Universidad de la República
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFECTO DEL MANEJO DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LAS CARACTERISTICAS PRODUCTIVAS DE MAIZ PARA GRANO

por

Sebastián ROSELLI FRACASSO
Javier TEXEIRA ORIHUELA

TESIS

1998

MONTEVIDEO URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFECTO DEL MANEJO DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE MAÍZ PARA GRANO.

FACULTAD DE AGRONOMIA

por

Sebastián ROSELLI FRACASSO
Javier TEXEIRA ORIHUELA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
titulo de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Agrícola – Ganadera)

MONTEVIDEO
URUGUAY
1998

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. Luis Giménez

_____
Dr. Ing. Agr. Pablo Durán

_____
Ing. Agr. Miguel Mosco

Fecha: _____

Autor: _____
Sebastián Roselli

_____
Javier Texeira

AGRADECIMIENTOS

Sebastián Roselli quiere agradecer a:

- A mi esposa Soledad, por el enorme esfuerzo realizado en todos estos años.
- A mis Padres, hermana, tía y demás familiares.
- A Javier
- Compañeros y amigos que me acompañaron durante toda la carrera.
- A la AEA y a la Facultad de Agronomía

La tesis representa la culminación de una etapa en la formación profesional, por eso quiero agradecer a quienes me han acompañado de una manera u otra a lo largo de esta etapa, a quienes han facilitado el camino y a quienes han puesto obstáculos. A mi Familia. A mis amigos. A la Asociación de Estudiantes de Agronomía, por su grandeza, sus virtudes y defectos, por su papel en la formación de Hombres. A la Facultad de Agronomía y la Universidad toda, muchas gracias. Y a Sebastián.

Javier Texeira

En la elaboración de este trabajo en particular colaboraron muchas personas, a todas ellas: Muchas gracias. Especialmente al "Kapo" Giménez y a Miguel Mosco.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PAGINA DE APROBACIÓN II
AGRADECIMIENTOS III
LISTA DE CUADRO E ILUSTRACIONES VI

1) INTRODUCCION 1

2) REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 3
2.1 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DEL MAÍZ 4
2.1.1 Importancia del agua en el cultivo de maíz 4
2.1.1.1 Etapa vegetativa 4
2.1.1.1.a Efecto sobre las características vegetativas 4
2.1.1.1.b Efectos sobre los componentes reproductivos 4
2.1.1.2 Floración 5
2.1.1.2.a Efecto sobre la producción de grano 5
2.1.1.2.b Efecto sobre los componentes del rendimiento 6
2.1.1.2.c Fijación de granos 7
2.1.1.3 Llenado de grano 9
2.1.1.3.a Efecto sobre la producción de grano 9
2.1.1.3.b Efecto sobre los componentes del rendimiento 10
2.1.1.3.c Acumulación de materia seca en grano bajo condiciones de estrés hídrico 10
2.1.1.4 Interacciones 11
2.1.2 Efecto del agua sobre la producción de grano y materia seca a lo largo de todo el ciclo del cultivo 12
2.1.2.1 Sensibilidad de la producción de grano y de biomasa al déficit hídrico 12
2.1.2.2 Producción de grano y biomasa total 12
2.1.2.3 Componentes del rendimiento 13
2.1.2.4 Efecto del agua sobre el índice de cosecha 13
2.1.2.5 Reservas acumuladas y traslocación 14
2.1.2.6 Capacidad de compensación frente a un período de estrés 14
2.2 ESTRATEGIA DE MANEJO DEL CULTIVO DE ALTO RENDIMIENTO 16
2.2.1 Población y distribución 16
2.2.2 Fertilización 18
2.2.3 Híbridos 19
2.2.4 Interacciones 20
2.3 ASPECTOS DE RIEGO EN MAÍZ 21
2.3.1 Necesidades de agua por el cultivo 21
2.3.2 Eficiencia de uso del agua 22

2.3.3 Lámina de riego 24
2.3.3.1 Profundidad de riego 24
2.3.3.2 Umbral de riego 25
2.3.4 Riego suplementario 26

3) MATERIALES Y MÉTODOS 29
3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO 29
3.2. MANEJO DEL CULTIVO 29
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL 30
3.4. MEDICIONES EFECTUADAS 31

4) RESULTADOS 33
4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL PERÍODO DEL CULTIVO 33
4.1.1. Precipitaciones 33
4.1.2. Temperatura 34
4.1.3. Heliofanía 35
4.1.4. Evaporación del Tanque "A" 35
4.1.5. Análisis de las condiciones climáticas del período del cultivo 36
4.2. BALANCE HÍDRICO 36
4.3. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA SECA 38
4.4. ALTURA 39
4.5. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO 40
4.5.1. Número de espigas/m^2 40
4.5.2. Características de la espiga 41
4.5.3. Peso de grano promedio 41
4.5.4. Número de granos/m^2 42
4.5.5. Indice de cosecha 43
4.5.6. Producción de biomasa y rendimiento en grano 43

5) DISCUSIÓN 45

6) CONCLUSIONES 47

7) RESUMEN 48

8) SUMMARY 49

9) BIBLIOGRAFIA 50

10) ANEXO 55

LISTA DE CUADROS Y GRÁFICAS

Página

Cuadro 3.1: Descripción del perfil 29
Cuadro 3.2: Capacidad de almacenaje del suelo 29
Cuadro 3.3.: Análisis de suelo al estado de V7 30
Gráfica N°: 4.1. Precipitaciones registradas en el período del cultivo y promedio mensual 33
Cuadro N°: 4.1. Precipitación, precipitación efectiva y evapotranspiración mensual del cultivo 34
Gráfica N°: 4.2. Temperatura media del período y promedio mensual 34
Gráfica N°: 4.3. Heliofanía del período y promedio mensual 35
Gráfica N°: 4.4. Evaporación del tanque "A" durante el período del cultivo y promedio histórico 35
Gráfica N°: 4.5. Contenido de agua disponible para las plantas a lo largo del ciclo del cultivo 37
Gráfica N°: 4.6. Relación entre el agua útil disponible y la capacidad de almacenaje expresada como porcentaje 37
Gráfica N°: 4.7. Evolución de la Materia Seca Total. (Kg. M.S./há.) 38
Gráfica N°: 4.8. Tasa de crecimiento del cultivo según tratamiento 39
Cuadro N°: 4.2. Altura final de planta (m.) 40
Cuadro N°: 4.3. Número de plantas y espiga/m^2 40
Cuadro N°: 4.4. Características de la espiga 41
Cuadro N°: 4.5. Peso de 100 granos 41
Cuadro N°: 4.6. Número de granos/m^2 42
Gráfica N°: 4.9. Variación del porcentaje del peso de granos, número de granos/m^2 y rendimiento en grano respecto a la media 42
Cuadro N°: 4.7. Indice de Cosecha 43
Cuadro N°: 4.8. Rendimiento de materia seca vegetativa, grano y total de materia seca 43
Cuadro N°: 4.9. Rendimiento en grano. (Humedad 14%) 43
Anexo 10.1. Cuadro de retención de agua en mm./10cm. a diferentes tensiones 55
Anexo 10.2. Gráfica de retención de agua en mm./10cm 55
Anexo 10.3. Contenido de agua en el horizonte superficial en mm./10cm. en diferentes momentos de muestreo 55
Anexo 10.4. Condiciones climáticas del mes de Octubre 56
Anexo 10.5. Condiciones climáticas del mes de Noviembre 56
Anexo 10.6. Condiciones climáticas del mes de Diciembre 57
Anexo10.7. Condiciones climáticas del mes de Enero 58
Anexo 10.8. Condiciones climáticas del mes de Febrero 59
Anexo 10.9. Serie histórica de Precipitaciones 60

Anexo 10.10. Probabilidad de ocurrencia de registros de Precipitaciones 61
Anexo 10.11. Serie histórica de Temperaturas Medias 62
Anexo 10.12. Probabilidad de ocurrencia de registros de Temperaturas Medias 63
Anexo 10.13. Serie histórica de la Heliofanía 64
Anexo 10.14. Probabilidades de ocurrencia de registros de Heliofanía 65
Anexo 10.15. Serie Histórica de Evaporación del Tanque "A" 65
Anexo 10.16. Probabilidad de ocurrencia de registros de evaporación del Tanque "A" 66
Anexo 10.17. Coeficientes y supuestos utilizados para realizar el balance hídrico 66
Anexo 10.18. Balance hídrico diario. Tratamiento secano 67
Anexo 10.19. Balance hídrico diario. Tratamiento regado 70
Anexo 10.20. Muestreos de materia seca 74
Anexo 10.21. Rendimiento en grano. 14% Humedad 76
Anexo 10.22. Altura de planta definitiva (m.) 77
Anexo 10.23. Componentes del Rendimiento 77
Anexo 10.24. Características de la espiga 77
Anexo 10.25. Peso de 100 granos (gramos) 78
Anexo 10.26. Población (nº. de plantas/há.). Estado V 7 78
Anexo 10.27. Análisis estadístico 79

1) INTRODUCCION

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial. Es el tercer cultivo después del trigo y del arroz en cuanto a volumen de producción. Presenta una destacada importancia tanto en la alimentación humana, como animal. Es cultivado desde pequeñas parcelas para consumo de subsistencia hasta grandes extensiones con altos niveles tecnológicos. Se lo encuentra desde el nivel del mar hasta altitudes de 3.000 metros, desde el ecuador hasta los 50° grados de latitud norte y sur (Donswell, et al., 1996).

Los rendimientos por hectárea promedio oscilan de 1.400 kg./há en Africa hasta 7.500 kg./há. en los EEUU (Donswell et. al., 1996). En los países industrializados los rendimientos promedio son de 6.200 kg./há., mientras que en los países en desarrollo dicho indicador es de 2.500 kg./há. A nivel experimental se registran datos de producción que superan los 20.000 kg./há. En Uruguay en la última zafra 1997/98 el rendimiento promedio alcanzó los 3.700 kg./há.

El maíz es la planta cultivada con mayor potencial de producción de materia seca por hectárea por día (Andrade et al., 1996), (Donswell et. al., 1996). Tiene a su vez un alto potencial de producción de granos, pero para lograr efectivamente dicho potencial todos los factores productivos deben estar en su óptimo nivel y en armonía entre sí (Cardellino y García, 1995).

Es una especie que responde de un modo muy eficiente frente a la lluvia o el riego, midiéndose desde el punto de vista del rendimiento del cultivo y en cantidad de materia seca sintetizada por unidad de volumen de agua aportada o consumida (Llanos, 1984).

La disponibilidad hídrica es uno de los principales factores para la expresión del potencial productivo dado su propio efecto en la fisiología de la planta y su interacción con otros factores; luz, nutrientes, temperatura, plagas, enfermedades, malezas, etc. (Hanway, 1966).

En los últimos años en el litoral sur, y sur oeste, el área de maíz bajo riego se ha incrementado en forma significativa, con el fin de obtener rendimientos altos y estables a través de los años. Dadas las políticas de préstamos para el riego de los últimos años podría esperarse un incremento mayor.

Mientras la lluvia bien distribuida en condiciones adecuadas representa una condición ideal para la producción de maíz, muchas regiones no cuentan con dichas condiciones. Grandes áreas maiceras del mundo teniendo una relativamente alta precipitación anual, pueden tener períodos de sequía en los cuales no hay cosecha, o en los cuales el rendimiento de maíz es seriamente reducido por falta de humedad (Berger, 1962).

Uruguay presenta una distribución de lluvias uniforme en los diferentes meses del año en un promedio histórico, pero presenta una variación muy alta entre las precipitaciones mensuales entre meses y años. Por otro lado presenta una curva de evapotranspiración estable entre años, que es mínima en el invierno y máxima en el verano,

momento en el cual se desarrolla parte importante del ciclo del cultivo de maíz. La evapotranspiración del cultivo, unida a la irregularidad de las precipitaciones y la relativamente baja capacidad de almacenaje de agua útil de nuestros suelos originan que se produzcan en forma aleatoria períodos de déficit hídrico. Estos períodos se presentan afectando diferentes estados fenológicos en diferentes años, o en forma interrumpida afectando diferentes estados fenológicos de un mismo cultivo.

En este trabajo se planteó como hipótesis que la aplicación de agua de riego en diferentes fases del ciclo fenológico del maíz y la decisión de riego a distintos umbrales de agua disponible, genera diferencias importantes tanto en producción de grano como de materia seca en el cultivo de maíz.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar el efecto de diferentes estrategias de riego sobre la producción de grano y materia seca.

2) REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DEL MAÍZ

2.1.1 Importancia del agua en el cultivo de maíz

El agua es un factor fundamental en el desarrollo y crecimiento de las plantas. La deficiencia de ésta afecta de diferentes maneras, según el momento en que ocurra el estrés. Los componentes más afectados son los que se encuentran en pleno crecimiento y desarrollo en el momento en que ocurra el estrés. Para un mejor estudio y comprensión, en esta revisión se desglosa el crecimiento del cultivo en tres etapas, aunque se debe tener presente que el ciclo de desarrollo del cultivo es continuo y no interrumpido.

2.1.1.1 Etapa vegetativa

Según la clasificación de Ritchie y Hanway (1982, citado en Andrade et al.,1996) esta etapa abarca desde la emergencia hasta inicio de la floración masculina, basándose en el estado externo de la planta. Dentro de este período se pueden considerar dos etapas claramente diferentes por el estadio fisiológico de la planta. Siendo la primer etapa vegetativo temprano, la cual abarca desde emergencia hasta V6, coincidiendo con el estado vegetativo del meristemo apical. La segunda etapa, vegetativo tardío, abarca desde V6 hasta inicio de floración masculina, período en el cual el meristemo apical se encuentra en estado reproductivo. El estado vegetativo tardío es a menudo reconocido como prefloración.

Durante esta etapa fenológica se determina la capacidad fotosintética de la planta y el tamaño potencial de la espiga.

2.1.1.1.a Efecto sobre las características vegetativas

Estrés en esta etapa afectan la producción de materia seca total a través de un menor peso de hoja, tallo y espiga (Eck, 1986). Disminuciones en el potencial de agua del suelo reducen la tasa de expansión de hoja (NeSmith y Ritchie, 1992) y elongación del tallo (Cirullo y Monestier, 1988), (Gigena y Moreira, 1989), (Carlson et al., 1959) (NeSmith y Ritchie, 1992), (Denmead y Shaw, 1960) y (Downey, 1971a). Al ser retirado el estrés las plantas demoran entre 1 y 3 días en alcanzar las tasas de elongación de las plantas control (Denmead y Shaw, 1960). NeSmith y Ritchie (1992), encontraron que a valores de 85% de agua disponible en el suelo comienza a disminuir la tasa de expansión de hoja y tallo y la misma cesa a un 25% de agua disponible. Estas disminuciones en la tasa de expansión de hoja originan reducciones en el área foliar (Classen y Shaw, 1970 I). Las observaciones de Classen y Shaw (1970 I) indican que la máxima reducción sobre la altura final de las plantas se originó por breves períodos de estrés en el período

vegetativo tardío, o sea durante la elongación de la panoja e internudos superiores del tallo.

Las reducciones en la producción de materia seca también son reportadas por otros autores. Downey (1971a), obtuvo una disminución del 28% de la materia seca total, originada por un déficit hídrico de 20 días de duración durante meiosis masculina. Classen y Shaw (1970 I) obtuvieron las máximas reducciones, de 15 a 17% en materia seca vegetativa, por déficit hídrico en el momento de elongación de los entrenudos basales y medios del tallo. Ellos encontraron que los efectos de estrés de humedad en el rendimiento final de materia seca de cada componente vegetativo medido (hoja, largo de entrenudo, etc.) estuvieron fuertemente relacionados con la coincidencia del déficit de agua con la fase inicial y/o de rápido crecimiento de cada componente.

La reducción en el área foliar tiene un efecto indirecto en el rendimiento debido a la menor superficie asimilatoria al momento de desarrollo de la espiga, esto es visible cuando se corrigen los rendimientos en base al área foliar (Denmead y Shaw, 1960).

En esta etapa no sólo disminuye el área fotosintéticamente activa, sino además también puede verse limitada su capacidad fotosintética por unidad de área. Downey (1971a) encontró que en plantas que fueron estresadas disminuyó la absorción de luz y el contenido de clorofila, cuyo índice fue de 1.0 frente a 1.7 de las plantas control. Maranville y Paulsen (1970) también observaron disminuciones en las concentraciones de clorofila a medida que aumentaba la intensidad del estrés, siendo la clorofila *a* más afectada que la clorofila *b*.

A su vez, la disminución del potencial de agua del suelo provoca un retraso en el panojamiento (NeSmith y Ritchie, 1992), antesis (Downey, 1971a), y comienzo del período de llenado de grano, pero sin afectar la tasa de llenado (NeSmith y Ritchie, 1992). Classen y Shaw (1970 I) encontraron retrasos del panojamiento de 1 a 2 días, con estrés impuesto 35 días después de la emergencia de la planta, mientras que estrés impuestos previo a la emergencia de la panoja retrasaron la emergencia de los estigmas de 2 a 5 días.

2.1.1.1.b Efectos sobre los componentes reproductivos.

Varios autores encontraron reducciones del rendimiento en grano en esta etapa. Las reducciones fueron de: 25% con 8 días de estrés (Denmead y Shaw, 1960), 20% con 15 días y 46% con 28 días de estrés (Eck, 1986), de 15% a 25% (NeSmith y Ritchie, 1992), 20% (Khristov, 1995), de 12% a 15% con 4 días de estrés en vegetativo tardío (Classen y Shaw, 1970 II). A su vez estos dos últimos autores afirman que un estrés de 4 días durante el período vegetativo temprano no perjudica el desarrollo del área foliar lo suficiente como para reducir el rendimiento en grano.

Las reducciones en rendimiento en esta etapa se explican por disminución del número de granos (NeSmith y Ritchie, 1992), (Eck, 1986); y disminución del peso de los granos (NeSmith y Ritchie, 1992).

La disminución del número de granos provocada en esta etapa no significa necesariamente un incremento en el peso de los granos, dado que el área foliar también se ve reducida (Eck, 1986).

Las variaciones en el nivel hídrico en esta etapa no afectan el índice de cosecha, ni la eficiencia en el uso del agua para la producción de grano, ya que el menor desarrollo vegetativo provoca una reducción de la evapotranspiración, contrastando esto con déficit en floración que determinan un descenso en ambos indicadores (Jama y Ottman, 1993).

Downey (1971a) encontró que 20 días de estrés durante meiosis masculina no impidió que la planta produjera suficiente cantidad de polen viable, ya que la disminución del crecimiento durante el período de estrés se vio compensada por un retraso de 10 días de la antesis.

2.1.1.2 Floración

En este trabajo se consideró floración la etapa comprendida entre floración femenina y cuajado de granos. Se corresponde con los estados R1 y R2 en la clasificación de Ritchie y Hanway. Es importante mencionar que no todos los trabajos revisados abarcan estrictamente este período.

La planta en este momento ya ha definido su aparato foliar, por lo tanto tiene determinada su capacidad fotosintética (fuente). Además ha definido el número potencial de óvulos, ya que la espiga femenina ha completado su desarrollo. El porcentaje de óvulos que efectivamente se convierten en grano queda determinado en esta etapa, pasada ésta el componente del rendimiento que varía es el peso de los granos, siendo las disminuciones posteriores en el número de granos de escasa significación. Dado que el número de granos es el componente del rendimiento que más afecta la producción final del maíz, un descenso de importancia de este componente no puede ser compensado posteriormente por un aumento del peso de los granos.

2.1.1.2.a Efecto sobre la producción de grano

Es el período de mayor sensibilidad al estrés. Todos los autores coinciden que en esta etapa se presentan las mayores pérdidas de rendimiento provocadas por estrés hídrico o de otra índole.

Los autores reportan pérdidas ampliamente superiores a las provocadas por estrés hídricos en otros momentos del ciclo del cultivo. Denmead y Shaw (1960) obtuvieron un 50% de reducción del rendimiento con estrés de 17 días desde emisión de panoja hasta 5 días posteriores a 75% de floración femenina, contra un 25% y 21% de pérdidas en ve-

getativo y espigazón respectivamente provocadas por períodos de estrés de 30 días. Khristov (1995) obtuvo pérdidas de rendimiento de 53%. Robins y Domingo (1953) reportan pérdidas de rendimiento en grano del 22% para 1 a 2 días de estrés y de 50% para períodos de 6 a 8 días en polinización. Cirullo y Monestier (1988) midieron pérdidas de rendimiento de 30%. Barnes y Woolley (1969) y Sinclair et al.(1990) también obtuvieron las máximas reducciones de rendimiento en el período de emisión de estigmas - polinización. Classen y Shaw (1970 II) reportan reducciones de hasta 53% asociado con estrés en 75% de emisión de estigmas, mientras que con estrés sobre fin de emisión de estigmas las reducciones disminuyeron a 29%.

