídricas redujeron el rendimiento en cualquier etapa del ciclo, pero el efecto fue más grave durante las etapas reproductivas, seguido por la fase de llenado de grano. En menor medida el déficit hídrico en la fase vegetativa tuvo efecto en la reducción del rendimiento como reportan Tolk et al. (1998), Rivetti (2007), Payero et al. (2008).

4.2.1. Efecto de la disponibilidad hídrica sobre los componentes del rendimiento

En el Cuadro 2 se puede ver como afectó el déficit hídrico en cada momento del ciclo, a los componentes numéricos del rendimiento que explicaron las variaciones en el rendimiento en el experimento.

Cuadro No. 2. Componentes numéricos del rendimiento en grano.

Tratamiento	No. de granos m ⁻² (*)	Peso de 1000 granos(*)
T1	4809 a	276 b
T2	3367 b c	293 a
T3	4646 a	237 c
T4	2921 c	302 a
T5	3844 b	230 c

(*) Valores con letras iguales indican diferencias no significativas.

Se observa en el Cuadro 2 que el mayor número de granos por superficie se obtuvo en el tratamiento con bienestar hídrico durante todo el ciclo y éste componente no fue afectado significativamente por déficit hídricos provocados durante la fase de llenado de grano.

Se redujo el número de granos por superficie en aquellos tratamientos que fueron expuestos a déficit durante el PC, y la acumulación del déficit desde la fase vegetativa no agregó a reducciones aún mayores en lo que a granos por superficie respecta.

El déficit hídrico en el T2 redujo significativamente un 30 % el rendimiento a causa del bajo número de granos por metro cuadrado, ésta es una respuesta congruente con lo expuesto por Westgare y Boyer (1985), Grant et al. (1989), Otegui (1992). Si bien el bienestar hídrico durante el llenado de granos definió un elevado peso de grano, no fue el máximo registrado lo que podría deberse a lo citado por (Jones y Col, citados por Andrade et al., 1996) quienes reportaron que el déficit hídrico durante las dos semanas posteriores a la floración afecta de forma irreversible el peso potencial de los granos.

El déficit hídrico en el T3 redujo significativamente el peso de los granos, en más del 20 % con respecto al T1. Si bien el bienestar hídrico durante el PC permitió

concretar un alto número de granos por superficie, no compensó el bajo peso de los mismos, lo que redujo el rendimiento en 20 % en relación al T1.

En el T4 se obtuvo el máximo PMG, a la vez que el menor número de granos por metro cuadrado, inclusive se obtuvo menor número de granos por superficie que en el T2. La diferencia en granos entre T2 y T4 se podría deber al déficit hídrico durante la etapa vegetativa en el T4, lo que llevó a definir una menor área foliar, o sea menor capacidad de fuente para interceptar radiación y generar fotosintatos y así poder definir, concretar y mantener un mayor número de granos (Boyle et al., 1991).

La mayor reducción en el número de granos fue en torno al 30 % y se dio a causa de déficit durante el PC. En el PMG la mayor reducción fue del 15 % a causa de déficit durante el llenado de grano. Giménez (2012) reportó reducciones superiores entre 10 y 20 % a las registradas en este experimento por déficit hídrico durante el PC y el llenado de granos.

4.3. RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

En la Figura 13, se puede apreciar claramente que el número de granos fue el principal determinante de la variación del rendimiento, lo cual se ve reflejado en la alta correlación que existe entre las variables. Los resultados logrados coinciden con los obtenidos por Otegui et al. (1994), Pagano y Maddonni (2007), Della Maggiora et al. (2008) quienes determinan que el PMG explicó muy poco las variaciones del rendimiento.

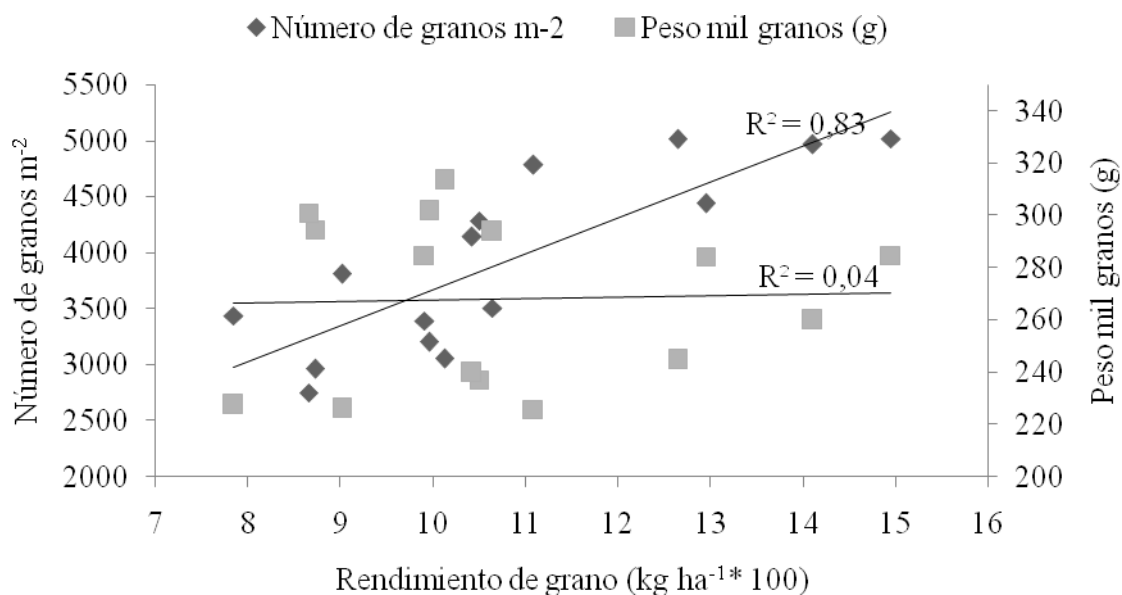


Figura No. 12. Número de granos m⁻² y peso de mil granos (g), en función del rendimiento.

4.3.1. Granos por espigas y espigas por planta

En el Cuadro 3, se observa que el número de granos por espiga no fue afectado por el déficit hídrico, y las variaciones en el número de espigas por planta en este experimento explican las variaciones del número de granos por superficie. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Ceriani e Inella (2012) quienes indican que, las variaciones de granos por superficie se debieron a variaciones en el número de granos por espiga.

Cuadro No. 3. Espigas por planta y granos por espiga

Tratamiento	Número de granos / espiga (*)	Número de espigas / planta(*)
T1	373 a	1,33 a
T2	372 a	0,91 b
T3	370 a	1,25 a
T4	367 a	0,91 b
T5	323 a	1,06 ab

(*) Valores con letras iguales en la misma columna indican diferencias no significativas

El número de espigas por planta fue afectado claramente por el déficit hídrico, concordando con Pagano y Maddonni (2007) quienes obtuvieron que las TCP superiores a 6 g día^{-1} definieron 2 espigas por planta, en este experimento el T1 y el T3 definieron el mayor número de espigas por planta a la vez que la TCP también fue la mayor y se acercó al umbral reportado por los autores 5,92 y $5,39 \text{ g día}^{-1}$ respectivamente.

4.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

En la Figura 15, se muestra la evolución de la ETc estimada en el ciclo de desarrollo del cultivo en el T1. Cabe señalar que sólo fue posible estimar la ETc en dicho tratamiento, debido a que para el cálculo de la ET en condiciones de estrés, se debe utilizar factores de corrección que aún no se encuentran disponibles en el país.