2.1.1.2.b Efecto sobre los componentes del rendimiento

Todos los autores que sometieron las plantas a estrés hídrico en floración encontraron reducciones significativas en el número de granos (Classen y Shaw, 1970 II), (Grant et al., 1989), (Herrero y Johnson 1981), (Schussler y Westgate, 1991 a y b) (Schussler y Westgate, 1994). La reducción del número de granos estuvo asociada con una reducción del tamaño de la espiga, número de hileras y peso de granos (Classen y Shaw, 1970 II). Estos últimos autores señalan que las tendencias altamente significativas en el porcentaje de granos desarrollados en cada una de las secciones de la espiga indican que la habilidad de los granos para competir por fotoasimilados se correlaciona con la edad comparativa de los óvulos o granos al momento del estrés.

Existen discrepancias en cuanto al motivo de la mayor sensibilidad del cultivo durante floración. Algunos autores atribuyen esta disminución del rendimiento a fallas en la polinización producto de la desincronización en la liberación de polen y emisión de estigmas, y a la falta de receptividad de los mismos (Herrero y Johnson, 1981). Por otro lado algunos autores afirman que las pérdidas se deben a la incapacidad de los óvulos fecundados para desarrollarse en condiciones de estrés debido a la poca fuerza de fosa que tienen en sus primeras etapas de desarrollo (Grant et al., 1989). Otros autores afirman que la mayor sensibilidad del maíz en esta etapa no se debe a factores fisiológicos particulares de este período, sino a que es la etapa en que la planta está en su máxima tasa de acumulación de biomasa y uso de agua (Sinclair et al., 1990).

Existen gran cantidad de trabajos que han estudiado los efectos de la disponibilidad hídrica en esta etapa en su conjunto y sobre los procesos individuales que en ella ocurren; entre los que se encuentran: viabilidad del polen, emisión, elongación y senescencia de estigmas, desarrollo del tubo polínico, del óvulo fecundado, del nivel de reservas, etc.

Barlow y Boersma (1976) encontraron que estrés hídricos impuestos en emisión de la panoja e inicio de la floración femenina provocan un retraso en la emisión de los estigmas y un aumento en el desfasaje entre floración masculina y femenina, ya que la flor femenina se ve más afectada por el estrés. Herrero y Johnson (1981) observaron

retrasos de 3 y 4 días en la emisión de estigmas y afirman que gran parte del polen había sido liberado en el momento que estos emergieron, atribuyendo a este desfasaje la reducción del número de espigas fértiles y del número de granos. Robins y Domingo (1953) también midieron un retraso de la emisión de estigmas y el panojamiento de 4 a 5 días para los tratamientos con déficit hídrico. Barnes y Woolley (1969) también observaron un retraso en la emisión de estigmas para híbridos de 2 espigas, variando el retraso según el momento del estrés; mientras que la liberación de polen no se vio afectada.

Herrero y Johnson (1981) y Schoper et al. (1986) midieron además la viabilidad del polen y afirman que no fue afectada por el estrés hídrico.

Otros autores han encontrado que el desfasaje entre floración masculina y femenina no explica la disminución del número de granos fijados. Grant et al. (1989) afirman que la disminución del número de granos desarrollados no se debe a fallas en la fertilización del óvulo, sino a un cese del crecimiento inicial del óvulo fertilizado, contrastando con lo afirmado por Herrero y Johnson (1981).

2.1.1.2.c Fijación de granos

Schussler y Westgate (1994) lograron que las plantas llegaran a inicio de floración con diferentes niveles de reserva mediante tratamientos diferenciales de luz previos a emisión de estigmas. Al someter estas plantas a déficit hídricos en floración obtuvieron reducción del número de granos en las plantas de bajas reservas, pero no obtuvieron aumentos en la fijación de granos por aumentar el nivel de reservas por encima de lo normal. Las plantas que mantuvieron un buen estatus hídrico en floración no tuvieron diferencias en la fijación de granos, independientemente del nivel de reservas acumulado previamente. Estos autores en base a sus resultados indican que las reservas en el tallo no pueden reemplazar la falta de asimilados corrientes a bajos potenciales hídricos, porque las reservas no están disponibles para el transporte durante la polinización y desarrollo temprano de grano. Además es necesario un alto nivel de asimilados corrientes ya que la espiga durante estos estadios tiene poca fuerza de fosa, lo que no permite captarlos cuando los niveles son bajos, ya que no puede competir por éstos con otra parte de la planta.

La importancia de la disponibilidad de fotoasimilados corrientes en la planta en el estadio de desarrollo temprano de granos es confirmada por Schussler y Westgate (1991a). Dichos autores disminuyeron o detuvieron la fotosíntesis desde emisión de estigmas hasta tres semanas después de la polinización mediante dos métodos y dos severidades respectivamente de estrés hídrico y sombra. Las reducciones fueron de 40% para estrés moderado y 100% en el estrés severo, tanto para déficit hídrico como lumínico. La similar acumulación de materia seca, carbohidratos extractables y nitrógeno retenido en los tratamientos deficientes en agua y luz implican un mecanismo responsable común para la inhibición del desarrollo reproductivo, diferente al estrés hídrico, ya que el potencial hídrico de las plantas sombreadas es igual al de las plantas del tratamiento

testigo. Este resultado sugiere que la disponibilidad de asimilados para el desarrollo de la espiga fue el factor primariamente responsable de las pérdidas de grano.

A su vez Schussler y Westgate (1991b) deteniendo la fotosíntesis durante dos días posteriores a la polinización mediante tratamientos de oscuridad y estrés hídrico encontraron disminución de la fijación de granos. El número de granos por espiga fue de 598, 222, y 15 para control, oscuridad y déficit hídrico respectivamente. En este caso la disminución provocada por los estrés fue diferente. La breve inhibición de la fotosíntesis tuvo poco impacto en la acumulación de carbono y nitrógeno en las fosas vegetativas, pero redujo severamente el movimiento de asimilados a las fosas reproductivas.

En polinización las concentraciones de azúcares solubles en los ovarios fueron similares para todos los tratamientos. Los altos niveles de estos azúcares solubles tanto en ovarios que forman grano, como en los que abortan sugieren que la fijación de grano depende de la tasa de movimiento de asimilados a los ovarios, más que de la concentración de azúcares solubles en sí. La extracción de sacarosa por los ovarios aislados fue inhibida a bajo potencial, sugiriendo un efecto directo del estatus hídrico del ovario sobre el desarrollo del grano. La casi completa pérdida de grano observada en las plantas con déficit hídrico indican que bajos potenciales hídricos del ovario en polinización disminuyen la fijación de grano más allá que lo que puede ser atribuido a la reducción de asimilados solamente.

Bassetti y Westgate (1993a) encontraron que los estigmas son receptivos al polen hasta que la base de los mismos está totalmente colapsada. El cese del crecimiento de los estigmas coincide con el colapso completo del tejido basal de los mismos. Retrasos de 1 día en la emergencia del estigma se corresponden con retrasos de ½ día en el establecimiento de la senescencia.

Bassetti y Westgate (1993b) afirman que la pérdida de receptividad de los estigmas, producto de la senescencia, es la causa primaria de fallas reproductivas en maíz si la polinización no ocurre inmediatamente después de la emergencia de los estigmas de las chalas.

A su vez, Bassetti y Westgate (1993c) afirman que a bajos potenciales impuestos por estrés hídricos inmediatamente después de la aparición de los estigmas no causan pérdidas en la función del estigma y pueden retrasar la senescencia, mientras que si el estrés se presenta al final de la vida útil de los mismos acelera su senescencia. Encontraron que diferencias en uno o dos días en el desarrollo floral pueden cambiar la razón de pérdida de grano, siendo desde un aborto cigótico a una completa falta de fertilización.

En el campo es poco probable que la senescencia de estigmas cause significativas pérdidas de grano, dado que éstos son polinizados dentro de las 24 horas de exposición, mucho antes de la senescencia. Incluso condiciones de estrés provocan retraso de la emisión de los estigmas dada las características de protandria de estas plantas. La senescencia de estigmas, sí puede ser un factor a considerar en la producción de semilla de cultivares híbridos. Por el contrario déficits de agua durante emisión de estigmas limita la fijación de semilla en el campo primariamente a través de un aborto cigótico y una inhibición del crecimiento de los estigmas.

Por otro lado Classen y Shaw (1970 I) señalan que estrés en emisión tardía de estigmas y desarrollo temprano de espiga incrementaron el peso de los tallos, correspondiéndose con reducciones en el rendimiento en grano. Los autores señalan que existió una acumulación de azúcar en tallo por falta de fosa, y además una tendencia a aumentar el peso de hoja cuando se redujo el rendimiento en grano. Los resultados indican que los tallos actuaron como órgano de depósito cuando el estrés en emisión tardía de estigmas y desarrollo temprano de espiga redujeron el tamaño de fosa de la misma.

2.1.1.3 Llenado de grano

El desarrollo del grano se inicia con la fecundación del óvulo y consta de tres fases. Una primera fase, que coincide con el cuajado, en la que se produce una activa división celular y escasa acumulación de materia seca; es la etapa más crítica en el período de desarrollo del grano. La segunda fase de crecimiento lineal, llamada período efectivo de llenado de grano, que abarca los períodos R3 y R4 (Ritchie y Hanway). Es en esta fase que se acumula aproximadamente el 80% del peso final del grano. La última etapa se desarrolla desde R5 hasta madurez fisiológica. En este período la tasa de llenado disminuye hasta hacerse nula y comienza a perder humedad. En este trabajo se consideró período de llenado de grano desde R3 hasta el fin del ciclo.

El período de llenado de grano tiene una importancia menor respecto a floración en cuanto a su sensibilidad frente al estrés. Una vez que se establece el número de granos final, en el cuajado, este no varía notoriamente. Esto determina que el único componente del rendimiento que se ve afectado en esta etapa es el peso de los granos.

2.1.1.3.a Efecto sobre la producción de grano

Denmead y Shaw (1960) encontraron una reducción del 21% en rendimiento de grano en plantas sujetas a estrés durante 30 días post-floración femenina. Eck (1986) con tratamientos de estrés impuestos después del cuajado de grano obtuvo una regresión que indica reducciones de 1,2% en rendimiento por cada día de estrés previo a la madurez fisiológica. Downey (1971a) encontró una reducción en la materia seca total en planta con déficit hídrico en llenado de grano, explicada más por una disminución del rendimiento en grano (50%), que por pérdidas en la producción de materia seca vegetativa. Grant et al. (1989) cita reducciones de hasta un 50% por estrés de una semana en este período. Cirullo y Monestier (1988) citan disminuciones de 24.6%, con estrés en el mes siguiente a la emergencia de estigmas. Jurgens et al. (1978) con un estrés hídrico a partir de 10 días posteriores a polinización hasta fin de ciclo obtuvieron reducciones de rendimiento en grano de 58% mientras que la reducción de la materia seca restante fue de 31%. En un período de 3 semanas post emisión de estigmas, con estrés de 4 días, Classen y Shaw (1970 II) encontraron reducciones de rendimiento en grano de 30%. Khristov (1995) obtuvo reducciones de 28% con estrés en esta etapa.

2.1.1.3.b Efecto sobre los componentes del rendimiento

La reducción de rendimiento en esta etapa se explica por una disminución en el peso de los granos (Eck, 1986), (Jurgens et al.,1978), (Grant et al., 1989), (Westgate y Boyer, 1985), (Classen y Shaw II, 1970). Grant et al. (1989) obtuvieron reducciones en el peso de los granos de 51%. Denmead y Shaw (1960) explican la disminución del rendimiento por una reducción en la tasa de asimilación cuando la mayoría de los asimilados están siendo utilizados para la producción de granos.

Grant et al. (1989) encontraron que el estrés impuesto durante el período de máxima tasa de llenado de grano fue el que más influyó en el peso de los mismos.

En esta etapa también se encontró una reducción del porcentaje de aceite y aumento en porcentaje de proteínas en grano (Jurgens et al.,1978). El aumento en el porcentaje de proteínas se explica por la disminución del rendimiento y no por un aumento de la producción de proteína.

2.1.1.3.c Acumulación de materia seca en grano bajo condiciones de estrés hídrico

En esta etapa la espiga tiene mayor fuerza de fosa que en la etapa de desarrollo temprano y se convierte en el destino primario de los fotoasimilados corrientes. En caso de que el nivel de estos sea bajo, la planta moviliza reservas para mantener el llenado de los granos. Una vez que pasó el período crítico para la fijación de granos el crecimiento de estos se mantiene aún bajo condiciones de estrés severo. Pasado el período de aborto cigótico los granos crecen tanto de los asimilados que esté produciendo la planta en ese momento, como a través de las reservas previamente acumulada por la planta (McPherson y Boyer, 1977), (Ouattar et al.,1987), (Westgate y Boyer, 1985).

Jurgens et al. (1978) encontraron que en las plantas control el aumento en peso de grano durante el tratamiento excede solo apenas la producción de materia seca. Mientras que en las plantas con estrés, con igual tamaño de fosa que las plantas del tratamiento testigo, la ganancia en peso de los granos fue 2,7 veces superior a la producción de materia seca total durante el período de llenado. McPherson y Boyer (1977) obtuvieron resultados del mismo tipo en plantas que sufrieron un déficit hídrico que detuvo la fotosíntesis a partir de inicio de llenado de grano. En este caso el rendimiento en grano excedió la cantidad de materia seca total acumulada durante este período en un 50%. Mientras que el rendimiento en grano para las plantas control fue de aproximadamente un 70% del total de materia seca acumulada en ese mismo período.

En los tratamientos que sufrieron estrés en los trabajos de Jurgens et al. (1978) y McPherson y Boyer (1977) el llenado de los granos dependió enteramente de la traslocación, la cual ocurrió a pesar del cese de la acumulación de materia seca por planta. Esto permite afirmar que la traslocación es menos inhibida que la fotosíntesis aparente en las

condiciones de sequía. Los autores afirman que esta movilización de reservas no ha sido siempre observada en otros trabajos. La investigación por ellos realizada, sugiere que no se observa movilización de reserva cuando la actividad fotosintética es alta a través del período de llenado de grano, pero que sí ocurre cuando la actividad fotosintética disminuye en dicho período. Es así que en el maíz la movilización de reservas probablemente ocurre cuando la demanda de la fosa excede la capacidad de fuente.

La mayor traslocación de las reservas fue confirmado mediante estudios de C^{14} que demostraron que una mayor fracción del grano provino de las reservas en las plantas con estrés hídrico que en las plantas control (Jurgens et al.,1978). La traslocación de reservas en esta etapa bajo condiciones de estrés fue observada por Ouattar et al. (1987) y Westgate y Boyer (1985).

Jurgens et al. (1978) y Westgate y Boyer (1985) encontraron disminuciones del índice de cosecha, dependiendo esta disminución de la severidad y duración del estrés.

Un estrés hídrico en esta etapa provoca un descenso inmediato del índice de área foliar y acelera la senescencia (Jurgens et al.,1978), (Ouattar et al.,1987) (Westgate y Boyer, 1985) (Capurro, 1973).

2.1.1.4 Interacciones

Denmead y Shaw (1960) no encontraron interacciones entre ninguna de las combinaciones de estrés, sino que éstos eran aditivos. La tasa de crecimiento disminuyó cuando se aplicaba estrés y se retomaba cuando se volvía a regar. Ellos no encontraron que estrés impuestos en cualquier estadio preparen a las plantas contra daños para estrés hídricos en los estadios más tardíos, en lo que concierne al rendimiento en grano. De todas maneras los autores afirman que la información sugiere que los períodos recurrentes de estrés tienen menos efecto perjudicial sobre la asimilación y rendimiento. Mientras que Capurro (1973) efectivamente encontró interacciones significativas, indicando que la influencia depresiva de la falta de riego en una de las etapas involucradas fue menor cuando se dejó de aplicar riego en otra etapa. Esto debe ser considerado con cuidado, ya que este autor no analiza la reducción en forma porcentual, debido a que por cada período de estrés el potencial del cultivo se verá reducido y por lo tanto la variación en términos absolutos será menor.

Los estrés hídricos tempranos en el desarrollo del cultivo no lo acondicionan para estrés posteriores en la estación de crecimiento, probablemente la evapotranspiración se ve reducida por un menor desarrollo del cultivo (Jama y Ottman, 1993).

Jama y Ottman (1993) encontraron que si el riego es limitante en floración no tiene efecto el momento de aplicación del primer riego. Por su parte Capurro (1973) encontró que riegos en la etapa vegetativa incrementaron el rendimiento en grano únicamente en los tratamientos que también recibieron riego en llenado de grano.

Capurro (1973) a su vez, determinó que el incremento de materia seca total producida por regar en la etapa vegetativa fue independiente del tratamiento de riego en las otras etapas, contrastando el comportamiento con la producción de grano.

2.1.2 Efecto del agua sobre la producción de grano y materia seca a lo largo de todo el ciclo del cultivo

Conocer el efecto del agua en la producción de grano en el cultivo de maíz es de fundamental importancia, ya que es el objeto de producción en los cultivos para grano y es el componente de mayor valor energético en la producción de los cultivos para ensilar.

2.1.2.1 Sensibilidad de la producción de grano y de biomasa al déficit hídrico

La sensibilidad de la producción de grano al déficit hídrico varía ampliamente según el momento en el ciclo del cultivo en que se presente el estrés, como ya fue analizado anteriormente. Denmead y Shaw (1960) encontraron índices de reducción de rendimiento en grano sobre reducción de rendimiento de materia seca total causado por el estrés en diferentes estadios. Los índices fueron 0.68, 0.87, y 0.88 para vegetativo, floración y espigazón respectivamente. De todas maneras estos autores encontraron que el rendimiento en grano fue más afectado que ninguna otra característica de la planta por el estrés de humedad en todos los estadios de desarrollo.

Fapohunda et al. (1990) encontraron aumentos en la eficiencia de uso del agua (EUA) para la producción de grano a medida que se incrementa la cantidad de agua y de fertilizante. Para producción de materia seca se incrementa la EUA con el fertilizante, pero disminuye con el agua. Lo cual indica que la producción de grano es más sensible al estrés hídrico que la producción de materia seca.

Esta mayor sensibilidad queda demostrada también por el trabajo de Porro y Cassel (1986), quienes encontraron que retrasar el riego en la estación seca en el tratamiento con laboreo convencional reduce el rendimiento en grano, área foliar, biomasa total y altura. Mientras que para el tratamiento con subsolador retrasar el riego reduce únicamente el rendimiento en grano. La diferencia de tratamientos origina diferencia en capacidad de almacenaje de agua para las plantas.

2.1.2.2 Producción de grano y biomasa total

El rendimiento en grano y la biomasa acumulada por el cultivo están fuertemente correlacionados. Sinclair et al. (1990) trabajando en diferentes ambientes obtuvieron correlaciones superiores a 0.95, y afirman que déficit en antesis determina fuertes reducciones en la acumulación de biomasa, lo cual resulta directamente en pérdidas en rendimiento.

McPherson y Boyer (1977) afirman que generalmente se interpreta que la materia seca acumulada por la planta determina el rendimiento, mientras que ellos sugieren en cambio que fue la fotosíntesis integrada para toda la estación la que controló la producción de materia seca y el rendimiento a bajos potenciales hídricos.

Karlen y Camp (1985) obtuvieron incrementos de rendimiento en grano debido al riego de 150; 161 y 8% en tres años diferentes. Este incremento se explicó por un aumento en el peso de los granos y en el número de granos por espiga. Por su parte Porro y Cassel (1986) encontraron incrementos de 314% y 18% de los tratamientos con riego respecto al secano en un año seco para laboreo convencional y subsolador respectivamente, mientras que en un año húmedo los incrementos fueron de 23% y 1%.

Wagger y Cassel (1993) obtuvieron rendimientos en grano promedio para tres tratamientos de riego de 4.450 kg./há. con un coeficiente de variación de 75% para secano, 8.000 kg./há. y un coeficiente de variación de 29% para riego limitado y 10.770 kg./há. con una variación de 15% para riego completo. A pesar que los valores de rendimiento promedio se incrementan, las variaciones obtenidas entre los diferentes años no disminuyen únicamente en términos porcentuales con el aumento de la disponibilidad de agua, sino que además disminuyen en valores absolutos. Por lo cual el riego no sólo incrementó los rendimientos, sino que además logró estabilizar los mismos. Los rendimientos promedio en materia seca total se incrementaron con el aumento del nivel de riego y disminuyeron sus variaciones, al igual que el rendimiento en grano.

2.1.2.3 Componentes del rendimiento

Wagger y Cassel (1993) explican los incrementos en rendimiento en grano principalmente por un aumento en el número de granos por espiga, 43% y 55% respecto al secano para los tratamientos de riego limitado y riego completo respectivamente.

Los componentes del rendimiento se ven afectados de diferente manera según el momento del estrés.

Classen y Shaw (1970 II) estudiaron detalladamente los componentes del rendimiento: número de granos y peso de grano. Para ello segmentaron la espiga en 3 secciones: A, B y C en dirección basípeta, y clasificaron los granos en 3 categorías de tamaño: D1>D2>D3. Las tendencias altamente significativas en el porcentaje de granos desarrollados en cada una de las secciones de la espiga indican que la habilidad de los granos para competir por fotoasimilados se correlaciona con la edad comparativa de los óvulos o granos al momento del estrés. El desarrollo de los óvulos ocurre primero en la zona media, luego basal y por último el ápice de la espiga.

Classen y Shaw (1970 II) observaron tendencias altamente significativas para las clases de tamaño de grano.

2.1.2.4 Efecto del agua sobre el índice de cosecha

El índice de cosecha se mantiene constante independientemente del potencial hídrico (McPherson y Boyer, 1977) y de estrés hídrico moderado (Sinclair et al., 1990). Sinclair et al. (1990) encontraron que el índice de cosecha se mantiene constante con variaciones de producción de materia seca total, siempre que esta alcance un umbral

mínimo. Condiciones de estrés hídrico severo que no permitan alcanzar estos niveles de producción de materia seca reducen el índice de cosecha. Sinclair et al. (1990) encontraron que los tratamientos de estrés hídrico severo resultaron en una senescencia prematura del cultivo y esta madurez precoz estuvo asociada con un menor índice de cosecha. Capurro (1973) encontró incrementos en el índice de cosecha por efecto del riego en floración.

El índice de cosecha varía de acuerdo con los genotipos, pero es razonablemente estable bajo un amplio rango de ambientes para un genotipo dado (McPherson y Boyer, 1977).

2.1.2.5 Reservas acumuladas y traslocación

La traslocación es menos inhibida que la fotosíntesis aparente en las condiciones de sequía. En los tratamientos en que McPherson y Boyer (1977) detuvieron la fotosíntesis, el llenado de los granos dependió enteramente de la traslocación, la cual ocurrió a pesar del cese de la acumulación de materia seca por planta. Jurgens et al. (1978) obtuvieron resultados similares.

Las reservas acumuladas tienen un papel de importancia en el mantenimiento de la producción de grano únicamente en la etapa de llenado de grano. Anteriormente se observó que el nivel de reservas en floración no afecta la capacidad de fijación del número de granos, sin embargo en la etapa del llenado de grano McPherson y Boyer (1977) y Jurgens et al. (1978) obtuvieron acumulación de materia seca en grano sobre la base de las reservas. Jurgens et al. (1978) mediante estudios de C^{14} observaron que una mayor fracción del grano provino de las reservas de las plantas con estrés hídrico que en las plantas control.

Los autores afirman que esta movilización de reservas no ha sido siempre observada en otros trabajos. La investigación por ellos realizada, sugiere que no se observa movilización de reserva cuando la actividad fotosintética es alta a través del período de llenado de grano, pero que sí ocurre cuando la actividad fotosintética disminuye en dicho período. Es así que en el maíz la movilización de reservas probablemente ocurre cuando la demanda de la fosa excede la capacidad de fuente.

2.1.2.6 Capacidad de compensación frente a un período de estrés

En la información revisada no se encontró que la tasa de crecimiento de un cultivo de maíz que sufrió estrés hídrico, una vez que se retiró este, logre superar la tasa de crecimiento de un cultivo que no sufrió estrés. Por lo tanto no se puede afirmar que exista crecimiento compensatorio. La planta no tiene capacidad de compensación mediante un aumento de la tasa de crecimiento, la única manera que tiene de compensar, parcialmente, el retraso en el desarrollo provocado por estrés hídrico es la prolongación de la etapa en la que ocurre el estrés. De todas maneras no siempre cuenta con esta posi-

bilidad, ya que según el momento en que se presente el estrés la etapa se prolonga o se reduce su duración.

Un ejemplo es cuando se presenta estrés en vegetativo, la planta retrasa la emergencia de la panoja y estigmas (NeSmith y Ritchie, 1992), (Classen y Shaw, 1970 I), (Downey, 1971a). Mientras que en llenado de granos la planta comienza antes su senescencia (Jurgens et al.,1978). Otro ejemplo, aún dentro de una misma etapa, ocurre con la emergencia de estigmas. Si el estrés se presenta al inicio del período de emisión de estigmas, la emergencia de estos se ve retrasada y se prolonga la duración de esta etapa. Si el establecimiento del estrés ocurre pasada la mitad del período de emisión de estigmas, esta etapa se acelera y finaliza antes que en las plantas testigo (Bassetti y Westgate, 1993c).

El estrés hídrico en el maíz puede afectar tanto la capacidad de fuente, como la capacidad de fosa.

Algunos trabajos afirman que la mayor sensibilidad del maíz en floración se debe a que es el momento en que la tasa de crecimiento es mayor y no a una mayor sensibilidad del cultivo en este momento (Sinclair et al., 1990). Existe un factor que en la bibliografía revisada no se encontró evaluado, que es el hecho de como se ve afectada la planta, no solo por el estrés hídrico en floración, sino por el hecho de no tener una fosa suficientemente grande para depositar todos los fotosintatos que la planta es capaz de producir a partir de floración hasta madurez fisiológica.

Barlow y Boersma (1976) demostraron, en vegetativo temprano, que disminuciones en el tamaño de la fosa por condiciones ambientales de estrés, determinan primariamente una acumulación de fotosintatos en la misma y posteriormente una acumulación en la fuente productora de estos. Al disminuir la elongación celular producto del estrés y no permitir el desarrollo de la fosa, los carbohidratos provenientes de la fuente productora se ven incrementados al no ser utilizados para el crecimiento. La acumulación de fotosintatos en la fuente origina un descenso de la fotosíntesis. Ellos encontraron que la reducción en la fotosíntesis aparente producto de un estrés hídrico, se explicó solamente en un tercio por el efecto directo del potencial hídrico sobre la fotosíntesis, mientras que el resto de la reducción se explicó por una acumulación de fotosintatos en las hojas fuente. La disminución de la fotosíntesis por la acumulación de fotoasimilados en la fuente fue confirmada por estudios que aplicaron frío sobre las hojas en expansión (fosa), sin afectar ni la temperatura, ni el potencial hídrico en el resto de la planta.

Por otro lado Classen y Shaw (1970 I) encontraron que plantas que fijaban un menor número de granos llegaban a cosecha con un aumento en el contenido de fotosintatos solubles en tallo y hoja, aumentando el peso seco de estos últimos, en relación a las plantas no estresadas que fijaron un alto número de granos, actuando así como órganos de reserva (pero sin alcanzar la producción de materia seca total de las plantas testigo).

El trabajo de Barlow y Boersma (1976) indica que la planta deja de producir por no contar con fosa suficiente, mientras que el trabajo de Classen y Shaw (1970 I) no lo mide directamente, pero tampoco impide pensar en esta posibilidad.

El estrés en floración provoca un efecto inmediato sobre la tasa de crecimiento, pero al limitar la capacidad de fosa puede provocar un efecto a largo plazo sobre la producción de fotoasimilados. La interrogante que surge es: ¿hasta que punto pueden las plantas de maíz compensar el rendimiento en grano, cuando ocurre un descenso en el número de granos, mediante el aumento de peso de éstos; y hasta que punto pueden compensar la producción de materia seca total debido a la misma causa?

La bibliografía indica que la capacidad de compensación del rendimiento en grano a través del aumento del peso de los granos es escasa. No se encontró en la bibliografía nada que indique que la producción de materia seca total sea compensada por el aumento en el peso de los granos y el aumento en el peso de los tallos, ante un descenso importante en el número de granos, sin verse afectada la fotosíntesis debido a la acumulación de fotosintatos en las hojas.

2.2 ESTRATEGIA DE MANEJO DEL CULTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

La eliminación de uno de los factores limitantes del cultivo, en este caso la disponibilidad de agua, generalmente no conduce por sí sola a la expresión de la máxima potencialidad del mismo. En consecuencia ese factor no es aprovechado con la mayor eficiencia. Para ello es preciso reajustar a la nueva situación todos los otros factores que inciden sobre el cultivo, con más razón cuando esa situación se ve drásticamente alterada como es el caso de la aplicación de riego al maíz en el Uruguay (De León y Capurro, 1977).

2.2.1 Población y distribución

En bajas densidades el maíz presenta escasa plasticidad para compensar el menor número de individuos a través del aumento del área foliar por planta. Además la capacidad para diferenciar estructuras reproductivas adicionales en densidades subóptimas es limitada. A esto se suma su escasa capacidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso individual de los mismos. Por otro lado cuando los recursos por planta disminuyen en las densidades supraóptimas, el maíz presenta reducciones en el número de granos por unidad de superficie y en el rendimiento, debido a que la espiga queda relegada en la asignación de los recursos dentro de la planta alrededor de floración. Por lo que debe prestarse especial atención al ajuste de la densidad, debiendo adecuarla a la oferta edáfo-climática que existan en las condiciones del cultivo (Andrade et al. 1997).

Cuando el ambiente favorable para el desarrollo del cultivo está asegurado mediante el riego, la fertilización y demás prácticas culturales, el manejo de la densidad debe ir enfocado a lograr el máximo aprovechamiento de la radiación incidente alrededor de floración. A su vez, en iguales condiciones ambientales, la densidad óptima varía según el material genético utilizado. Esto dificulta la extrapolación de recomendaciones

de densidad de siembra para diferentes localidades y prácticas culturales de diferentes materiales genéticos. Los cultivares modernos soportan mayores densidades de siembra, debido a su menor desarrollo vegetativo y mayor sincronía floral. De todas maneras se puede afirmar que al incrementarse la disponibilidad hídrica las densidades óptimas aumentan, dentro de cierto rango, al incrementar la densidad.

Lo anterior se corresponde con lo que Karlen y Camp (1985) afirman, basándose en su revisión bibliográfica, que el rendimiento en grano puede ser incrementado aumentando la población de plantas, pero que esta relación es parabólica. A bajas poblaciones el rendimiento es limitado por el número de plantas, mientras que a altas poblaciones el rendimiento es limitado por el número de plantas estériles. El espacio intralínea y la competencia por agua, luz y nutrientes determina densidades de plantación óptimas para cada ambiente de crecimiento. Estos autores citan un trabajo de Duncan (1972) el cual afirma que reducido peso de grano y tamaño de espiga son los primeros pasos para alcanzar la esterilidad de la planta.

En esquemas de alta producción es muy importante la uniformidad de plantas. CREA (1996) cita reducciones de hasta 17% en el rendimiento de maíces de alta producción por desuniformidad de plantas como consecuencia de una emergencia despareja. El rendimiento de maíz puede caer hasta 60 kg./há. por cada centímetro de aumento en la variación del espaciamiento medio entre plantas en la hilera.

Por otro lado la reducción de la distancia entre hileras de maíz, manteniendo constante la densidad, permite una distribución más homogénea de las mismas sobre el terreno, favoreciendo la intercepción de luz, especialmente en etapas tempranas del cultivo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, sobre todo en planteos de alta producción, con cultivos bien manejados y con las densidades correctas, se alcanzan las coberturas necesarias para la máxima intercepción de luz antes del período crítico de la floración, independientemente del espaciamiento entre hileras. Por ello, en tales circunstancias, las ventajas de reducir la distancia entre hileras en maíz por debajo de 0,7 m. puede resultar de reducida magnitud.

El acortamiento de la distancia entre hileras puede producir ventajas en aquellas situaciones en que la cobertura total de suelo por el cultivo no se alcanza en los momentos decisivos para la fijación del número de granos. Siembras muy tempranas, la siembra directa, el empleo de híbridos de ciclo corto y/o con estructura de planta erecta, o siembras de segunda muy tardías, crean situaciones de cultivo en que se producen plantas más pequeñas o de poca cobertura, en las que, por lo tanto, puede resultar favorable una menor distancia entre hileras.

En condiciones de alta producción bajo riego, la superficie del suelo se encuentra húmeda por lo que el acortamiento de la distancia entre surcos no aumenta el consumo de agua pero cambia sus componentes, disminuyendo la evaporación y aumentando la transpiración (Yao y Shaw, 1964), (CREA, 1996). Ello trae aparejada una mayor eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, con cultivos bien manejados se alcanza el IAF crítico previo a la floración.

De todas maneras esta medida debe ser considerada conjuntamente con el resto de las prácticas culturales y las complicaciones que puede originar sobre estas: refertilización, carpidas, control de malezas, aporcado, etc. (CREA, 1996).

2.2.2 Fertilización

Una correcta fertilización en sistemas de alta producción bajo riego es de suma importancia, ya que el potencial de rendimiento de los cultivos se ve elevado y por lo tanto los requerimientos nutricionales se incrementan con respecto a los cultivos de secano. En estos sistemas de producción se pueden presentar deficiencias de micronutrientes dado los altos rendimientos que logra alcanzar el cultivo, especialmente en casos de agricultura continua durante muchos años. Es importante considerar la calidad del agua de riego, no sólo por los daños que puede ocasionar en el largo plazo, sino también considerando su interacción con los nutrientes a corto plazo, ya que puede aumentar o disminuir su disponibilidad. La fertilización debe apuntar a cubrir las necesidades de nutrientes que el suelo no sea capaz de aportar para el adecuado desarrollo del cultivo, de manera de permitir que el cultivo esté en óptimo estado fisiológico en el momento de floración. En todos los casos deberá evitarse los excesos de fertilización, no solo para optimizar la rentabilidad de la inversión realizada, sino también por razones de preservación ambiental.

La fertilización no solo tiene importancia por su efecto directo sobre el rendimiento, sino además por su incidencia en la eficiencia de uso del agua por el cultivo.

Carlson et al. (1959) encontraron que en los tratamientos regados el fertilizante nitrogenado incrementó la EUA en dos densidades y años.

Fapohunda et al. (1990) encontraron interacciones entre agua y fertilizante al 0,01% de nivel de probabilidad. Cada nivel de agua originó diferentes pendientes de respuesta al fertilizante y a la inversa. La interacción significativa entre agua y fertilizante implica que los tratamientos de agua y fertilizante tienen diferentes efectos en combinación que en forma independiente. Gard et al. (1961) y Hanks et al. (1978) también encontraron interacciones entre fertilidad y nivel de riego. Nagy (1997) afirma que existió un incremento en la correlación entre fertilización y rendimiento bajo riego, comparado con el secano.

Fapohunda et al. (1990) encontraron que para la producción de grano la eficiencia en el uso del agua se incrementó a medida que se aumentó la cantidad de agua y de fertilizante. Mientras que la eficiencia de uso del agua para la producción de materia seca se incrementó con el fertilizante, pero disminuyó con el agua. Gard et al. (1961) concluye que un elevado estatus de fertilidad es un factor importante en el eficiente uso del agua. Hanks et al. (1978) obtuvieron menores rendimientos para una misma evapotranspiración cuando la fertilidad fue limitante. Olson et al (1964) encontraron incrementos en la EUA, en cultivos de maíz fertilizado frente a no fertilizado, debido a un importante aumento del rendimiento con un aumento poco significativo del uso de agua.

Eck (1984) encontró que a bajas tasas de fertilización nitrogenada, las deficiencias en nitrógeno limitan el rendimiento de tal manera que el estrés hídrico tiene solo un pequeño efecto. Mientras que con adecuado o excesivo nitrógeno el déficit hídrico es el factor limitante principal en el rendimiento.

Eck (1984) a su vez afirma que aunque el estrés hídrico reduce más el rendimiento con fertilización adecuada de nitrógeno que con fertilización deficiente, los rendimientos fueron mayores en los tratamientos fertilizados que en los no fertilizados. El exceso en la aplicación de este nutriente no incrementó el estrés hídrico por lo cual no habría razón de reducir la fertilización nitrogenada para disminuir los efectos del déficit hídrico.

Russelle et al. (1981) afirman que la máxima eficiencia de uso del fertilizante fue obtenida con dosis bajas de nitrógeno, diferido y con riego frecuente y láminas chicas. No solo la eficiencia de uso del nitrógeno agregado es más alta durante este cultivo, sino que además se espera mayor uso en el cultivo siguiente, ya que mayor porcentaje permanece en la capa superior del perfil. Esto además, disminuye los potenciales de riesgo de polución del agua subterránea.

Eck (1984) determinó que el mayor efecto del nitrógeno en incrementar el rendimiento para todos los tratamientos fue a través de un aumento en el número de granos.

2.2.3 Híbridos

La elección del material genético es de fundamental importancia. Es prioritario considerar para la producción bajo riego elegir materiales con alto potencial, sin otorgarle importancia a la estabilidad de los materiales, a diferencia de producciones en secano, ya que la estabilidad se logra con el riego fundamentalmente y con el resto de las medidas de manejo (INTA, 1997). De todas maneras en caso de que se planifique realizar riego limitado y no total, ante la posibilidad de existencia de algún momento de estrés se debe elegir cultivares con mayor tolerancia al estrés hídrico. A su vez los materiales seleccionados deben ser tolerantes a densidad y vuelco. El resto de las características tales como resistencia a enfermedades y tipo de grano entre otras, no merecen consideraciones especiales con respecto al cultivo de secano.

La longitud del ciclo a seleccionar debe corresponder con la estación de crecimiento de la zona de modo tal que permita un vigoroso crecimiento durante la etapa reproductiva aprovechando los momentos de mayores niveles de radiación lumínica y buenas temperaturas. Deberá seleccionarse híbridos de "estación completa" para cada localidad, dentro de los límites impuestos por el clima (heladas, temperatura del suelo, etc.), y que brinden, a su vez, seguridad de cosecha y rápido secado de grano. Todo esto debe ser considerado conjuntamente con el resto de las prácticas culturales del cultivo y el sistema de producción en que se inserta el cultivo. (INTA, 1997),(CREA, 1996).

Los híbridos difieren en tolerancia a la sequía, este factor puede ser utilizado en los casos en que se pretenda regar únicamente en ciertos estadios (Lorens et al., 1987 a y

b), (Barnes y Woolley, 1969). Estos dos últimos autores encontraron diferencias en tolerancia al estrés en panojamiento, polinización y formación de grano de ampolla entre dos híbridos.

2.2.4 Interacciones

Existen múltiples interacciones entre todas las medidas de manejo del cultivo y las condiciones edáfo-climáticas. No se pretende aquí hacer un análisis exhaustivo de estas interacciones.

El riego es un medio de manipular varios factores limitantes del ambiente, particularmente el factor nutricional, en adición al riego en sí mismo (Pierre et al., 1966), ya que el aumento en el contenido hídrico del suelo aumenta la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Karlen y Camp (1985) trabajando con diferentes poblaciones, fertilizaciones y manejo del agua de riego encontraron que las interacciones entre estos factores no fueron generalmente significativas estadísticamente. La excepción fue la interacción entre población y manejo del agua. El rendimiento en grano disminuyó a medida que la población de plantas se incrementó en el tratamiento de secano, pero con riego el rendimiento incrementó cuando se aumentó la población de plantas. Para una estación de crecimiento en la cual la lluvia estuvo bien distribuida esta interacción no fue significativa. El número de plantas estériles o tallos caídos fue también incrementado por el estrés causado por mayores poblaciones de plantas o falta de agua disponible para las mismas

Carlson et al. (1959) encontraron que la materia seca producida por pulgada de agua (EUA) fue incrementada por el uso de altas densidades y fertilización nitrogenada. Este efecto fue menos marcado en los tratamientos no regados.

La EUA fue mayor en los tratamientos no regados que en los regados, excepto para el tratamiento de alta fertilización nitrogenada y alta densidad de plantas. En tratamientos no regados, ni densidad ni fertilización influyeron en el rendimiento de forraje ó grano. En los tratamiento regados la adición de fertilización nitrogenado causó incrementos significativos en rendimiento en las dos densidades durante los dos años.

En los tratamientos regados el fertilizante nitrogenado incrementó la EUA en ambas densidades y años, siendo el mayor incremento con alta densidad. La densidad incrementó la EUA en ambos años. Cuando no se fertilizó, la densidad de plantas no incrementó la EUA para la producción de materia seca.