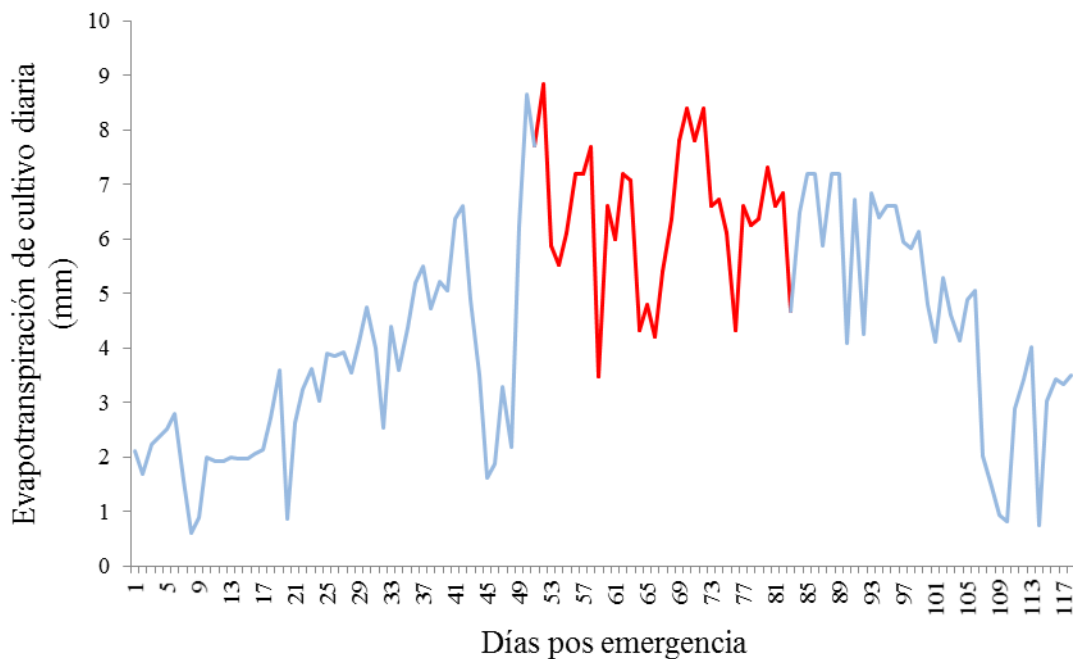


Figura No. 13. Evolución de la evapotranspiración de cultivo diaria del T1. Periodo crítico (línea roja), periodo no crítico (línea azul).

La ETc total fue de 542 mm y como se puede ver en la Figura 15 aumentó hasta mediados del ciclo en la medida que se incrementó la radiación incidente para luego descender como también reportaron Andrade et al. (2000), Della Maggiora et al. (2000), Guzzaroni (2009), quienes relacionaron la evolución del área foliar y la radiación interceptada con la ETc diaria.

La ETc diaria máxima registrada fue de 8,8 mm a los 54 días de la emergencia del cultivo, coincidiendo con el inicio del PC. En promedio la ETc en el PC fue de 6,4 mm similar a lo reportado por Cardelino y Baethgen (2000), mientras que durante la fase vegetativa y llenado de grano la ETc promedio fue de 3,2 y 4,8 mm, respectivamente.

Como reportó Zang (2003) los 30 días de duración del PC coinciden con el periodo de ETc máxima en el cual se evapotranspiró el 40 % de la ETc total del ciclo, por lo que el estrés durante esta etapa es de elevada importancia.

4.4.1. Eficiencia de uso del agua

Trout (2012) encontró que a nivel mundial para el mantenimiento de la agricultura de riego se requerirá de aumentos en la productividad del agua por diferentes razones en cada región, en nuestro país como reporta Giménez (2012) los altos costos de inversión y funcionamiento de riegos requieren de información como cuanto rendimiento se puede esperar de una asignación de agua determinada (Payero et al., 2008).

En este experimento la EUA alcanzó 26 kg mm^{-1} y si bien en el país no hay registros de este indicador, resultados similares fueron reportados en la región por Puiatti et al. (s.f.), Rivetti (2006), Della Maggiora et al. (2008) valores muy inferiores fueron registrados por Pedrol et al. (2008), Payero et al. (2008) en ambientes donde la ETc total supero al registrado en este experimento y la región por más de 100 mm.