2.3 ASPECTOS DE RIEGO EN MAÍZ

2.3.1 Necesidades de agua por el cultivo

La disponibilidad hídrica es uno de los principales factores para la expresión del potencial productivo dado su propio efecto en la fisiología de la planta y su interacción con otros factores; luz, nutrientes, temperatura, plagas, enfermedades, malezas, etc. (Hanway, In Pierre et al. 1966).

El maíz requiere que se le suministre más del 50% del agua necesaria para conseguir el óptimo de cosecha, para empezar a producir, a partir de este punto el aumento del rendimiento depende de forma lineal de la cantidad de agua aportada (Llanos, 1984). La superficie destinada al cultivo se concentra en áreas donde las precipitaciones superan los 250 mm anuales, no existiendo producción de secano cuando la precipitaciones estivales son inferiores a los 150 mm (Shaw, 1988 citado por Andrade et al, 1996).

Uruguay presenta una distribución de lluvias uniforme a lo largo del año en un promedio histórico, pero presenta una muy alta irregularidad entre las precipitaciones mensuales entre años. Por otro lado presenta una curva de evapotranspiración estable entre años, que es mínima en el invierno y máxima en el verano, momento en el cual se desarrolla el cultivo de maíz. La evapotranspiración del cultivo, unida a la irregularidad de las precipitaciones y la capacidad de almacenaje de agua útil de nuestros suelos originan que se produzcan en forma aleatoria períodos de déficit hídrico. Estos períodos se presentan afectando diferentes estadios fenológicos en diferentes años, o en forma interrumpida afectando diferentes estados fenológicos de un mismo cultivo.

En la bibliografía se cita diferentes valores de consumo de agua por el cultivo. Estos valores varían según las condiciones climáticas de desarrollo del cultivo, época de siembra, prácticas culturales, método y manejo del riego.

Para la zona de Balcarce, Argentina, utilizando una serie histórica de 20 años, la evapotranspiración del cultivo estimada mediante la información climática presentó un valor promedio de 542 ± 50 mm para siembras de Octubre (Otegui, 1992), que resulta semejante a lo obtenido por Andrade y Gardiol (1995), cuyo valor fue de 530 mm durante 140 días de cultivo. Un valor similar, de 575 mm, obtuvieron Totis de Zeljkovich y Rebella, (1980), utilizando 42 años de datos, para siembras de Octubre en Pergamino, (autores citados por Andrade et al., 1996). Llanos (1984) cita requerimientos de agua para el cultivo por encima de 600 mm.

También se ha calculado el uso de agua por el cultivo mediante la medición del agua en el suelo a través del ciclo del cultivo. Jama y Ottman (1993) encontraron, en Arizona, valores de uso del agua que oscilaron entre 630 y 890 mm, según el tratamiento de riego y el año, mientras que, en Alabama, Doss et al. (1962) encontraron un valor de 486 mm. Por otro lado, en Texas, Eck (1986) cita valores de 937 y 984 mm mediante

riego por surcos y de 884 y 785 mm en riego por bordes nivelados, aunque los datos de este autor son poco confiables ya que no midió la percolación y regó en exceso para obtener uniformidad. Gard et al. (1961) trabajando en Illinois encontraron valores de evapotranspiración de 404, 471 y 495 mm para tratamientos de secano, riego medio y alto respectivamente.

La evapotranspiración no es constante a lo largo del ciclo del cultivo, sino que esta varía a lo largo del mismo, dependiendo del desarrollo del cultivo y la capacidad de demanda de la atmósfera. Doss et al. (1962) encontraron que la tasa de evapotranspiración del maíz tuvo un patrón característico durante la estación de crecimiento. Esta fue baja en la primavera, incrementando gradualmente hasta alcanzar un pico en verano, en el estado de grano pastoso temprano, para decrecer hasta madurez fisiológica.

Totis de Zeljkovich (1995) observó los mayores valores diarios de evapotranspiración, entre 6 y 7 mm/día, en los meses de Diciembre y Enero, cuando el cultivo alcanza la máxima cobertura y la demanda es elevada. El valor promedio para la estación encontrado por Gard et al. (1961) fue de 4,47 mm/día y un máximo de 7,6 mm/día dentro del período que comprende entre 45 y 90 días post-siembra. Downey (1971b) cita un máximo de 9 mm/día para un tratamiento no estresado, y un máximo de 6,3 y 7,5 mm/día para los tratamientos con estrés temprano y tardío respectivamente.

2.3.2 Eficiencia de uso del agua

Uno de los indicadores de mayor importancia a considerar en el manejo del riego es la eficiencia de uso del agua para la producción de grano y de materia seca por el cultivo. Es necesario considerar tanto el agua total utilizada por el cultivo, como el agua aportada por el riego. En el caso de riego suplementario es prioritario obtener altas eficiencias de uso del agua de riego.

Eck (1986) determinó valores de eficiencia de uso del agua en tratamientos de riego que no fueron estresados de 9.7, 8.4 y 8.5 kg. de grano/há./mm. de agua total en riego por surcos, mientras que para riego por bordes nivelados fueron de 9.8 y 14.3 kg. de grano/há./mm. de agua.

La eficiencia de uso de agua puede verse afectada por estrés que se presenten durante el desarrollo de la planta. El efecto sobre la E.U.A. es dependiente del estado fenológico del cultivo al momento en que este se presente. Eck (1986) encontró que los tratamientos de estrés en vegetativo y maduración de grano, no afectaron la E.U.A. Por otro lado Downey (1971b) encontró diferentes eficiencias en el uso del agua para estrés temprano (meiosis masculina) y estrés tardío (llenado de grano), respecto a plantas que no sufrieron déficit hídrico. Estas fueron: 7.3, 8.7 y 5.0 kg. grano/há./mm. para el tratamiento testigo, de estrés temprano y tardío respectivamente; y de 21.5, 20.0 y 17.8 kg. materia seca/há./mm. Robins y Domingo (1953) y Capurro (1973) determinaron que la eficiencia de uso del agua para la producción de grano disminuyó con estrés hídricos

durante la floración, mientras que este último autor encontró que la E.U.A. para producción de materia seca total no fue afectada por el régimen hídrico.

El riego es una medida de manejo que puede incrementar la E.U.A., ya que opera en forma inversa a un estrés. Wagger y Cassel (1993) encontraron incrementos de la E.U.A. total para la producción de grano, debido al riego, principalmente en los años secos. Los promedios para cuatro años fueron de 10.1, 13.2 y 15.0 kg./há./mm. para los tratamientos de secano, riego limitado y riego completo. Los promedios de la E.U.A. total para la producción de materia seca fueron de 20.4, 25.2 y 25.9 kg./há./mm. para el tratamiento de secano, riego limitado y riego completo respectivamente. Mientras que Gard et al. (1961) encontraron respuestas similares, con eficiencias de conversión de 14,0; 15,6 y 15,5 kg./há./mm. para los niveles de secano, riego medio y alto respectivamente. Maturano et al. (1997) encontraron eficiencias de conversión de agua en grano que oscilaron entre: 20.2 kg./há./mm. para riego completo y 27.8 kg./há./mm. para el tratamiento en que se permitió un descenso del agua hasta un 30% del agua disponible en el primer año de ensayo, y de 19.6 y 22.9 kg./há./mm. para los mismos tratamientos en el segundo año. Las eficiencias de conversión de materia seca fueron menores con el aumento del agua agregada, estas oscilaron entre 34.0 y 48.2 kg./há./mm. Aldrich y Leng (1974) mencionan resultados de E.U.A. en Nebraska de 16.0, 23.3 y 17.5 kg./há./mm. para secano, riego en floración y riego en todo el ciclo respectivamente.

A pesar de incrementar la E.U.A. la respuesta en rendimiento por milímetro de agua adicional aplicada puede disminuir. Gard et al. (1961) observaron que el nivel medio recibió 102 mm. de agua de riego, utilizó 67 mm. más y superó en 1.694 kg./há. al secano, mientras que el nivel alto recibió 166 mm. de agua de riego, utilizó 91 mm. más de agua y superó en 2.008 kg./há. al secano. Los incrementos en rendimiento por milímetro de agua de riego fueron de 16,6 y 12,0 kg./há./mm. para nivel medio y alto de riego.

Wagger y Cassel (1993) obtuvieron rangos de E.U.A. para el tratamiento de secano de 3.5 kg./há./mm. para un año seco y de 21.5 kg./há./mm para un año húmedo. Mientras que la E.U.A. para el tratamiento de riego completo ranqueó desde 11.5 kg./há./mm. hasta 17.1 kg./há./mm. Esto demuestra que no solo se incrementa la E.U.A con la aplicación del riego sino que además se disminuye su variación. Las variaciones de E.U.A para producción de materia seca se correspondieron con las encontradas para las E.U.A para producción de grano.

La E.U.A depende a su vez de las demás prácticas de manejo. Hanks et al. (1978), Fapohunda et al. (1990) y Gard et al. (1961) encontraron interacciones entre fertilidad y uso del agua. Además de la fertilización, la densidad y distribución de plantas, época de siembra, control de malezas y frecuencia de riego, determinan la proporción de la evapotranspiración que es transpirada por el cultivo y evaporada directamente del suelo o transpirada por las malezas sin ser utilizada por el cultivo.

Carlson et al. (1959) afirman que cuando la cobertura de las plantas es continua y la humedad del suelo adecuada, el uso estacional de agua es esencialmente independiente del rendimiento.

2.3.3 Lámina de riego

El tamaño de la lámina de riego y el momento de aplicación del riego son los factores más importantes a determinar en una planificación de riego.

2.3.3.1 Profundidad de riego

Uno de los elementos de mayor importancia en la determinación de la lámina de riego es la profundidad efectiva explorada por las raíces de la planta. La profundidad radicular varía a lo largo del ciclo del cultivo, siendo máxima en floración. Es limitada a su vez por características físicas o químicas del suelo, estas limitaciones pueden ser: un horizonte lítico, argilúvico, suela de arada o con limitantes estructurales en los suelos sódicos o presencia de aluminio intercambiable entre otras. La exploración radicular en profundidad es además afectada por el régimen hídrico al que se someta el cultivo en la etapa en que se están desarrollando las raíces.

Doss et al. (1962) encontraron que la profundidad de extracción de agua fue incrementándose con el desarrollo de la planta. El promedio de los 4 años de su trabajo mostró que la profundidad de extracción de agua no superaba los 46 cm. cuando las plantas alcanzaban 46 cm. de altura. En panojamiento la extracción ocurrió hasta una profundidad de 90 cm, sin embargo las pocas cantidades de humedad extraída por debajo de los 60 cm., incluso en estadios tardíos indican que el riego tiene que estar basado en la condición de humedad de estos primeros cm. Esta afirmación es respaldada por Gard et al. (1961) quienes encontraron que el contenido de humedad de los primeros 60 cm. disminuyó en un 75%, mientras que en los segundo 60 cm. la disminución fue de 25%. El perfil de suelo de 60 a 120 cm de profundidad aportó el 5,6; 3,4 y 2,3% del total de agua utilizada por el cultivo para los tratamientos de secano, riego medio y alto respectivamente. Los descensos en contenido de humedad del suelo a medida que aumenta la profundidad son menores a medida que incrementa el agua de riego. Cirullo y Monestier (1988) obtuvieron resultados similares. Sus resultados indican que la mayor variación en el contenido de agua del suelo se produjo en los primeros 60 cm, debido a que el sistema radicular del maíz se desarrolló fundamentalmente en esa zona, por la presencia de un horizonte argilúvico a esa profundidad. Capurro (1973) encontró que la extracción de agua fue importante en los primeros 60 cm del suelo durante el período vegetativo del cultivo, siendo el agua por debajo de dicha profundidad utilizada en el período de floración y llenado de grano.

El retraso en el primer riego no significa un incremento en el consumo de agua en profundidad (Jama y Ottman, 1993), contrastando con el trabajo anterior y con otros trabajos citados por los mismos autores.

2.3.3.2 Umbral de riego

Otro elemento que determina la lámina de riego, es el umbral que se determine como crítico para regar, ya que determinará el agua necesaria para elevar el contenido de humedad del suelo hasta capacidad de campo.

El umbral hasta el que se puede permitir descender el nivel de agua del suelo sin que se vea afectado el desarrollo del cultivo o se vea afectado dentro de los límites previstos depende de las condiciones edáficas y climáticas en que se desarrolla el cultivo. Son muy diferentes los valores críticos de agua disponible que se citan en la bibliografía.

Boyer (1970 a) encontró que el crecimiento foliar cesa drásticamente a un potencial hídrico en hoja de -4 bars. La expansión se ve reducida antes que la fotosíntesis, que sufre una disminución gradual. Boyer (1970 b) afirma que la fotosíntesis comienza a disminuir por debajo de -3.5 bars. La traslocación es más tolerante a la sequía que la fotosíntesis (McPherson y Boyer, 1977), (Jurgens et al.,1978).

Grant et al. (1989) encontraron que la tasa de consumo de agua por el cultivo se mantenía constante respecto al tratamiento testigo hasta valores que oscilaron entre 17% y 39% del agua disponible. Por debajo de este umbral la tasa de consumo descendía hasta cero cuando el agua disponible se igualaba a cero. Doss et al. (1962) también encontraron que la tasa de evapotranspiración decrece a medida que la disponibilidad de agua en el suelo disminuye.

Llanos (1984) y Aldrich y Leng (1974) afirman que el maíz presenta las máximas tasas de crecimiento cuando el nivel de agua en el suelo está entre 50 a 100% de la capacidad de campo.

NeSmith y Ritchie (1992) en un suelo arenoso encontraron que la expansión de hojas comienza a disminuir en forma lineal a un 85% de agua disponible hasta alcanzar un 25%, momento en que cesa el crecimiento. Estos autores citan a otros que dan umbrales en torno a 50% de agua disponible (Meyer y Green, 1990; Ritchie 1983; Rosenthal et al.,1987). Según NeSmith y Ritchie (1992) la discrepancia sugiere que las plantas se comportan diferente frente al estrés hídrico cuando son cultivadas en suelos de texturas distintas. Afirman que la respuesta puede ser debida a la rápida remoción del agua de los poros mayores en los suelos arenosos, seguida de una lenta remoción en los poros menores.

En ensayos de campo Ritchie (1973) encontró que la relación Evaporación real/Evaporación potencial disminuye por debajo de la unidad cuando el porcentaje de agua *extraíble del suelo es menor a un 20%, dicho valor difiere del* encontrado por Denmead y Shaw (1962), los cuales indican que reducciones en la relación se manifiestan cuando el porcentaje de agua extraíble por las plantas desciende por debajo del 80%. Estas diferencias se atribuyen a las condiciones de estudio diferentes, Denmead y Shaw trabajaron con plantas en macetas pequeñas donde se pudo ver limitado el volumen de exploración radicular, mientras que Ritchie (1973) trabajó en un suelo de capacidad de almacenaje de 250 mm de agua disponible que no presentaba limitaciones para la exploración radicular.

Ritchie (1973) a partir de los resultados de su trabajo y de otros trabajos previos señala la dificultad de intentar utilizar un único contenido de agua del suelo para describir la totalidad del ambiente radicular de las plantas cultivadas en el campo. Debido a que la resistencia de la rizósfera es dependiente de: 1°) la densidad de raíces absorbentes de agua, 2°) la conductividad hidráulica del suelo insaturado cerca de las raíces absorbentes de agua, y 3°) la demanda evaporativa, estos tres factores interactúan para influenciar la tasa de evapotranspiración real. Los primeros dos factores interactuando son difíciles de medir en el campo.

Cohen et al. (1990) trabajaron con plantas en macetas, cultivadas en ambientes controlados. La tasa de transpiración fue reducida en las plantas estresadas, pero la reducción no fue lineal con la reducción del potencial de matriz del suelo. La tasa de transpiración declinó rápidamente a altos potenciales de matriz del suelo y decayó más lentamente a medida que el suelo se secaba. La resistencia total del sistema al flujo de agua se incrementó a medida que el suelo se secaba.

Maturano et al. (1997) obtuvieron las mayores eficiencias en el uso del agua, sin afectar los rendimientos en el tratamiento que permitió un descenso del agua hasta un 30% del agua disponible hasta los 40 cm. Afirman, sin embargo, que realizando un análisis del contenido hídrico por debajo de la profundidad de balance, para los dos años de ensayo, los niveles estuvieron, para el período crítico, por encima del 60% de agua disponible. Conviene señalar que en los suelos en que se realizaron estos ensayos se han encontrado consumos de agua hasta 2 m. de profundidad.

Hofstadter (1982) en el período reproductivo encontró que se debe mantener un umbral mínimo de 30% de agua disponible total. Este umbral de riego se comporta igual que el de 60%, indicando entonces que es posible disminuir la frecuencia de riego, sin afectar los rendimientos, permitiendo un uso más eficiente del agua de riego. El tratamiento de riego con 30% de umbral durante todo el ciclo, produjo rendimientos estables año tras año y similares a los tratamientos con umbrales de 60%, con consumos de agua menores.

Estos dos factores, profundidad hasta la que se pretende mojar el suelo y el umbral de riego, determinan la lámina de agua a reponer. Todas estas decisiones llevan implícitos decisiones de manejo y umbrales productivos planificados.

2.3.4 Riego suplementario

El riego es una herramienta cultural que conjuntamente con otras medidas de manejo tiene un fuerte impacto en los niveles productivos. El riego es imprescindible en la producción de maíz en clima árido, donde se realiza para cubrir la totalidad de los requerimientos de agua del cultivo. Sin embargo, en las regiones sub-húmedas y húmedas, donde se realiza riego suplementario, también tiene un fuerte impacto en la producción. No sólo por los niveles de rendimiento que se logran con el riego, sino además por la estabilidad de los rendimientos a través de los años. En las regiones donde la ocurren-

cia de lluvia es muy variable como en el Uruguay el riego actúa elevando los rendimientos en años secos o con períodos ocasionales de estrés, o actúa como un seguro en los años húmedos en que no se requiere regar. La estabilidad del rendimiento a través de los años es de suma importancia en la planificación del manejo del cultivo, tanto técnica como económica. Una de las características del riego suplementario es la imposibilidad de armar un calendario preciso, debido a que no se conoce el momento en el cual se presentarán déficit hídricos, dada la imposibilidad de predecir las precipitaciones.

El aumento en los niveles de riego no solo incrementa los rendimientos sino que se logra estabilizar los mismos, disminuyendo notoriamente la variación de estos a través de los años (Wagger y Cassel, 1993), (Arbeletche, 1978), (Hofstadter, 1982), (García y Estol, 1978). Colville y Gill (1962) indican para diferentes años y localidades, que los rendimientos tanto a nivel experimental como comercial con o sin riego, se incrementan y reducen su variación a medida que aumenta la tecnología utilizada y la disponibilidad de agua.

Capurro (1984) citado por Cirullo y Monestier (1988), encontró en la zona de La Estanzuela, que para las precipitaciones de Diciembre habia un aumento de rendimiento de 1.000 kg./há. por cada 220mm de lluvia. Para Enero el incremento era de 4.000 kg./há. por cada 200 mm de lluvia y en Febrero de 3.000 kg./há. por cada 100 mm.

Gard et al. (1961) realizan un análisis de la precipitación registrada durante un periodo de 21 años (promedio de lluvias para el período del cultivo: 365 mm.). Encontraron que en 9 de estos 21 años la precipitación registrada durante los 120 días del cultivo cubría la demanda, sin embargo no era suministrada a través de toda la estación una adecuada cantidad de agua. La pobre distribución de la lluvia junto con la relativamente baja capacidad de almacenaje de agua disponible, alta evaporación y alta transpiración originaron períodos de intenso estrés de humedad. Afirman que el estrés de humedad habría retrasado el desarrollo del maíz en uno o más períodos durante 8 de los 9 años en que las precipitaciones excedían los requerimientos totales.

Concluyeron que la cantidad de lluvia es una pobre medida de la adecuación de la humedad sin una cuidadosa consideración de la distribución y del estadio de desarrollo del maíz.

Porro y Cassel (1986) confirman el potencial de incrementar los rendimientos a través del riego en las regiones húmedas. Ellos obtuvieron en un año con altas precipitaciones (650 mm) y buena distribución de éstas, incrementos significativos del rendimiento en grano para los tratamientos regados comparado con los tratamientos del control en secano. Para el año seco (400 mm) estos incrementos fueron altamente significativos.

Los resultados de Porro y Cassel (1986) demuestran que el retraso del riego puede significativamente reducir el desarrollo del maíz en regiones húmedas. Retrasos en el mismo número de días causan más abruptas disminuciones en el laboreo convencional comparado con el subsolador en estaciones secas, esto se puede extrapolar a suelos de

menor disponibilidad de agua frente a suelos de mayor disponibilidad. Para los retrasos durante estaciones de crecimiento húmedas tiene poco efecto el tipo de laboreo en el crecimiento del maíz.

Ritchie (1973) determinó los máximos rendimientos con el riego más frecuente.

Wendt et al. (1977) afirman que el sistema de riego no cambia de forma importante el uso consuntivo del cultivo.

La automatización del riego permite hacer un uso más eficiente del agua almacenada en el perfil. Este factor debe ser tenido en cuenta donde se realiza riego suplementario en vez de total. Una zona de baja tensión (30 a 45 cm) puede ser desarrollada para almacenar el agua de lluvia, mientras el cultivo obtiene humedad adecuada y no sufre estrés.

Otra característica del riego suplementario es la necesidad de dimensionar el sistema para cubrir los momentos de máxima demanda del cultivo y usarla solo parcialmente en algunos momentos. Este inconveniente se puede reducir planificando las fechas de siembra en forma escalonada y con cultivares de diferente ciclo, de manera que toda el área que se va a regar no presente su máxima demanda en un mismo momento.

3) MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

El ensayo se instaló en el área de riego de la Estación Experimental Mario A. Casinoni de la Facultad de Agronomía, sobre un Brunosol Eútrico perteneciente a la unidad San Manuel de la carta de suelo 1:1.000.000 de la Dirección de Suelos, MGAP.(1979), asociado con Solonetz Solodizados.

Cuadro 3.1: Descripción del perfil.

Horizonte	Profundidad (cm.)	Características
A	0 – 35	Franco – arcilloso. Pardo oscuro. Pobre estructura
B	35 – 55	Arcilloso. Pardo oscuro. Película de arcilla. CO_3Ca. Prismas irregulares. Raíces escasas.
BC	55 – 65	Limo - arcilloso. Marrón claro. Transición clara.
C	65 y +	Pardo claro. CO_3Ca

Cuadro 3.2: Capacidad de almacenaje del suelo.

Horizonte	Profundidad (cm)	Agua útil/10cm	Agua útil perfil (mm)
A	0-20	13,98	27,96
A	20-35	16,01	24,02
B	35-55	12,63	25,26
	0-55		**77,24**

3.2. MANEJO DEL CULTIVO.

El cultivo se implantó en una chacra vieja, que fue cultivada con maíz en los veranos del año 1995-96 y 1996-97 con rendimientos de aproximadamente 4.500 kg./há., manteniéndose con barbecho los inviernos.

El rastrojo del cultivo anterior fue quemado previamente al laboreo del suelo. Las secuencias del mismo fueron: una pasada de excéntrica, luego una de cincel y se dejó durante el invierno alomado y sistematizado en la dirección de siembra. En setiembre fue nuevamente sistematizada la chacra, marcando direcciones de siembra y regueras. Posteriormente en octubre se pasó cincel. La chacra fue fertilizada con 200 kg. de 18-46-0, el cual fue incorporado con otra pasada de cincel. La dosis de fertilizante se determinó en base al resultado del análisis de suelos previo a la siembra, que indicó que el suelo contaba con un nivel de 7 p.p.m. de fósforo. El nivel del nitrógeno no se consideró ya que se planificó corregir más avanzado el ciclo.

El híbrido utilizado fue Dekalb 752, elegido por sus altos rendimientos en la evaluación de cultivares bajo riego que realiza la Facultad de Agronomía.

La siembra se realizó el 10 de octubre de1997 con una sembradora semeato 2010 de siembra directa, pero con tachos de siembra convencional. La distancia entre hileras fue de 65 cm. con una población objetivo de 90.000 pl./há. Se aplicó el herbicida erradicane en una dosis de 6 lts./há., debido a una posible infestación de sorgo de alepo (*Sorghum halepense* (L) Pers.) y gramilla (*Cynodon dactilon* (L) Pers.), el cual fue incorporado con vibrocultivador. El 15 de noviembre, al estado de 4 hojas se aplicó un herbicida, 2,4 D a razón de 2 lts. de P.C./há, para el control de mastuerzo(*Coronopus didimus*). El 19 de noviembre se construyeron los surcos, con una herramienta no adecuada, lo que dificultó posteriormente la conducción del agua. El 9 de diciembre se refertilizó manualmente a la base de la planta con 150 kg. de urea por hectárea, cuando el cultivo se encontraba con 7 hojas. No se realizó ningún control contra plagas, ni enfermedades.

La aplicación del agua de riego se realizó mediante surcos.

La cosecha se realizó el 4 de marzo de 1998, con un porcentaje de humedad del grano de 20%.

Cuadro 3.3.: Análisis de suelo al estado de V7.

Nitrógeno y Fósforo disponible
N-mineral = 53,9 ppm
N-NH3 = 34,3 ppm
N-NO3 = 19,6 ppm
Fósforo = 11,7 ppm

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental fue un factorial completo con tres repeticiones en bloques al azar.

Los tratamientos previstos originalmente fueron los siguientes:

T0 = Secano
T1 = Riego todo el ciclo a 30% de H.D.
T2 = Riego todo el ciclo a 60% de H.D.
T3 = Riego en Prefloración + Floración a 30% de H.D.
T4 = Riego en Prefloración + Floración a 60% de H.D.
T5 = Riego en Prefloración a 30% de H.D.
T6 = Riego en Prefloración a 60% de H.D.
T7 = Riego en Floración a 30% de H.D.
T8 = Riego en Floración a 60% de H.D.
T9 = Riego en Maduración a 30% de H.D.
T10 = Riego en Maduración a 60% de H.D.

El tamaño de las parcelas fue de cinco hileras de plantas de 10 metros de largo, utilizando para los muestreos los tres surcos centrales.

El 10 de noviembre, cuando se marcaron las parcelas, se eliminó el tratamiento de riego en maduración a 30% de agua disponible por falta de superficie cultivada. Posteriormente debido a problemas operativos en la medición de la disponibilidad de agua en el suelo y las abundantes precipitaciones ocurridas durante el período del cultivo, los tratamientos que efectivamente se realizaron y de los cuales se habla en el presente trabajo son dos: 1) regado y 2) secano.

Las parcelas que se regaron fueron las pertenecientes a los tratamientos de riego durante todo el ciclo (T1 y T2). Debido a la incapacidad de determinar con precisión el nivel de humedad disponible para las plantas el criterio de determinación del momento de riego fue por observación visual del cultivo y del suelo. En ambos riegos se elevó el contenido de agua hasta el nivel de capacidad de campo, corroborándose esto mediante la observación de agua libre 24 horas después de finalizados los riegos a diferentes profundidades en el perfil.

El primer riego fue aplicado en V5, 47 días post-siembra (25 de Noviembre), registrándose en las siguientes 24 horas 31 mm de precipitación. El segundo riego fue aplicado en V7, 62 días post-siembra (10 de Diciembre), día en que se registraron garúas de poca importancia que pusieron en duda la realización del riego dada la inminencia de lluvia, a pesar de lo cual se regó. El día 13 de Diciembre se registraron 150 mm de lluvia. A partir de ese momento no se detectó mediante apreciación visual déficit hídrico, impidiendo el establecimiento del resto de los tratamientos previstos.

3.4) MEDICIONES EFECTUADAS.

Se midió la evolución de la materia seca y del contenido de humedad del suelo, altura definitiva de las plantas, rendimiento en grano y los componentes del rendimiento. Los muestreos de materia seca se realizaron en V4 (19/11/97), prefloración (17/12/97), floración (29/12/97), grano lechoso (12/01/98) y cosecha (4/03/98).

Para los muestreos de materia seca se cortaban las plantas en un metro lineal y se las llevaba a estufa hasta que alcanzaran peso constante. Los muestreos del contenido de humedad del suelo se realizaron por el método gravimétrico. La altura de las plantas se determinó a la base de la última hoja, una vez que había cesado el crecimiento vegetativo.

El rendimiento en grano y la producción de materia seca final se tomaron de tres metros lineales de la hilera central de cada parcela, asegurándose que las plantas se encontraran en competencia a ambos lados.

Las partes vegetativas aéreas de las plantas (tallo, hoja, marlo y chalas) se secaron en la estufa a 60 °C y se pesaron juntos.

Se efectuaron mediciones de número de granos por hilera y número de hileras por espiga previo al desgranado, estimándose en base a estos datos el número de granos por espiga. El número de granos/m^2 se estimó basándose en el número de espigas y al número previamente calculado de granos por espiga. Se midió el peso de 100 granos.

La capacidad de retención de agua útil para las plantas fue determinada mediante el método de la Olla de Richard, posteriormente a la cosecha ya que no se pudieron realizar estas mediciones anteriormente.

La evapotranspiración se estimó mediante el método de evaporímetro de la cubeta. El balance hídrico se realizó con estas estimaciones, la información de lluvias y capacidad de almacenaje de agua del suelo. Los coeficientes, supuestos utilizados y el balance hídrico se presentan en el Anexo 10.17, 10.18 y 10.19.

4) RESULTADOS

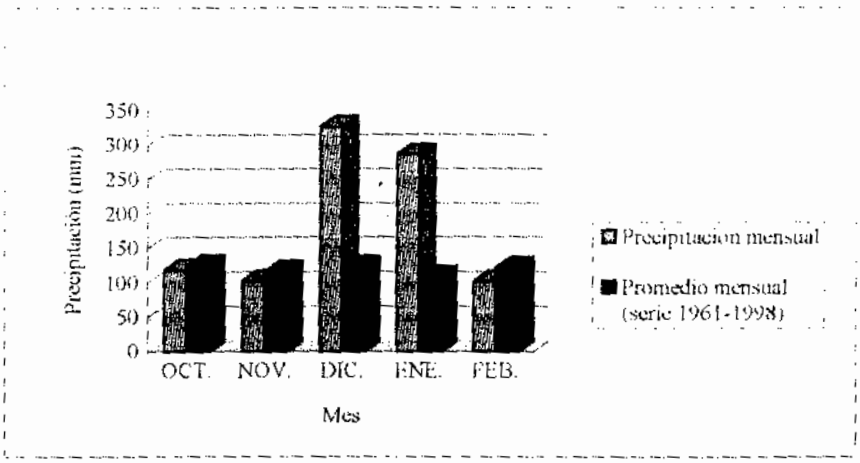
4.1) CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL PERÍODO DEL CULTIVO

Durante el verano 1997-98 se presentó, sobre nuestro país y la región, el fenómeno climático cíclico denominado "El Niño". Este es provocado por un cambio en la circulación oceánica que provoca un desplazamiento de las aguas cálidas del océano Pacífico hacia la región central y oriental de éste. En el litoral del país dicho fenómeno se manifestó en un verano extremadamente lluvioso.

4.1.1) Precipitaciones

En el período que abarcó el cultivo, desde Octubre a Febrero, se registró el segundo máximo valor histórico (930 mm), en una serie de datos entre los años 1961 y 1998. Dentro del período mencionado, en tres meses (octubre, noviembre y febrero), los valores de lluvia registrados no superan la media histórica, con una probabilidad de ocurrencia de un registro igual o superior de 50%. La mayor parte de las precipitaciones ocurrió en los meses de diciembre y enero, siendo el máximo valor histórico si consideramos ambos meses. La probabilidad de superar dichos valores es inferior al 8%. El mes de diciembre fue el mes más lluvioso de la serie anteriormente mencionada, con un registro de 324 mm., registrándose posteriormente en enero 286 mm. (ver gráfica N° 4.1). Estos períodos de alta precipitación cubrieron ampliamente los períodos de gran sensibilidad del cultivo en la producción de grano, como son: floración y llenado temprano de grano.

Gráfica N°: 4.1. Precipitaciones registradas en el período del cultivo y promedio mensual.



Fuente: Elaboración propia basándose en los datos de la Dirección Nacional de Meteorología. 1998

La sumatoria de las precipitaciones del período superó ampliamente los valores estimados de evapotranspiración del cultivo. Pero si se tiene en cuenta únicamente la precipitación efectiva se pone de manifiesto que el agua no fue suficiente para cubrir la totalidad del período (ver cuadro N°: 4.1.).

Por otro lado no es posible saber si los excesos temporarios de agua en el suelo tuvieron un efecto perjudicial sobre el desarrollo del cultivo

Cuadro N°: 4.1. Precipitación, precipitación efectiva y evapotranspiración mensual del cultivo.

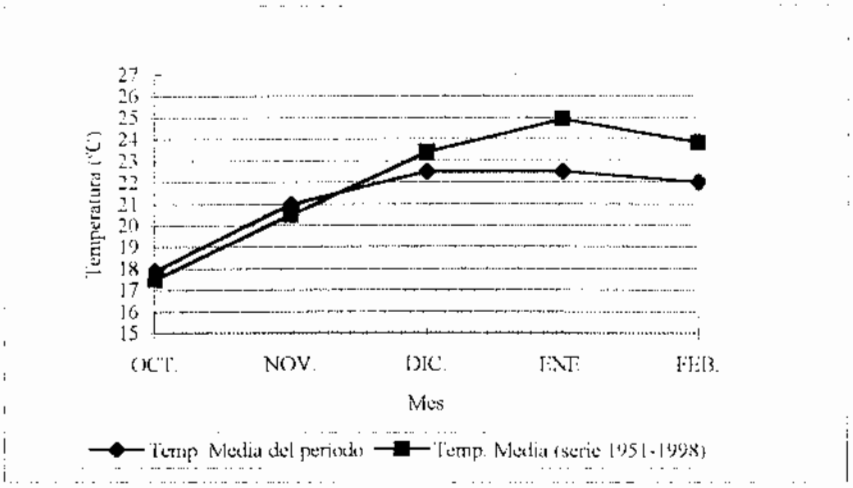
MES	Precipitación (mm.)	PP efectiva (mm.)	Etc (mm.)
OCTUBRE	94,3	24,7	45,2
NOVIEMBRE	102,6	52,9	91,9
DICIEMBRE	323,9	135,9	165,7
ENERO	285,5	169,4	196,3
FEBRERO	101,1	68,6	104,3
TOTAL	**907,4**	**451,5**	**603,4**

4.1.2) Temperatura

Las temperaturas medias registradas fueron atípicas, ya que fue un verano "fresco" si se lo compara con la media histórica. La probabilidad de encontrar un período, Octubre - Febrero, con temperatura media superior al registrado es de 88%. El mes de Enero fue el más frío para la serie histórica que se inicia en el año 1951, estando 2,4° C por debajo del promedio. El promedio del período del cultivo fue de 0,8° C menor al promedio para la misma serie de datos.

No se registraron heladas durante la estación de crecimiento, correspondiéndose con lo que ocurre en esta época del año en el litoral oeste del país.

Gráfica N°: 4.2. Temperatura media del período y promedio mensual.

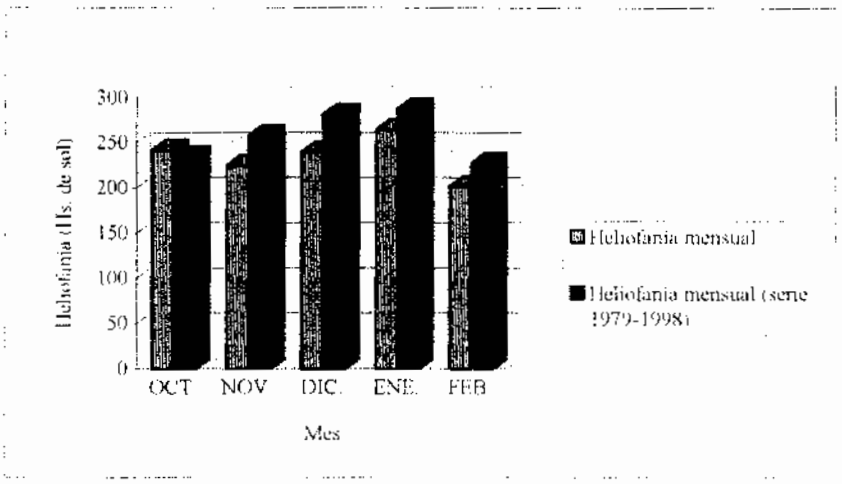


Fuente: Elaboración propia basándose en los datos de la Dirección Nacional de Meteorología. 1998

4.1.3) Heliofanía

En los 20 años en que se ha registrado la heliofanía, como horas de sol, el período que comprende el cultivo fue el de menor valor. El total de horas de sol registrada fue de 1171 horas, estando 116 horas por debajo de la media histórica. La magnitud de este factor sobre el desarrollo y rendimiento del maíz es de difícil estimación.

Gráfica N°: 4.3. Heliofanía del período y promedio mensual.

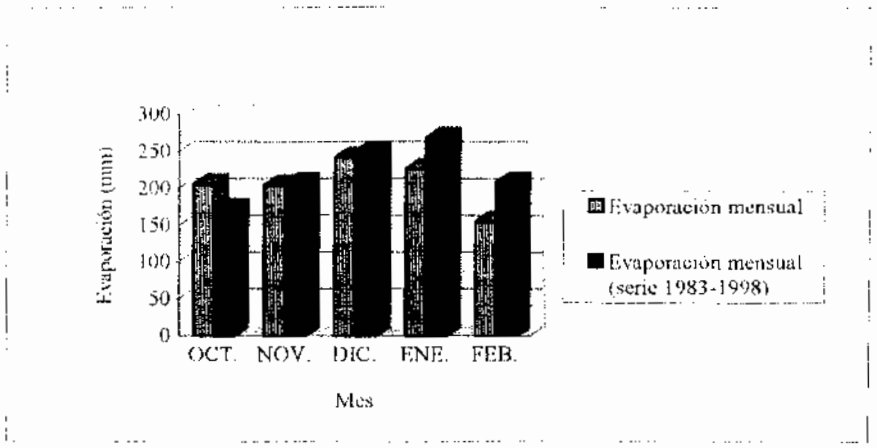


Fuente: Elaboración propia basándose en los datos de la Dirección Nacional de Meteorología. 1998

4.1.4) Evaporación del Tanque "A"

La serie histórica de evaporación de Tanque "A" para esta localidad cuenta con solo 15 años.

Gráfica N°: 4.4. Evaporación del tanque "A" durante el período del cultivo y promedio histórico



Fuente: Elaboración propia basándose en los datos de la Dirección Nacional de Meteorología. 1998.

En el mes de Octubre se registró el máximo valor para la serie, mientras que en los meses de Enero y Febrero se registraron los menores valores.

4.1.5) Análisis de las condiciones climáticas del período del cultivo

La información anteriormente presentada muestra claramente que fue un año muy particular en cuanto a las condiciones climáticas que se registraron durante el período del cultivo.

El efecto positivo de las precipitaciones sobre el incremento del rendimiento no genera dudas, basta observar el rendimiento del tratamiento de secano y el incremento del rendimiento promedio nacional. Las precipitaciones a partir de mediados de diciembre hasta fin de enero cubrieron ampliamente las necesidades hídricas del cultivo en las etapas más críticas de generación del rendimiento.

El efecto de las otras características climáticas sobre la determinación del rendimiento es de más difícil interpretación, debido a que el rendimiento en grano de maíz se correlaciona positivamente con la radiación solar incidente media diaria y con la amplitud térmica, y negativamente con la temperatura media (Andrade et al.,1996).

Teniendo en cuenta que las temperaturas medias registradas en el período de desarrollo del cultivo fueron inferiores al promedio histórico, este factor pudo determinar un aumento en la duración de las etapas ontogénicas del cultivo, especialmente en el período de floración y llenado temprano de grano. La mayor duración de dichas etapas permite un aumento de la radiación solar interceptada por el cultivo, lo que determina un incremento potencial del rendimiento.