Della Maggiora et al. (2008) señalan que la ETc y la EUA son características variables, que están determinadas por las condiciones ambientales propias del crecimiento y desarrollo del material genético lo que explicaría la diferencia entre los diferentes autores y los resultados obtenidos en este experimento.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del experimento señalan que el rendimiento en grano de maíz dependió en gran medida de la disponibilidad hídrica en las diferentes etapas de desarrollo y que los efectos del estrés hídrico sobre la producción de grano fueron consecuencia de la duración del mismo y principalmente del momento en que se generó el estrés.

Bajo las condiciones climáticas en que se desarrolló el experimento sólo en el tratamiento conducido bajo bienestar hídrico durante todo el ciclo, se alcanzaron rendimientos cercanos a los potenciales reportados en la región.

Las deficiencias hídricas provocadas durante el PC fueron las de menor duración en el ciclo del cultivo y causaron la mayor reducción del rendimiento con respecto al bienestar hídrico, el déficit afectó principalmente el número de granos por superficie, principal componente que explicó las variaciones del rendimiento.

Las deficiencias hídricas en la etapa de llenado de grano redujeron el peso promedio de granos, pero el efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento fue menor que en la etapa anterior.

El efecto del déficit desde la fase vegetativa a fin del PC afectó el número de granos por superficie lo que repercutió fuertemente en el rendimiento, pero el déficit durante toda la fase vegetativa no agregó mayores reducciones de las generadas por déficit durante el PC.

6. RESUMEN

Se desarrollo en la Estación Experimental “Dr. M. A. Cassinoni en Paysandú, Uruguay, el experimento en el cual se evaluó el efecto de diferentes niveles de AD en el suelo en distintas etapas del ciclo del cultivo de maíz. El trabajo consistió en determinar el rendimientos de maíz en situaciones de bienestar hídrico (T1) y cuantificar las disminuciones generadas por la ocurrencia de estrés hídrico durante: el PC (T2), el llenado de grano (T3), la etapa vegetativa y el PC (T4); además se evaluó un tratamiento en secano (T5). El estrés hídrico en distintas etapas se generó a través de simuladores de sequía y el bienestar hídrico a través de riego por goteo. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos. Del análisis de varianza se obtuvo que se diferenciaron de forma significativa los tratamientos evaluados sobre la producción de grano. En el tratamiento con bienestar hídrico durante todo el ciclo el rendimiento alcanzó los 14.000 kg ha⁻¹, y el mismo se redujo significativamente a causa del estrés hídrico en las diferentes etapas evaluadas. Respecto al potencial el déficit hídrico durante el PC redujo 28 % el rendimiento, consecuencia de una reducción en el número de granos por superficie. El déficit durante la fase de llenado de grano redujo un 20 % el rendimiento, producto de un menor PMG. La mayor reducción del rendimiento se observó en el tratamiento con déficit acumulado durante la fase vegetativa y PC, el bajo número de granos concretados no pudo ser compensado por el alto PMG, por lo que el rendimiento se redujo 35 % respecto al potencial. También se analizó la MS, número de granos por superficie y PMG, la variable que mejor explicó las variaciones de rendimiento fue el número de granos por superficie y esta dependió fuertemente del estado fisiológico del cultivo durante el PC el cual se vio reflejado en las diferentes TCC registradas.

Palabras clave: Maíz; Deficiencia hídrica; Riego.