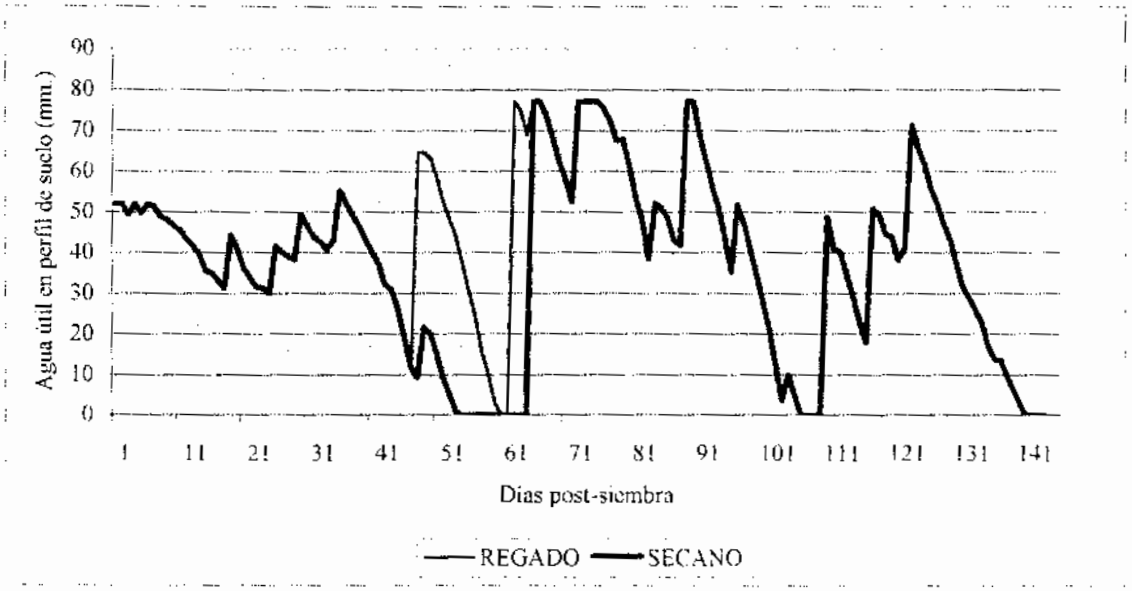
Por otro lado las horas de sol sumaron un total de 116 horas menor al promedio (aprox. 9 días de luz) de la serie de datos de 1979-1998. Este factor es posible que afecte negativamente el potencial de rendimiento del cultivo, ya que disminuye la radiación solar incidente.

La forma en que se presentaron estos dos factores, temperatura media y heliofanía, tienen efectos opuestos sobre el rendimiento del cultivo, desconociéndose la magnitud de cada uno de ellos.

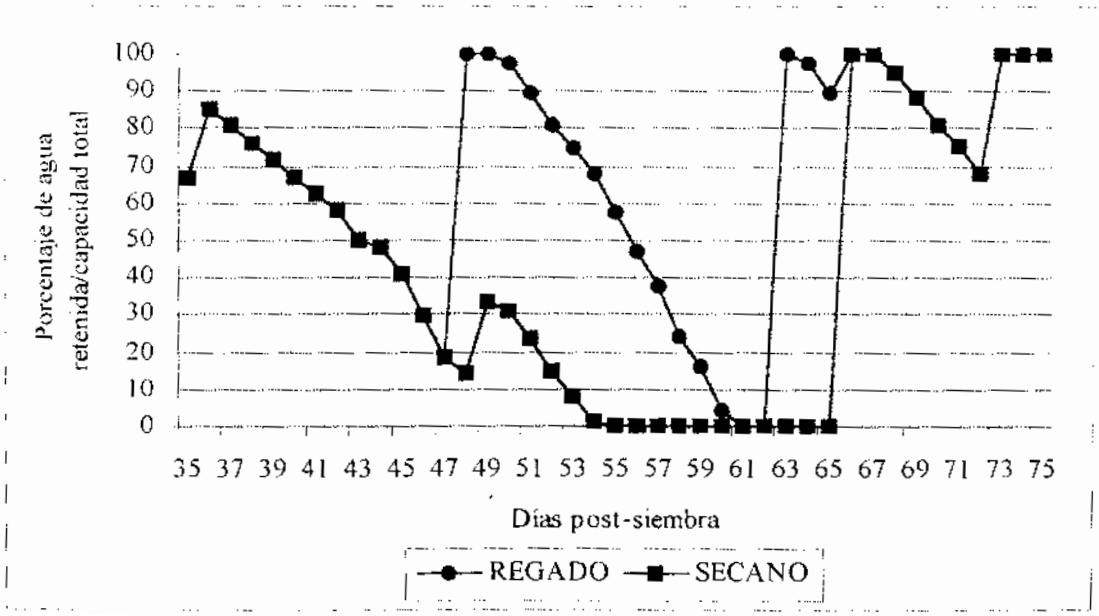
4.2) BALANCE HÍDRICO

A continuación se presentan las gráficas pertenecientes al balance hídrico realizado mediante el método del evaporímetro de cubeta. La gráfica 4.5 presenta el contenido de agua útil total en milímetros en el perfil explorado por las raíces, a lo largo de todo el ciclo del cultivo. En la gráfica 4.6 se presenta la relación expresada como porcentaje del agua útil disponible sobre la capacidad de almacenaje, desde el día 35 post-siembra hasta el día 75 post-siembra. Se presentan estos 40 días de manera de visualizar mejor las diferencias en disponibilidad hídrica entre los tratamientos, ya que en esta etapa se realizaron los dos riegos.

Gráfica N°: 4.5. Contenido de agua disponible para las plantas a lo largo del ciclo del cultivo.



Gráfica N°: 4.6. Relación entre el agua útil disponible y la capacidad de almacenaje expresada como porcentaje.



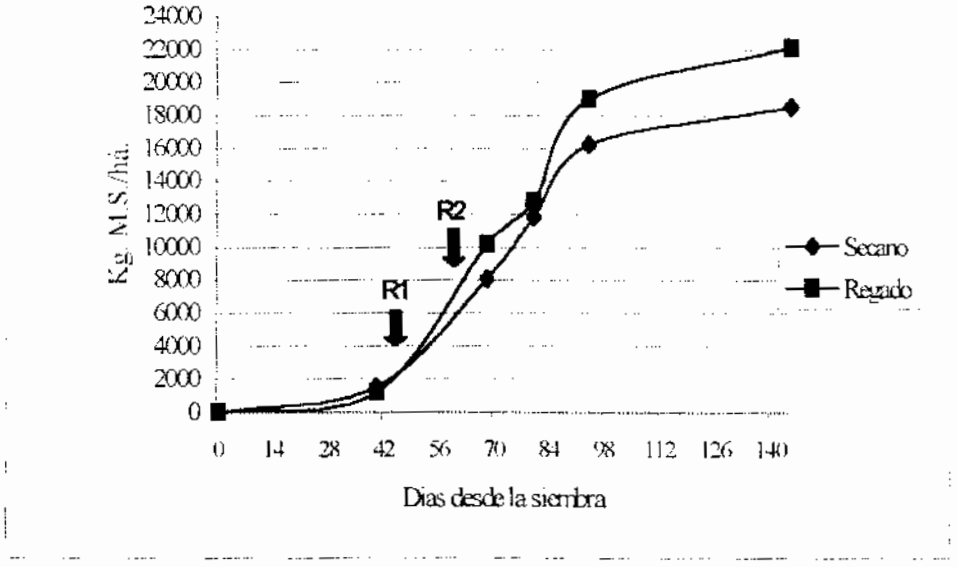
Es evidente que el balance hídrico sobrestimó las deficiencias hídricas, ya que es imposible que el cultivo de secano permaneciera durante 10 días a un nivel de agua en el suelo igual al coeficiente de marchitez permanente y permaneciera vivo.

Cuando se consideran estos datos se debe tener en cuenta, que para estimar el consumo de agua por el cultivo se supuso que el mismo evapora a tasa potencial hasta agotar el agua útil del suelo, sin considerar el aumento en el potencial de matriz, lo cual provoca la disminución de la evapotranspiración real del cultivo con respecto a la evapotranspiración potencial. Otro posible factor que puede explicar los resultados del balance fue el volumen de suelo considerado para la exploración radicular del cultivo, siendo el mismo mayor al considerado en el trabajo.

4.3) EVOLUCIÓN DE LA MATERIA SECA

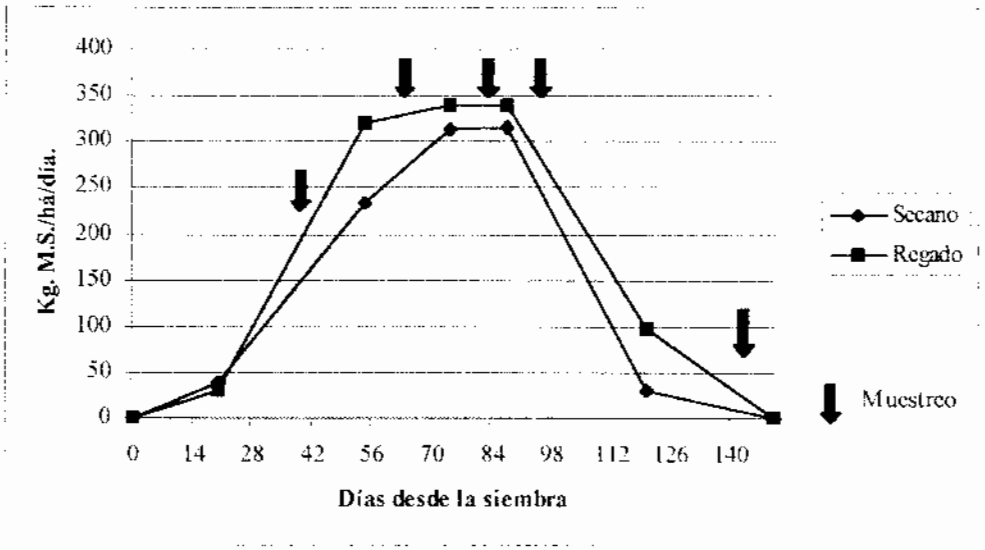
En las gráficas N°: 4.7 y N°: 4.8 se presenta la evolución de la materia seca y la tasa de crecimiento del cultivo a lo largo del ciclo.

Gráfica N°: 4.7. Evolución de la Materia Seca Total. (Kg. M.S./há.)



El patrón de crecimiento del cultivo para ambos tratamientos se asemeja al modelo de crecimiento del cultivo presentado por Andrade et al. (1996). En las etapas previas al riego las condiciones de crecimiento fueron adecuadas para un buen desarrollo del cultivo.

Gráfica N°: 4.8. Tasa de crecimiento del cultivo según tratamiento.



La tasa de crecimiento entre el segundo y cuarto muestreo del tratamiento regado se promedió.

Se observa que después de la aplicación de los dos riegos (47 y 62 días post-siembra), la materia seca acumulada por el cultivo fue superior en el tratamiento regado. Esta diferencia a favor del tratamiento regado no es significativa, salvo en el muestreo al momento de cosecha en el cual existe diferencia significativa ($P < 0,01$). A pesar de no detectarse diferencias mediante el modelo estadístico, es importante señalar que la tendencia es muy clara en mostrar el efecto positivo de la aplicación del riego en la mayor tasa de crecimiento.

La etapa que abarcó desde vegetativo tardío - grano lechoso fue el de mayor tasa de crecimiento durante el ciclo del cultivo, coincidiendo con el periodo de máximas precipitaciones.

4.4) ALTURA

La diferencia en la altura definitiva de las plantas medida a la base de la última hoja fue significativa ($P < 0,05$). La diferencia en régimen hídrico coincidió con las etapas de inicio de elongación de tallos, según Ritchie y Hanway, lo que explica la diferencia encontrada en altura. Este incremento en altura debido al riego concuerda con los resultados de Cirullo y Monestier (1988), Gigena y Moreira (1989), Carlson et al. (1959), NeSmith y Ritchie (1992), Denmead y Shaw (1960) y Downey (1971 a) quienes encontraron reducciones en la elongación del tallo, provocadas por deficiencias hídricas en la etapa vegetativa.

Cuadro N°: 4.2. Altura final de planta (m.).

	Altura (m.)
Secano	1,35
Regado	1,56
C.V (%)	3,41
Nivel de significación	Significativo (P < 0,05)

Las diferencias en altura confirman lo reportado por Classen y Shaw (1970 I), quienes afirman que el componente vegetativo más afectado por el déficit hídrico es la parte que se encuentra con la máxima tasa de crecimiento y desarrollo en el momento que éste se presenta.

La altura definitiva de planta se encuentra por debajo de los valores (1,60 m.) presentados en la evaluación de cultivares en condiciones de secano realizada por el I.N.I.A. (96/97) y muy por debajo de los valores (1,80 m) encontrados en la evaluación bajo riego realizada por la Facultad de Agronomía (1993). Esta menor altura podría estar indicando alguna limitante para el pleno desarrollo de las plantas.

4.5) COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

4.5.1) Número de espigas/m^2

No existieron diferencias en el número de plantas/m^2, medido en V7 y a cosecha, en el número de espigas/m^2, en el número de plantas con espiga y en el número de espigas por planta para ambos tratamientos. En el cuadro 4.3. se presentan los resultados de estos indicadores.

Cuadro N°: 4.3. Número de plantas y espiga/m^2.

Característica	Regado	Secano	C.V.(%)	Nivel de significación
N°. Plantas/m^2. (V 7)	9,05	9,34	9,70	N.S.
N°. plantas/m^2.(cosecha)	10,26	9,64	16,71	N.S.
N°. Plantas con espiga/m^2.	10,26	9,32	14,28	N.S.
N°. Espigas/m^2.	10,60	9,74	17,58	N.S.
% de plantas con espiga	100	98,23	4,93	N.S.
N°. de espigas por planta	1,03	1,04	3,80	N.S.

Basándose en Karlen y Camp (1985) se puede afirmar que la ausencia de plantas estériles demuestra que la población estuvo por debajo del máximo tolerado por este cultivar. La ausencia de esterilidad y el alto rendimiento alcanzado nos permiten afirmar que para las condiciones del año, principalmente desde el punto de vista de las precipitaciones, que la población fue adecuada. En un año sin la disponibilidad hídrica

tan benévola la alta población podría haber afectado negativamente los rendimientos en el tratamiento del secano.

4.5.2) Características de la espiga

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el número de hileras por espiga, número de granos por hilera y número de granos por espiga. El número de granos por espiga se estimó sobre la base de los dos primeros indicadores. Si bien no existieron diferencias significativas, también en estos parámetros existe una tendencia muy definida ya que el tratamiento regado superó al tratamiento en secano en los tres indicadores, como se aprecia en el cuadro 4.4.

Cuadro N°: 4.4. Características de la espiga.

	N°. Hileras/espigas	N°. Granos/hilera	N°. granos/espiga
Secano	16,9	27,6	490,2
Regado	17,7	28,4	524,7
C.V(%)	8,26	14,13	18,20
Nivel de significación	N.S.	N.S.	N.S.

4.5.3) Peso de grano promedio

Para este componente del rendimiento se determinó el peso de 100 granos. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego y secano. Estos resultados concuerdan con los de Eck (1986) quién encontró que una reducción del número de granos provocada en etapas vegetativas no significa necesariamente un incremento en el peso de los granos, dado que el área foliar también se ve reducida.

La diferencia en peso de grano entre tratamientos es un factor de escasa importancia en la determinación de las diferencias en rendimiento, en relación con el número de granos/m^2.

Cuadro N°: 4.5. Peso de 100 granos.

	Peso de 100 granos (gramos)
Secano	22,53
Regado	23,11
C.V(%)	4,86
Nivel de significación	N.S.

4.5.4) Número de granos/m^2

Este componente del rendimiento se estimó mediante el número de espigas/m^2 y el número de granos/espiga, siendo a su vez éste último determinado por el número de hileras/espiga y el número de granos/hilera. Ninguno de estos componentes presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos, pero las tendencias a favor del tratamiento regado en cada uno de estos componentes determinó que al ser integrados para estimar el número de granos/m^2 estas diferencias se multiplicaran y determinaran diferencias estadísticas altamente significativas en el rendimiento.

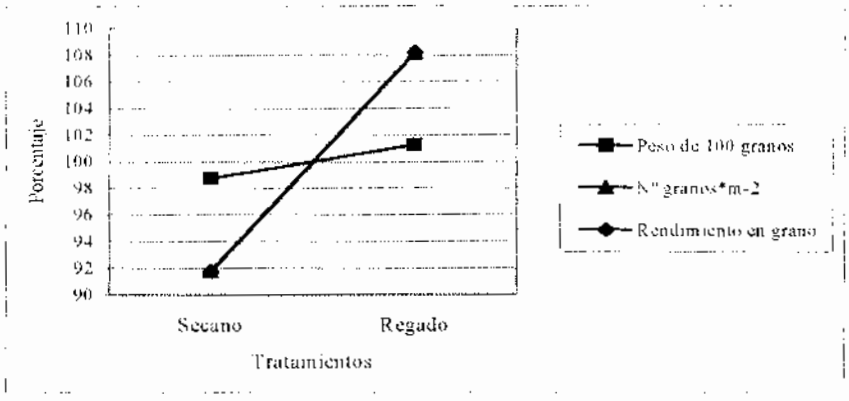
Las diferencias de rendimiento encontradas entre ambos tratamientos reafirman el concepto de que dicho componente es el de mayor importancia en la determinación del rendimiento, tal como lo afirman varios autores (Classen y Shaw, 1970 II), (Grant et al.,11989), (Herrero y Johnson, 1981), (Schussler y Westgate, 1991a), (Schussler y Westgate, 1991b), (Schussler y Westgate, 1994), (Wagger y Cassel, 1993), (Carlson et al., 1959), (Eck, 1986).

Cuadro N°: 4.6. Número de granos/m^2.

	Granos/m^2
Secano	4650
Regado	5478
C.V(%)	5,27
Nivel de significación	P < 0,01

En la gráfica N°: 4.9 se muestran las variaciones en porcentaje respecto a la media general del peso de granos y número de granos/m^2. Esta gráfica muestra claramente la mayor variación del número de granos y la asociación de este indicador con el rendimiento en grano.

Gráfica N°: 4.9. Variación del porcentaje del peso de granos, número de granos/m^2 y rendimiento en grano respecto a la media.



4.5.5) Indice de cosecha

El índice de cosecha fue igual para ambos tratamientos. Esto concuerda con lo encontrado por Jama y Ottman (1993), quienes indican que estrés hídricos en vegetativo no afectan el índice de cosecha. Es de destacar el alto índice de cosecha obtenido, superando los valores para este material indicados en la evaluación de cultivares bajo riego de la Facultad de Agronomía. El alto índice de cosecha refleja que la producción de grano fue acorde con la producción de biomasa para este material genético.

Cuadro N°: 4.7. Indice de Cosecha.

	I.C
Secano	0,54
Regado	0,54
C.V. (%)	3,68
Nivel de significación	N.S.

4.5.6) Producción de biomasa y rendimiento en grano

La producción de biomasa total fue significativamente diferente ($P < 0,01$) entre ambos tratamientos. Al descomponer la biomasa total en grano y materia seca vegetativa (tallo, hoja, marlo y vainas de la espiga) se encuentran diferentes niveles de significación. La diferencia en producción de chala fue significativa ($P < 0,05$), mientras que la diferencia en la producción de grano fue altamente significativa ($P < 0,01$). En el cuadro N°: 4.8. se presenta dicha información y en el cuadro N°: 4.9 el rendimiento al 14% de humedad.

Cuadro N°: 4.8. Rendimiento de materia seca vegetativa, grano y total de materia seca.

	M.S. vegetativa (Kg./há)	Grano (Kg./há)	Total M.S. (Kg./há)
Secano	8475,7	10065,4	18541,1
Regado	10285,1	11871,3	22156,4
C.V.(%)	7,53	4,43	4,65
Nivel de significación	P < 0,05	P < 0,01	P < 0,01

Cuadro N°: 4.9. Rendimiento en grano. (Humedad 14%).

	Rendimiento (Kg./há.)
Secano	11474,6
Regado	13533,3
C.V.(%)	4,43
Nivel de significación	P < 0,01

5) DISCUSIÓN

En el momento en que se aplicaron los riegos la planta se encontraba en estado vegetativo (V5 y V7), etapa en la cual se está determinando el tamaño final de la planta y el tamaño potencial de la espiga.

La tasa de crecimiento del cultivo durante el período V6, momento en que se inicia la diferenciación de los meristemos de vegetativo a reproductivo, hasta la etapa R1, determinan el número potencial de espigas y el tamaño potencial de las espigas. La tasa de crecimiento del cultivo depende del área foliar y de la tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar.

En la gráfica Nº: 4.8 se observa que para dicho período del ciclo del cultivo la tasa de crecimiento del tratamiento regado supera al tratamiento no regado, permitiendo así definir un tamaño potencial de espiga mayor. Esta diferencia se mantiene en el número definitivo de granos, dado que se presentaron condiciones adecuadas en las etapas subsiguientes, para la concreción del alto número de granos potenciales previamente determinado.

Las diferencias provocadas por diferentes niveles hídricos en la etapa vegetativa afectaron de igual manera la producción de grano y biomasa total, mostrando una igual sensibilidad al déficit hídrico, dentro de los rangos estudiados.

El riego en vegetativo generó un aparato fotosintético mayor, reflejado en una mayor altura de planta y producción de materia seca vegetativa en el tratamiento regado.

Si bien no se midió el IAF, dado que las plantas aún se encontraban expandiendo hojas, se puede suponer basándose en las diferencias visuales entre tratamientos que la aplicación de los riegos en la etapa vegetativa incrementaron el IAF, característica que explica las mayores tasas de crecimiento del tratamiento regado. Según Denmead y Shaw, (1960) la reducción en el área foliar tiene un efecto indirecto en el rendimiento debido a la menor superficie asimilatoria al momento de desarrollo de la espiga.

Otra característica que probablemente fue afectada y no fue medida es la absorción de luz y concentración de clorofila en las hojas de los diferentes tratamientos. El tratamiento regado presentó en las etapas posteriores al riego y hasta el fin del ciclo del cultivo un color verde más intenso. Dicha afirmación es subjetiva, dado que no se midió científicamente. De todas maneras en la bibliografía se encuentran reportes que respaldan esta afirmación. Downey (1971) y Maranville y Paulsen (1970) encontraron en plantas que sufrieron estrés hídrico disminuciones en la concentración de clorofila.

El riego determinó un mayor potencial de producción de grano en forma proporcional al incremento en la producción de biomasa. Esto se ve reflejado en el mantenimiento del índice de cosecha y del peso de los granos, a pesar del incremento del número de granos por superficie.

Este aumento en el número de granos no se explica por un único factor, sino que es como ya fue dicho anteriormente, producto de pequeñas diferencias no significativas

en el número de espigas/m^2, número de hileras/espiga y número de granos/hilera. El componente del rendimiento que más aportó a la generación de la diferencia en número de granos/m^2, es el número de espigas/m^2. La diferencia en este último indicador se debe a un muy reducido porcentaje de plantas estériles en el tratamiento de secano y un incremento del número de plantas con dos espigas en el tratamiento regado. En los casos en que se presentó una segunda espiga, ésta fue muy reducida en relación con la primer espiga, por lo que la diferencia entre tratamientos no puede ser atribuida solamente a la presencia de ésta segunda espiga, ya que el tamaño promedio de espiga está estimado considerando ambas.

La diferencia en peso de grano promedio fue de escasa magnitud, lo que provocó que este componente del rendimiento no tuviera importancia en la generación de la diferencia en producción de grano.

Las plantas de ambos tratamientos contaron con una relación fuente-fosa similar. A pesar de contar con un número diferente de granos el peso de estos no tuvo diferencias, esto también se refleja en el mismo índice de cosecha para ambos tratamientos y en las relaciones de materia seca/grano.

La aplicación del riego originó un incremento del rendimiento en grano del **18%** del tratamiento regado sobre el tratamiento de secano. Dicha diferencia de rendimiento entre los tratamientos se explica por los riegos aplicados durante el periodo vegetativo, lo cual se corresponde con los resultados encontrados por varios autores, (Denmead y Shaw,1960), (Eck, 1986), (NeSmith y Ritchie,1992), (Khristov, 1995), (Classen y Shaw II, 1970).

La diferencia de rendimiento debe ser considerada con especial atención debido al muy alto rendimiento en grano del secano (11.475 kg./há.). El alto rendimiento del secano es en parte producto de las prácticas culturales (fertilización y densidad de siembra), las cuales fueron idénticas al tratamiento regado. Si tenemos en cuenta que cuando se planifica regar se afectan todas las demás practicas culturales, en este caso se subestimó las diferencias entre un sistema de agricultura de secano y un sistema de agricultura bajo riego.

A pesar de tener muy alta producción el tratamiento de secano fue incapaz de compensar períodos de diferente disponibilidad hídrica con respecto al regado, lo que señala la sensibilidad del cultivo de maíz a las deficiencias hídricas. No existe evidencia en los resultados obtenidos, ni en la bibliografía, que un cultivo de maíz que sufre restricciones temporales en su desarrollo tenga capacidad de recuperarse y producir igual que un cultivo que se mantiene en óptimas condiciones durante todo el período de desarrollo.

La mayor producción de chala ($P < 0,05$) del tratamiento regado, **21%** superior al tratamiento no regado, se explica por la aplicación de los riegos en el momento en que

la planta se encontraba en el período de emisión de hojas y elongación de tallos. Lo que sorprende es que la diferencia en producción de materia seca se detecte únicamente en el último muestreo. De todas maneras los resultados del último muestreo concuerdan con los de Classen y Shaw I, (1970) quienes obtuvieron las máximas reducciones, de 15% a 17% en materia seca vegetativa, por déficit hídrico en el momento de elongación de los entrenudos basales y medios del tallo.

La diferencia altamente significativa ($P < 0,01$) de producción de materia seca total encontrada en el último muestreo y no en los anteriores puede ser explicada desde dos puntos de vista. Uno de ellos es que la mayor tasa de crecimiento del cultivo regado sobre el secano, a pesar de ser pequeña, durante todo el ciclo origina diferencias significativas al final del período. La otra explicación posible, es que el incremento en el tamaño de la muestra de 1 a 3 metros lineales y la duplicación del número de muestras del tratamiento en secano, originaron un descenso en la variación en el último muestreo, permitiendo de esta forma detectar las diferencias entre ambos tratamientos.

La diferencia en rendimiento y en los niveles hídricos de los tratamientos deben ser considerados con atención, ya que en condiciones de producción comercial muy probablemente no se hubiese optado por el riego, para evitar así un costo operativo que a primera vista no se justifica dada las condiciones de alta probabilidad de lluvia en que se regó.

También se debe considerar las condiciones excepcionales desde el punto de vista hídrico que se presentaron en el resto del ciclo del cultivo. Asegurar una buena disponibilidad hídrica en la etapa vegetativa incrementa el rendimiento únicamente cuando se mantiene un buen nivel hídrico durante la etapa de floración y desarrollo temprano del grano (Jama y Ottman, 1993) y (Capurro, 1973).

Definir que un cultivo se realizará bajo riego previo a la siembra y por lo tanto adoptar las demás medidas de manejo asociadas a éste factor; tales como la selección del híbrido, fertilización, densidad de siembra, etc.; permite realizar un mayor aprovechamiento del ambiente en los años de alta disponibilidad hídrica. Este factor es una de las razones de que el tratamiento de secano en este trabajo alcanzara altos rendimientos, factor que habría resultado negativo en un año de menor disponibilidad hídrica ya que el manejo del cultivo habría resultado inadecuado.

6) CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo señalan que el maíz presenta respuesta en la producción de grano y materia seca debido al riego en etapas vegetativas, cuando se mantienen condiciones favorables para el desarrollo en las etapas posteriores.

El componente del rendimiento que explicó las diferencias entre tratamientos fue el número de granos/m^2.

El cultivo no presentó capacidad de compensar periodos de estrés hídrico ocurridos en V5 y V7, lo que señala la alta sensibilidad del cultivo de maíz a la disponibilidad hídrica.

La práctica del riego, además de su efecto positivo sobre el rendimiento por el agregado de agua propiamente dicho, tiene un efecto extra, que es mantener altas tasas de crecimiento que le permiten explotar mejor los aportes de agua por la lluvia en etapas posteriores. Por otro lado el hecho de planificar el riego desde el inicio del cultivo determina que las demás prácticas de manejo apunten a lograr altos rendimientos, lo que permite aprovechar mejor los años de buena disponibilidad hídrica.

El riego le otorga estabilidad al rendimiento del cultivo a lo largo de los años, lo cual es de suma importancia en la planificación económica del cultivo y del sistema.

Si se pretende obtener los máximos biológicos es imprescindible mantener el cultivo con un alto estatus hídrico a lo largo de todo el ciclo. A escala comercial se necesita mayor experimentación y evaluación para poder ser categóricos, pero si se dispone de suficiente cantidad de agua a bajo costo, es conveniente regar durante todo el ciclo del cultivo.

7) RESUMEN

Uruguay presenta una distribución de lluvias uniforme en los diferentes meses del año en un promedio histórico, pero presenta una variación muy alta entre las precipitaciones mensuales entre meses y años. Por otro lado presenta una curva de evapotranspiración estable entre años, que es mínima en el invierno y máxima en el verano, momento en el cual se desarrolla parte importante del ciclo del cultivo de maíz.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar el efecto de diferentes estrategias de riego sobre la producción de grano y materia seca.

En el experimento se evaluó el comportamiento del cultivo de maíz frente a dos regímenes hídricos. El ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Brunosol Eútrico perteneciente a la Unidad San Manuel. Debido a las condiciones hídricas del año solo se pudieron evaluar dos tratamientos: secano y regado, el riego fue aplicado por surco en los estados fenológicos V5 y V7.

Las mediciones realizadas fueron: evolución de la materia seca, altura de planta, contenido de agua del suelo, rendimiento y sus componentes, capacidad de almacenaje de agua del suelo mediante la olla de Richard y se estimó el balance hídrico mediante el método de la cubeta. Las condiciones climáticas que se presentaron fueron excepcionales, las precipitaciones registradas en los meses de diciembre y enero fueron las más altas en la serie histórica disponible 1961-1998, totalizando para el período del cultivo 930 mm.

La producción de materia seca total y el rendimiento en grano del tratamiento regado fue superior 20% y 18% respectivamente, siendo estas diferencias altamente significativas ($P<0.01$). El rendimiento en grano al 14% de humedad fue de 13.533 kg./há. y de 11.475 kg./há. para el tratamiento regado y secano respectivamente. El componente de rendimiento que explica dichas diferencias es el número de granos/m^2.

8) SUMMARY

In a historic medium basis Uruguay presents a uniform rain distribution along the year, but presents a high irregularity among years. On the other hand, presents a stable evapotranspiration among years, which is minimum in winter and maximum in summer; that is the moment in which most of the corn develops. The objective of this work is the quantification of the effect of different irrigation strategies over grain and dry weight production.

The response of corn to two watering treatments was evaluated. The experiment was done in a soil classified as Brunosol Eutrico. The treatments were non-irrigated and irrigated at V5 and V7. The measurements done were; evolution of dry matter weight, grain production and its components, water holding capacity of the soil by the Richard´s method and the water balance was estimated by the method of the open pan. The climatic conditions were exceptional, the total rain during the crop period was 961 mm. Differences in the biomass dry weight and grain production were highly significant ($P<0.01$). Yield at 14% humidity was 13,533 kg./ha. and 11,475 kg./ha. for the irrigated and non irrigated treatments respectively. The yield component, which explains that difference, is the number of grain/m^2.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALDRICH, A.D.; LENG, E.R.1974. Producción moderna del maíz. Buenos Aires. Hemisferio Sur. 307 p.
2. ANDRADE, F.; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. 1ª Edición. Buenos Aires. Argentina. Editorial La Barrosa. 292 p.
3. ARBELETCHE FAVAT, P.R., RIVERO DUBOSC, E. 1978. Evaluación económica del cultivo de maíz bajo condiciones de riesgo climático. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.247 p.
4. BARLOW, E.W.R.; BOERSMA, L. 1976. Interaction between leaf elongation, photosynthesis, and carbohydrate levels of water-stressed corn seedlings. Agronomy Journal 68:923-926.
5. BARNES, D.L.; WOOLEY, D.G. 1969. The effect of moisture stress at different stages of plant growth. I. Comparison of a single-eared and a two-eared corn hybrid. Agronomy Journal 61:788-790.
6. BASSETI, P.; WESTGATE, M.E. 1993a. Emergence, Elongation, and Senescence of Maize Silks. Crop Science, 33:271-275.
7. ____, ____; _____. 1993b. Senescence and Receptivity of Maize Silks. Crop Science, 33:275-278.
8. _____; _____. 1993c. Water Deficit Affects Receptivity of Maize Silks. Crop Science, 33:279-282.
9. BERGER, Joseph. 1962. Maize production and the manuring of maize. Suiza. Conzett & Huber.315 p.
10. BOYER, J. S. 1970. Differing sesitivity of photosyntesis to low leaf water potentials in corn and soybean. Plant Physiology 46:236-239.
11. CAPURRO ALVAREZ, E. 1973. Efecto de dos regímenes hídricos en tres etapas durante el ciclo del maíz. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 77 p.
12. CARLSON, C.W.; ALESSI, J.; MICKELSON, R.H. 1959. Evapotranspiration and yield of corn as influenced by moisture level, nitrogen fertilization, and plant density. Soil Science Society Proceedings, 23:242-245.
13. CIRULLO, A.; MONESTIER, J.B. 1988.Respuesta de híbridos de maíz de ciclos contrastantes al déficit de agua en floración e inicio de llenado de grano. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 92 p.
14. CLAASEN, M.M.; SHAW, R.H. 1970. Water deficits effects on corn. I. Vegetative components. Agronomy Journal, 62:649-651.

15. _____.; _____. 1970. Water deficits effects on corn. II. Grain components. Agronomy Journal, 62:652-655.
16. COHEN, Y.; HUCK, M.G.; HESKETH, J.D.; FREDERICK, J.R. 1990. Sap flow in the stem of water stressed soybean and maize plants. Irrigation Science 11:45-50.
17. COLVILLE, W.L.; DREIER, A.; MCGILL, D.P.; GRABOUSKI, P.; EHLERS, P. 1964. Influence of plant population, Hybrid, and "productivity level" on irrigated corn production, Agron. J. 56:332-335.
18. _____.; McGILL, D.P. 1962. Effect of rate and method of planting on several plant characters and yield of irrigated corn. Agron.J. 54:235-38.
19. CREA. 1996. Maíz. Buenos Aires. Argentina. 138 p. (Cuaderno de actualización técnica N° 57).
20. DE LEON, J.L.; CAPURRO, E. 1977. Efecto de la población de plantas en el rendimiento de grano de maiz bajo riego. Revista AIA N° 9: 12-16.
21. DENMEAD, O.: SHAW, R.1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on development and yield of grain. Agr. Jour. 52:272-274.
22. DOORENBOS, J.; PRUIT, W.O. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Roma. 194 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje)
23. DOSS, B.D.; BENNETT, O.L.; ASHLEY, D.A. 1962. Evapotranspiration by irrigated corn. Agron. J. 54:497-98.
24. DOWNEY, L.A. 1971. Effect of gypsum and drought stress on maize (Zea mays L.). I. Growth, light absorption and yield. Agronomy Journal, 63:569-572.
25. DOWNEY, L.A. 1971. Effect of gypsum and drought stress on maize (Zea mays L.). II. Consumptive Use of Water. Agronomy Journal, 63:597-600.
26. DOWNEY, L. A. 1971. A visual irrigation guide for maize (Zea mays L.) Agronomy Journal, 63:887-888.
27. DOWSWEL, C.R.; PALIWAL, R.L.; CONTRELL, R.P. 1996. Maize in the Third World. U.S.A. Westview Press. 323 p.
28. ECK, H.V. 1984. Irrigated corn yield responses to nitrogen and water. Agronomy Journal 76:421-428.
29. ECK, H. V. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of irrigated corn. Agronomy Journal, 78:1035-1040.
30. FAO. 1974. Precipitación efectiva. Roma. 68 p. (Estudio FAO Riego y Avenamiento).
31. FAPOHUNDA, H.O.; HASSAIN, M.M. 1990. Water and fertilizer interrelations with irrigate maize. Agriculture water management. 18:49-61.
32. GARCÍA; ESTOL. 1978. Experimentación en riego en Uruguay. Serie: El agua en la agricultura del Uruguay. Boletín N°2. Julio, DUMA. MAP. 24p.
33. GARD, L.E.; MCKIBBEN, G. E.; JONES, B.A. 1961. Jr. Moisture loss and corn yields on a silt-pan soil as affected by three levels of water supply. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:154-157.

34. GIGENA VELLOSO, B.; MOREIRA DA COSTA, J.A. 1989. Respuesta de híbridos de maíz de ciclos contrastantes al déficit de agua. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 87 p.
35. 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.
36. HANKS, R.J.; ASHEROFT, G.L.; RASMUSEEN, V.P.; WILSON, G.D. 1978. Corn production as influenced by irrigation and salinity - Utah Studies. Irrigation Science 1:47-59.
37. HARDER, H.J.; CARLSON, R.E.; SHAW, R.H. 1982. Yield, yield components, and nutrient content of corn grain as influenced by post-silking moisture stress. Agronomy Journal 74:275-278..
38. HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. 1981. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. Crop Science 21:105-110.
39. HOFSTADTER, R. 1993. Producción de maíz, alfalfa y trébol blanco en condiciones de riego. Agua en la Agricultura. DUMA. MAP. N°1. 2° edición. pp 7-13.
40. HOWE, O.W.; RHOADES, H.F. 1955. Irrigation practice for corn production in relation to stage of plant development, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19:94-98.
41. INTA. Revista de tecnología agropecuaria. Volumen II N°5. Mayo-Agosto 1997. Divulgación técnica del INTA Pergamino. Pag. 27-29.
42. JAMA, A.O.; OTTMAN, M.J. 1993. Timing of first irrigation in corn and water stress conditioning. Agronomy Journal 85:1159-1164.
43. JURGENS, S.K.; JOHNSON, R.R.; BOYER, J.S. 1978. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. Agronomy Journal 70:678-682.
44. KARLEM, D.L.; CAMP, C.R. 1985. Row spacing, plant population and water management effect on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agronomy Journal 77:393-398.
45. KHRISTOPH, I. 1995. Yield response to soil moisture level changes during individual stages of maize development. Pochvoznanie, Agrokhimiya y Ekologiya 30:74-75.
46. LLANOS, M. 1984. El Maíz. Madrid. Mundi-Prensa. España. pp. 177-192.
47. LORENS, G.F.; BENNETT, J.M.; LOGGALE, L.B. 1987. Differences in drougth resistance between two corn hybrids. I. Water relations and root length density. Agronomy Journal, 79:802-807.
48. LORENS, G.F.; BENNETT, J.M.; LOGGALE, L.B. 1987. Differences in drougth resistance between two corn hybrids II. Component analysis and growth rates. Agronomy Journal, 79:808-813.
49. MARANVILLE, J.W.; PAULSEN, G.M. 1970. Alteration of carbohydrate composition of corn (Zea mays L.) seddlings during moisture stress. Agronomy Journal 62:605-607.

50. MATURANO, M.; GUEVARA, E.; MEIRA, S.; COCA, G. 1997. Criterios de irrigación en el cultivo de maíz. Eficiencia en el uso del agua. Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria. Pergamino. 9 p.
51. MC PHERSON, H.C.; BOYER, J.S. 1977. Regulation of grain yield by photosynthesis in maize subjected to a water deficit. Agronomy Journal 69:714-718.
52. NAGY, J. 1997. The effect of fertilization on the yield of maize (Zea mays L.) with and without irrigation. Cereal Research Communications 25:69-76.
53. NeSMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. 1992a. Short and long term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. Agronomy Journal, 84:107-113.
54. OUATTAR, S.; JONES, R.J.; CROOKSTON, R.K.; KAJEIOU, M. 1987. Effect of drougth on water relations of developing maize kernels. Crop Science, 27:730-735.
55. PIERRE, W.H.; ALDRICH, S.A.; MARTIN, W.P. 1966. Advances in corn production: Principles and Practices. IOWA State University Press, Ames, Iowa.
56. PORRO, I.; CASSEL, D.K. 1986. Response of corn to tillage and delayed irrigation. Agronomy Journal, 78:688-693.
57. REICOSKY, D.C.; CAMPBELL, R.B.; DOTY, C.W. 1975. Diurnal fluctuations of leaf - water potential of corn as influenced by soil matrie potential and microclimate. Agronomy Journal 67:380-385.
58. RITCHIE, J.T. 1973. Influence of soil water status and meteorological conditions on evaporation from a corn canopy. Agronomy Journal 65:893-897.
59. ROBINS, J.S.; DOMINGO, C.E. 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn, Agronomy Journal, 45:618-621.
60. RUSSELLE, M.P.; DEIBERT, E.J.; HAUCK, R.D.; STEVANOVICK, M.; OLSON, R.A. 1981. Effects of water and nitrogen management on yield and N15-Depleted fertilizer use efficiency of irrigated corn. Soil Science Society of America Journal, 45:553-558.
61. SCHOPER, J.B.; LAMBERT, R.J.; VASILAS, B.L. 1986. Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. Crop Science 26:1029-1033.
62. SCHUSLER, J.R.; WESTGATE, M.E. 1991a. Maize kernel set at lower potential: I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. Crop Science, 31:1189-1195.
63. _____.; _____. 1991b. Maize kernel set at lower potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Science, 31:1196-1203.
64. _____.; _____. 1994. Increasing assimilate reserves does not prevent kernel abortion at low water potential in maize. Crop Science, 34:1569-1576.