7. SUMMARY

The effect of diverse levels of water available in the soil in the different phases of the corn crop cycle was evaluated in the Experimental Station “Dr. M. A. Cassinoni” in Paysandú, Uruguay. The job consisted of determining the yield of corn in situations of water sufficiency (T1), and quantifying the diminishment originated by the occurrence of water deficiency during: the critical period (T2), the grain filling (T3), the vegetative phase and the critical period (T4). Besides, a treatment in rainfed (T5) was evaluated. The water deficiency in the different phases was generated through the drought simulators, and the water sufficiency, through drip irrigation. The design used consisted of completed blocks at random, with three repetitions and five treatments. From the analysis of variance resulted that the treatments evaluated in the grain production were significantly different. In the treatment with water sufficiency throughout the whole cycle, the yield reached $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$, and it was reduced significantly due to the water deficiency in the different phases evaluated. Regarding the potential during the critical period, the water deficit reduced 28% the yield as a result of a reduction in the number of grains by surface. The deficit during the grain filling phase reduced 20% the yield, as a consequence of less weight of thousand grains. The main reduction of yield was noticed in the treatment with accumulated deficit during the vegetative phase and the critical period. The low number of grains concretized could not be compensated for the high weight of thousand grains, so that the yield was reduced 35% regarding the potential. The dry matter, number of grains by surface and the weight of thousand grains were also analyzed. The number of grains by surface was the variable which explained better the variations of yield, and it depended strongly on the physiological state of the crop during the critical period. This was reflected in the different registered rates of the crop growth.

Keywords: Corn; Water Deficiency; Irrigation.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ABAL, G.; ANGELO, D. M.; CATALDO, J.; GUTIÉRREZ, A. 2010. Mapa solar del Uruguay; versión 1.0. (en línea). Montevideo, Facultad de Ingeniería. 57 p. Consultado 5 oct. 2013. Disponible en <http://www.fing.edu.uy/if/solar/memoria-mapa-solar-v1.pdf>
2. ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration; guidelines for computing crop water requirements. Roma, FAO. 300 p. (Irrigations and Drainage no. 56)
3. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURAN, A.; ECHEVARRIA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay; clasificación de suelos del Uruguay. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
4. ANDRADE, F.; GARDIOL, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Boletín técnico no. 132. 23 p.
5. _____.; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, La Barrosa. 292 p.
6. _____.; VEGA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science. 39: 453-459.
7. _____.; SADRAS, V. O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana. pp. 173-206.
8. AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª ed. Madrid, ES, Mc Graw Hill Interamericana. 651 p.
9. BACCINO, G. 2001. Riego por gravedad en el cultivo de maíz. (en línea). Revista Plan Agropecuario. 99: s.p. Consultado 14 feb. 2014. Disponible en

http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R99/R99_47.htm

10. BARRENAS, P. G. s.f. Evaluación de fertilización en maíz para grano campaña 2010-11. (en línea). s.n.t. pp. 1-4. Consultado 16 abr. 2014. Disponible en <http://www.corforiocolorado.gov.ar/archivos/Evalualiconfertilizacionmaizgrano.pdf>
11. BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. 2001. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 36(7): 1-11. Consultado 24 ene. 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000700004>
12. BORRÁS, L.; WESTGATE, M. E.; ASTINI, J. P.; ECHARTE, L. 2007. Coupling time to silking with plant growth rate in maize. Field Crops Research. 102: 83-85.
13. BOYLE, M. G.; BOYER, J. S.; MORGAN, P. W. 1991. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. Crop Science. 31(5):1246-1252.
14. CARDELINO, G.; BAETHGEN, W. E. 2000. Análisis de la viabilidad de sistemas de riego para maíz; estudio de casos y evaluación de estrategias In: Jornada de Cultivos de Verano; Tecnologías de Producción en Cultivos y Pasturas (2000, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 47-55 (Actividades de Difusión no. 227).
15. CASTAÑO, J. P.; GIMÉNEZ, A.; CERONI, M.; FUREST, J.; AUNCHAYNA, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
16. CAVIGLIA, O. P.; SADRAS, V. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. Field Crops Research. 69 (3):259-266.
17. CENTRO PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO Y FORESTAL (CEDAF). 1998. Cultivo de maíz. (en línea). Santo Domingo, República

Dominicana. 44 p. (Serie Cultivos. Guía Técnica no. 33). Consultado 23 oct. 2013 Disponible en <http://www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/maiz.pdf>

18. CERIANI, M.; INNELLA, J. A. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de riego y secano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
19. CRUZ, G.; MUNKA, G.; PEDOCCHI, R. 2000. Caracterización agroclimática de la región litoral centro oeste de la República Oriental del Uruguay. Agrociencia (Montevideo). 4(1): 87-92.
20. DELLA MAGGIORA, A. I.; GARDIOL, J. M.; IRIGOYEN, A. I. 2000. Requerimientos hídricos. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Editorial Médica Panamericana. pp. 155-171.
21. _____.; _____.; _____.; SUERO, E. E.; SERIO, L. 2008. Efecto de la disponibilidad de agua del suelo sobre la transpiración, eficiencia de transpiración y rendimiento de un cultivo de maíz (*Zea mays*). (en línea). In: Congresso Brasileiro de Meteorología (11º., 2000, Rio de Janeiro). Anais. s.l., Ministerio de Agricultura, Pecuaria e Abastecimiento. pp. 293-301. Consultado 27 ene. 2013 Disponible en <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-ceafad64456c6dd84ef35c6cbb553154.pdf>
22. ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A. I.; IRIGOYEN, A. I.; DOSIO, G. 1998. Disminución del rendimiento en el cultivo de maíz debida a los déficit hídricos ocurridos en la localidad de Balcarce. (en línea). In: Congreso Brasileiro de Meteorología (10º.), Congreso de la Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología (8º., 1998, Brasília). Actas. s.n.t. 1 disco compacto. Consultado 23 jun. 2013. Disponible en <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-f9e07bc50934e8a966ac55442bb19919.pdf>
23. EDMEADES, G. O.; DAYNARD, T. B. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. Plant Science. 59: 585-601.

24. ERNST, O.; MAZZILLI, S.; SIRI-PRIETO, G. 2011. Manejo de la reserva de agua del suelo para situaciones de estrés hídrico. In: Simposio Nacional de Agricultura (2°, 2011, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 1-17.
25. ERTEK, A.; KARA, B. 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 129: 198-144.
26. ESPÓSITO, G.; BALBOA, G.; CERLIANI, C.; BALBOA, R.; CASTILLO, C. 2012. Rendimiento potencial con uso eficiente de agua e insumos (Córdoba, Argentina). (en línea). In: Reunión Internacional de Riego (3ª., 2012, Manfredi). Rendimiento potencial de maíz en Río Cuarto. s.n.t. s.p. Consultado 18 ene. 2013. Disponible en http://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/945_Esposito%20et%20al%20corregido.pdf
27. FAO. 2013. Hambre y precios de los alimentos. (en línea). Boletín Trimestral de la Seguridad Alimentaria y Nutricional. oct.-dic.: s.p. Consultado 19 ene. 2014. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/temas/hambre/precios/trimestral/>
28. FASSIO, A.; CARRIQUIRY, A. I.; TOJO, C.; ROMERO, R. 1998. Maíz; aspectos sobre fenología. Montevideo, INIA. pp. 1-50 (Serie Técnica no. 101).
29. FERERES, E.; SORIANO, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*. 58 (2):147–159.
30. GENTA, J. L.; FAILACHE, N. 2010. Potencial del riego extensivo en Cultivos y Pasturas. In: Seminario Internacional Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas (1°, 2010, Paysandú, Uruguay). Disponibilidad de agua en Uruguay; variabilidad-precisión-institucionalidad. Montevideo, Uruguay, s.e. pp. 177 – 182.
31. GIMÉNEZ, L.; GARCÍA PETILLO, M. 2011. Evapotranspiración de cultivos de verano para dos regiones climáticamente contrastantes de Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 15: 100-108.

32. _____. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia* (Montevideo). 15: 92-102.
33. GRANT, R. F.; JACKSON, B. S.; KINIRY J. R.; ARKIN, G. F. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal*. 81: 61-65.
34. GUZZARONI, M. V. 2009. Intercepción de la radiación y consumo de agua del maíz en diferentes marcos de plantación. Tesis Ing. Agr. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria. 74 p.
35. HERGERT, G. W.; KLOCKE, N. L.; PETERSEN, J. L.; NORDQUIST, P. T.; CLARK, R. T.; WICKS, G. A. 1993. Cropping systems for stretching limited irrigation supplies. *Journal of Production Agriculture*. 6 (4): 461-527.
36. HERRERO, M. P.; JOHNSON, R. R. 1981. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Science*. 21(1):105-110.
37. JIMÉNEZ DE ARÉCHAGA, P. 2007. El riego es necesario a pesar de las abundantes lluvias. (en línea). *Ciencia*. 3: 9-12. Consultado 9 ene. 2014. Disponible en <http://www.uruguay-ciencia.com/imagenes/sumario3/articulos/riego.pdf>
38. JONGHAN, K. O.; GIOVANNI, P. 2009. Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. *Agricultural Water Management*. 96:799–808.
39. MAGALHAES, A.; Da SILVA, W. J. 1987. Determinantes genéticos fisiológicos de la producción da milho; melhoramiento y producao do milho. San Paulo, Fundacao Cargill. 425 p.
40. MOLFINO, J. H.; CALIFRA, A. 2001. Agua disponible de las tierras de Uruguay; segunda aproximación. Montevideo, MGAP. 12 p.

41. MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R. 1991. Water deficit effects on maize yields modeled under current and "greenhouse" climates. *Crop Science*. 83: 1052-1059.
42. NAGORE, M. J.; ECHARTE, L.; ANDRADE, F. H.; DELLA MAGIORA, A. 2013. Crop evapotranspiration in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Research*. 155: 23-29.
43. NÚÑEZ GUZMÁN, L. D. 2014. Producción de maíz en México y el mundo. (en línea). *El Economista*, México, MX, feb. 13: s.p. Consultado 18 ene. 2013 Disponible en <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/02/11/produccion-maiz-mexico-mundo>
44. OLANO, A. 1987. Relaciones hídricas. Montevideo, Facultad de Agronomía. 90 p.
45. OTEGUI, M. E. 1992. Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Balcarce, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. 93 p.
46. _____.; ANDRADE, F. H.; SUERO, E. E. 1994. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research*. 40: 87-94.
47. PAGANO, E.; MADDONNI, G. A. 2007. Intra-specific competition in maize; early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Research*. 101: 306-320.
48. PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*. 92 (12):895-908.
49. _____.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn

evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass Agricultural Water Management. 96:1387-1397.

50. PEDROL, H. M.; CASTELLARÍN, J. M.; FERRAGUTI, F.; ROSSO, O. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 40: 17-20.
51. PERDOMO, C. H.; HOFFMAN, E. M. 2011. Manejo de nitrógeno en maíz: actualidad y perspectivas. *In*: Simposio Nacional de Agricultura (2º, 2011, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 61-75.
52. PUIATTI, J. M.; RIVETTI, A. R.; GOMEZ ABELLO, G. s.f. Efecto de diferentes programaciones de riego complementario sobre la producción de un cultivo de maíz (*Zea mays*) en Río Cuarto, Córdoba. (en línea). s.n.t. pp. 1-9. Consultado 11 dic. 2012. Disponible en <http://www.ina.gov.ar/pdf/CRA-IVFERTI/CRA-RYD-22-Puiatti.pdf>
53. RIVETTI, A. R. 2005. Efecto del riego complementario sobre el rendimiento en grano de maíz y sus componentes. (en línea). Río Cuarto, Córdoba, s.e. pp. 1-9. Consultado 6 dic. 2013. Disponible en <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=188>
54. _____. 2007. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias UN Cuyo*. 39: 29-39.
55. ROSELLI, S.; TEXEIRA, J. 1998. Efecto del manejo del agua de riego sobre las características productivas de maíz para grano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 55 p.
56. SALVAGIOTTI, F. 2009. Rendimientos potenciales en maíz. Brechas de producción y prácticas de manejo para reducirlas. (en línea). Para Mejorar la Producción. 41: 61-66. Consultado 25 ene. 2013. Disponible en <https://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Finta.gov.ar%2Fdocumentos%2Frendimientos-potenciales-de-maiz.-brechas-de-produccion-y->

[practicas-de-manejo-para-reducirlas%2Fat_multi_download%2Ffile%2Frendimientos-potenciales-en-ma%25C3%25ADz.pdf&ei=OEGsUsbDOoTKsQTmzoHwDg&usg=AFQjCNF59GN9GMPGHC-f5VabREGA2E1XDw&sig2=dzsW9HnrC8qP0xwCVD-rCQ&bvm=bv.57967247,d.cWc](#)

57. SAWCHIK, J. 2012. Necesidad del riego en cultivos y pasturas. In: Seminario Internacional (2°, 2012, Salto, Uruguay). Riego en cultivo y pasturas. Montevideo, Uruguay, s.e. pp.55-68.
58. SNYDER, R. L.; de MELO-ABREU, J. P.; MALUTICH, S. 2010. Protección contra las heladas; fundamentos, práctica y economía. (en línea). Roma, FAO. v.2, 68 p. (Serie sobre el Medio ambiente y la Gestión de los Recursos Naturales no. 10). Consultado 23 feb. 2013. Disponible en <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/PROTECCI%C3%93N%20CONTRA%20LAS%20HELADAS.pdf>
59. TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; EVETT, S. R. 1998. Evapotranspiration and yield of corn grown on three high Plains soils. *Agronomy Journal*. 90: 447-454.
60. TROUT, T. J. 2012. Water production functions for field crops. (en línea). In: Reunión Internacional de Riego (3°, 2012, Córdoba). Trabajos presentados. Manfredi, Córdoba, s.e. pp. 51-60. Consultado 27 ene. 2013. Disponible en http://inta.gob.ar/documentos/resultados-de-17-anos-de-experiencia-en-el-modulo-de-riego-de-inta-manfredi-cordoba/at_multi_download/file/Libro%203%C2%AA%20Reuni%C3%B3n%20Internacional%20de%20Riego%202012.pdf
61. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. NATIONAL AGRICULTURAL STATISTICS SERVICE (USDA. NASS). 2014. Orange production unchanged from January forecast. (en línea). Crop Production. feb.: 1-16. Consultado 14 ene. 2014 Disponible en <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1046>

62. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. s.f. Agua para la producción; ¿cuál es la información básica disponible? (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 4 feb. 2014 Disponible en <http://www.aguaparaproducir.uy/agua-para-la-produccion/cual-es-la-informacion-basica-disponible.html>
63. _____. _____. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2013. Anuario 2013. (en línea). Montevideo. 270 p. Consultado 4 feb. 2014 Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,754,O,S,0,MNU;E;27;9;MNU>
64. _____. _____. OFICINA DE PROGRAMACIÓN Y POLÍTICAS AGROPECUARIAS. 2012. Análisis sectorial cadenas productivas temas de políticas proyectos estudios y documentos. Montevideo, Uruguay. 404 p.
65. WESTGATE, M. E.; BOYER, J. S. 1985. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. Crop Science. 25: 762-769.
66. ZHANG, H. 2003. Improving water productivity through deficit irrigation: examples from Syria, the North China Plain and Oregon. In: Kinje, J. W.; Barker, R.; Molden, D. eds. Water productivity in agriculture; limits and opportunities for improvement. Wallingford, UK, CABI. cap. 19, pp. 301-309.

9. ANEXOS

Anexo 1