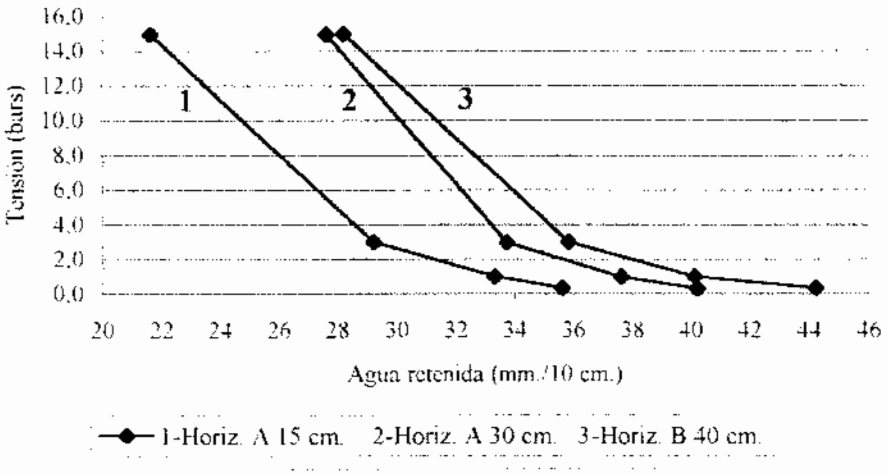
65. SHANAHAN J.F.; NIELSEN, D.C. 1987. Influence of growth retardants (Anti-Gibberellins) on corn vegetative growth, water use, and grain yield under different levels of water stress. Agronomy Journal, 79:103-109.
66. SINCLAIR, T.R.; BENNETT, J.M.; MUCHOW, R.C. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. Crop Science, 30:690-693.
67. SOPHER, C.D.; MCCRACKEN, R.J.; MASON, D.D. 1973. Relationships between drouth and corn yields on selected South Atlantic Coastal Plain Soils. Agronomy Journal 65:351-354.
68. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMÍA.1997. Complemento del práctico. Curso de riego y drenaje. Montevideo, Facultad de Agronomía. 47 p.
69. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS ALBERTO BOERGER. Estación Experimental del Norte. 1976.Cultivos de Verano en el Noroeste. Miscelánea N°15. pv.
70. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Descripción de las unidades de suelos. V.3; pp.341-344; apéndice 2, pp. 212-213.
71. VEARSAN, V.; PHILLIPS, R. 1978. Effects of soil water stress on growth and nutrient accumulation in corn. Agronomy Journal 70:246-249.
72. WAGGER, M.G.; CASSEL, D.K. 1993. Corn yield and water-use efficiency as affected by tillage and irrigation. Soil Science Society of America Journal 57:229-234.
73. WENDT C.W.; ONKEN, A.B.; WILKE, O.C.; HARGROVE, R.; BAUSEH, W; BARNES, L. 1977. Effects of irrigation sistem on the water requirements of sweet corn. Soil Science Society of America Journal. 41:785-788.
74. WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. 1985. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. Crop Science, 25:762-769.
75. YAO, A.Y.M.; SHAW, R.H. 1964. The effect of plant population and planting pattern of corn on net radiation, Agron. J. 56:165-169.

10) ANEXO

Anexo 10.1. Cuadro de retención de agua en mm./10cm. a diferentes tensiones.

Bloque I	Horiz	%H.V. 0,33 bar	% H.V. 1bar	% H.V. 3bar	% H.V.15bar	Agua útil(mm/10 cm.)
15 cm.	A	33,44	30,61	26,56	20,11	13,33
28-30 cm.	A	53,23	44,00	39,01	28,95	24,27
40 cm.	B	40,24	37,64	33,70	27,61	12,63
Bloque II						
15cm.	A	38,51	36,31	32,06	24,53	13,98
28-30 cm.	A	41,55	39,33	35,30	29,70	11,85
Bloque III						
15 cm.	A	34,30	32,24	28,20	20,00	14,30
28-30 cm.	A	39,68	37,62	33,63	26,11	13,56

Anexo 10.2. Gráfica de retención de agua en mm./10cm.



Anexo 10.3. Contenido de agua en el horizonte superficial en mm./10cm. en diferentes momentos de muestreo.

Dias post-siembra	% H Volumen	% Agua -15 bars	%H. Util (mm./10cm.)
47	23,42	21,64	1,78
64	21,78	21,64	0,14
85	31,53	21,64	9,89
98	31,05	21,64	9,41
106	26,13	21,64	4,49

Anexo 10.4. Condiciones climáticas del mes de Octubre.

Fecha	Precipitación (mm.)	Tanque "A" (mm.)	Temp. Max. (°C)	Temp.Min. (°C)	Temp. Media (°C)	Heliofanía (Horas)
1	7,8	2,6	17,6	14,0	16,1	0,0
2		2,0	21,0	10,4	14,7	7,5
3	1,3	4,8	23,2	12,4	16,3	7,3
4	14,5	4,1	21,2	14,0	17,1	0,7
5		5,1	20,0	11,2	15,2	11,2
6		7,6	20,4	7,0	14,1	14,4
7		5,4	24,0	7,7	15,5	11,3
8		6,7	25,2	8,9	16,1	9,1
9		5,6	29,7	16,0	20,7	8,2
10	26,5	3,9	30,0	16,0	22,3	8,1
11		9,6	29,2	14,8	21,4	10,2
12	26,0	8,1	23,4	17,0	20,1	4,1
13	2,5	7,8	24,4	18,2	21,1	6,5
14	14,0	6,4	26,8	18,0	20,6	2,0
15		1,9	23,0	15,2	20,1	10,3
16		8,9	17,2	10,0	14,1	5,6
17		3,0	19,0	5,8	12,3	10,3
18		5,0	23,0	8,0	14,5	11,5
19		4,1	24,2	9,8	16,7	11,5
20		6,9	25,0	12,5	18,0	10,4
21		6,7	28,1	14,0	20,7	11,5
22	Trazas	7,1	29,3	14,0	21,7	10,5
23	0,2	14,5	25,0	18,1	20,9	0,0
24		2,1	28,0	14,7	15,5	10,2
25		7,0	29,6	15,2	17,1	11,3
26		6,9	30,0	16,0	22,1	8,8
27	24,7	5,7	30,0	18,0	23,9	7,9
28	Trazas	12,1	21,8	17,2	19,3	0,3
29		16,9	20,6	12,9	18,3	9,5
30	0,3	8,5	22,0	8,6	15,8	10,9
31		8,2	14,8	11,7	13,3	0,3
MEDIA			**23,7**	**13,1**	**17,9**	
SUMA	**117,9**	**205,2**				**241,4**

Anexo 10.5. Condiciones climáticas del mes de Noviembre.

Fecha	Precipitación (mm.)	Tanque "A" (mm.)	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Media (°C)	Heliofanía (Horas)
1	1,2	0,7	22,1	9,4	15,1	6,8
2	3,0	3,8	21,0	18,7	17,0	2,5
3	22,0	1,3	23,0	14,0	18,0	1,5

4		4,7	21,8	15,0	18,4	1,7
5		3,7	25,2	17,0	20,0	0,8
6	2,6	1,8	25,0	19,3	21,7	3,3
7	0,2	4,3	30,0	13,7	21,3	12,1
8		10,0	34,0	19,0	24,4	9,5
9	11,0	10,7	26,2	18,7	24,2	3,0
10	2,3	3,9	29,4	20,0	22,8	6,4
11	Trazas	5,3	29,0	17,5	23,4	7,5
12	15,5	10,3	21,8	15,0	20,0	0,1
13	13,6	4,3	22,0	14,0	18,4	12,2
14		9,8	28,4	11,4	19,5	12,4
15		9,4	30,0	13,0	21,9	12,6
16		8,1	29,6	15,0	23,1	10,3
17		10,4	23,4	11,0	18,6	11,6
18		8,9	24,4	11,0	18,2	12,6
19		8,5	28,0	13,0	19,4	12,6
20		8,2	27,2	16,0	21,5	2,2
21	0,3	2,0	30,0	14,0	21,0	10,2
22		7,6	31,6	16,8	24,6	12,7
23		11,0	33,0	17,9	25,5	12,6
24		11,7	27,2	16,6	23,3	10,2
25		3,9	27,0	15,0	21,7	3,0
26	30,8	13,5	26,4	17,8	20,0	2,2
27	Trazas	2,5	25,2	18,8	22,5	10,7
28		8,0	30,0	15,0	21,0	9,4
29		8,8	31,0	17,3	22,5	4,7
30		6,7	27,4	15,7	21,9	7,1
MEDIA			**27,0**	**15,5**	**21,0**	
SUMA	**102,6**	**203,8**				**224,5**

Anexo 10.6. Condiciones climáticas del mes de Diciembre.

Fecha	Precipitación (mm.)	Tanque "A" (mm.)	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Media (°C)	Heliofanía (Horas)
1		6,8	28,0	13,8	22,0	12,7
2		10,6	30,3	14,1	22,2	11,8
3	1,1	10,8	26,0	13,0	21,3	12,5
4		9,5	27,8	11,9	14,2	12,4
5		13,7	31,0	13,5	22,1	12,8
6		8,5	34,1	17,2	24,7	12,8
7	0,3	11,5	29,3	18,0	23,8	8,8
8	4,6	7,5	33,1	14,3	23,0	13,0
9		10,5	32,0	19,2	25,4	2,2
10		5,3	27,5	20,7	24,7	2,0

11	Trazas	3,3	32,0	19,1	25,0	4,9
12		9,8	24,1	20,8	24,0	0,5
13	150,0	0,0	29,0	18,7	22,0	6,6
14	15,2	6,3	25,2	16,9	21,0	6,0
15	1,3	5,9	24,0	15,3	20,5	13,2
16		8,2	26,0	13,0	19,7	12,8
17	Trazas	9,3	24,0	14,0	18,5	5,3
18		7,0	31,1	14,9	21,3	12,0
19		8,8	24,1	20,0	22,9	0,3
20	49,6	9,3	29,3	19,0	22,9	7,0
21	32,0	7,0	19,0	18,4	20,4	0,0
22	38,6	3,6	23,8	17,0	19,3	1,2
23	6,7	4,8	21,8	15,0	18,6	2,2
24	Trazas	3,1	28,0	14,2	20,7	9,7
25	Trazas	4,8	32,5	19,6	25,6	10,8
26		7,6	37,0	26,2	29,8	5,0
27	24,3	15,1	30,0	20,2	23,3	8,4
28	Trazas	7,3	33,9	16,9	25,2	12,5
29		8,7	33,0	20,5	26,2	7,2
30	Trazas	5,8	32,0	19,0	25,3	6,8
31		10,6	27,2	15,9	22,6	6,0
MEDIA			**28,6**	**17,1**	**22,5**	
SUMA	**323,9**	**241.0**				**239,4**

Anexo10.7. Condiciones climáticas del mes de Enero.

Fecha	Precipitación (mm.)	Tanque "A" (mm.)	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Media (°C)	Heliofanía (Horas)
1	40,0	1,9	20,3	12,0	16,5	0,7
2	1,2	1,3	26,0	17,1	19,4	1,6
3	Trazas	2,8	31,3	19,7	23,9	6,6
4		6,3	31,9	21,0	25,9	8,1
5	17,1	9,8	32,0	22,5	25,0	2,5
6	92,4	0,0	26,0	20,5	22,8	2,1
7	8,6	6,8	24,0	10,7	18,0	13,5
8		9,6	26,0	12,0	19,5	13,3
9		7,1	28,1	14,0	21,0	12,9
10		7,4	32,0	18,2	24,4	8,6
11		6,1	32,0	20,6	25,7	11,0
12		8,6	31,0	18,5	21,2	12,5
13		9,3	31,4	17,0	23,7	12,1
14	31,6	5,9	27,1	18,6	22,9	9,2
15	Trazas	5,1	28,2	17,1	21,8	8,1
16		7,4	28,8	16,1	22,2	12,0

17		7,3	29,4	18,4	23,6	10,2
18		7,9	27,5	13,0	20,8	12,6
19		7,5	29,7	15,4	22,8	12,5
20		9,9	35,6	18,4	25,4	12,7
21		10,3	32,0	24,0	27,4	7,4
22	23,9	8,7	24,4	19,0	21,8	1,9
23	Trazas	6,0	29,0	12,9	20,7	12,2
24		7,9	30,0	19,5	25,3	10,4
25		9,5	31,7	16,2	24,1	12,4
26		7,9	32,5	21,0	26,6	7,4
27	2,4	6,8	24,4	21,2	22,7	0,0
28	65,4	7,6	18,2	24,4	20,9	7,3
29		9,0	20,0	13,5	18,0	0,0
30	2,4	1,0	28,0	15,0	20,1	10,3
31		6,3	30,8	16,0	23,1	12,1
MEDIA			**28,4**	**17,5**	**22,5**	
SUMA	**285,5**	**209,0**				**264,2**

Anexo 10.8. Condiciones climáticas del mes de Febrero.

Fecha	Precipitación (mm.)	Tanque "A" (mm.)	Temp. Max. (°C)	Temp. Min. (°C)	Temp. Media (°C)	Heliofanía (Horas)
1		6,5	32,2	18,2	25,8	12,2
2		9,0	29,7	18,0	23,4	7,5
3	3,5	7,7	24,0	19,0	22,1	0,1
4	42,9	0,0	24,6	18,9	20,8	0,5
5	Trazas	2,4	29,6	19,0	22,7	6,2
6	Trazas	6,9	28,6	21,2	22,3	2,5
7	6,9	1,0	27,0	18,0	22,4	9,6
8		8,5	27,8	13,8	20,4	8,4
9	13,1	0,0	24,5	18,0	21,2	1,7
10	32,6	3,8	35,1	15,1	20,2	11,7
11		8,4	22,3	12,0	17,9	11,6
12		6,6	24,8	10,8	17,9	11,6
13		8,5	26,4	12,1	18,7	11,7
14		6,0	30,4	16,3	22,2	12,0
15		7,1	30,0	18,2	23,7	6,7
16		5,7	30,6	18,8	24,6	12,0
17		8,5	31,2	19,6	24,7	8,5
18	Trazas	8,5	27,5	21,3	24,2	0,2
19	Trazas	4,1	27,4	20,5	24,2	7,3
20		4,7	26,1	17,8	21,8	0,9
21	Trazas	4,6	27,4	16,8	21,3	11,8
22	Trazas	8,5	24,9	17,4	20,2	0,6

23	Trazas	4,9	21,4	17,2	19,3	0,5
24	2,1	0,6	29,9	17,4	21,1	7,1
25	Trazas	6,0	30,0	17,0	23,3	9,3
26		5,0	31,6	16,8	24,9	11,5
27		5,0	30,2	18,0	24,2	6,9
28		5,6	28,8	14,2	22,2	11,1
MEDIA			**27,6**	**17,2**	**22,0**	
SUMA	**101,1**	**154,1**				**201,7**

Anexo 10.9. Serie histórica de Precipitaciones (mm.)

AÑO	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	TOTAL OCT-FEB
1961-1962	143,4	83,2	69,5	41,0	83,8	420,9
62-63	24	45,9	74,2	141,2	80,6	365,9
63-64	136,1	183,0	58,0	30,6	116,4	524,1
64-65	42,4	52,7	51,1	39,9	7,0	193,1
65-66	58,1	115,9	316,1	53,5	103,2	646,8
66-67	102	79,5	319,7	117,2	10,5	628,9
67-68	193,2	72,4	5,5	83,3	94,7	449,1
68-69	246	117,2	202,3	102,5	178,2	846,2
69-70	73,4	121,6	50,6	109,9	25,0	380,5
70-71	216,7	30,4	218,5	321	162,3	948,9
71-72	1,5	42,6	191,6	29,7	39,8	305,2
72-73	98,0	100,7	55,4	177,3	194,6	626,0
73-74	193,3	24,6	94,1	153,7	89,4	555,1
74-75	28,9	28,6	143,0	34,4	101,3	336,2
75-76	23,4	100,6	64,1	129,4	75,3	392,8
76-77	168,1	183,4	175,1	65,0	314,9	906,5
77-78	186,3	139,3	75,9	318,8	193,2	913,5
78-79	200,3	210,0	60,1	5,2	103,2	578,8
79-80	246,2	193,1	191,0	23,1	108,1	761,5
80-81	101,8	134,7	79,3	219,6	109,6	645,0
81-82	19,2	62,2	98,4	14,3	165,2	359,3
82-83	70,3	143	37,8	76,0	164,4	491,5
83-84	86,1	133,6	65,6	124,6	505,6	915,5
84-85	149,6	84,4	27,8	51,4	57,6	370,8
85-86	120,2	62,8	104,0	129,3	19,9	436,2
86-87	170,1	340,6	23,2	72,9	109,6	716,4
87-88	118,1	242,7	155,1	150,3	248,6	914,8
88-89	52,7	48,4	125,6	15,5	16,8	259,0
89-90	85,6	224,4	104,8	61,1	360,7	836,6
90-91	304,9	139,7	227	140,8	14,0	826,4
91-92	82,1	67,3	179,5	103,9	81,0	513,8

92-93	109,2	110,6	123,4	161,7	88,1	593,0
93-94	249,1	148,4	138,6	95,7	75,3	707,1
94-95	200,6	60,3	104,5	126,1	38,6	530,1
95-96	139,7	109,0	12,2	99,2	121,8	481,9
96-97	43,9	125,3	182,6	112,2	124,5	588,5
97-98	118,1	101,4	323,9	285,5	101,1	930,0
PROM. HIST.	**124,4**	**115,2**	**122,4**	**108,6**	**121,2**	**591,8**

Anexo 10.10. Probabilidad de ocurrencia de registros de Precipitaciones. (mm.)

Orden	Probabilidad	OCT-FEB. (ORD)	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.
1	0,026	948,9	304,9	340,6	**323,9**	321,0	505,6
2	0,053	**930,0**	249,1	242,7	319,7	318,8	360,7
3	0,079	915,5	246,2	224,4	316,1	**285,5**	314,9
4	0,105	914,8	246,0	210,0	227,0	219,6	248,6
5	0,132	913,5	216,7	193,1	218,5	177,3	194,6
6	0,158	906,5	200,6	183,4	202,3	161,7	193,2
7	0,184	846,2	200,3	183,0	191,6	153,7	178,2
8	0,211	836,6	193,3	148,4	191,0	150,3	165,2
9	0,237	826,4	193,2	143,0	182,6	141,2	164,4
10	0,263	761,5	186,3	139,7	179,5	140,8	162,3
11	0,289	716,4	170,1	139,3	175,1	129,4	124,5
12	0,316	707,1	168,1	134,7	155,1	129,3	121,8
13	0,342	646,8	149,6	133,6	143,0	126,1	116,4
14	0,368	645,0	143,4	125,3	138,6	124,6	109,6
15	0,395	628,9	139,7	121,6	125,6	117,2	109,6
16	0,421	626	136,1	117,2	123,4	112,2	108,1
17	0,447	593	120,2	115,9	104,8	109,9	103,2
18	0,474	588,5	**118,1**	110,6	104,5	103,9	103,2
19	0,500	578,8	118,1	109,0	104,0	102,5	101,3
20	0,526	555,1	109,2	**101,4**	98,4	99,2	**101,1**
21	0,553	530,1	102,0	100,7	94,1	95,7	94,7
22	0,579	524,1	101,8	100,6	79,3	83,3	89,4
23	0,605	513,8	98,0	84,4	75,9	76,0	88,1
24	0,632	491,5	86,1	83,2	74,2	72,9	83,8
25	0,658	481,9	85,6	79,5	69,5	65,0	81,0
26	0,684	449,1	82,1	72,4	65,6	61,1	80,6
27	0,711	436,2	73,4	67,3	64,1	53,5	75,3
28	0,737	420,9	70,3	62,8	60,1	51,4	75,3
29	0,763	392,8	58,1	62,2	58,0	41,0	57,6
30	0,789	380,5	52,7	60,3	55,4	39,9	39,8
31	0,816	370,8	43,9	52,7	51,1	34,4	38,6
32	0,842	365,9	42,4	48,4	50,6	30,6	25,0

33	0,868	359,3	28,9	45,9	37,8	29,7	19,9
34	0,895	336,2	24,0	42,6	27,8	23,1	16,8
35	0,921	305,2	23,4	30,4	23,2	15,5	14,0
36	0,947	259	19,2	28,6	12,2	14,3	10,5
37	0,974	193,1	1,5	24,6	5,5	5,2	7,0

Anexo 10.11. Serie histórica de Temperaturas Medias. (° C)

AÑO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	PROM. PER.
1951-1952	16,5	20,5	23,1	27,1	25,8	22,6
52-53	17,1	19,9	23,7	25,6	26,4	22,5
53-54	16,1	21,0	23,9	25,1	25,8	22,4
54-55	16,8	21,6	23,8	26,9	23,7	22,6
55-56	15,1	23,6	24,4	23,5	22,2	21,8
56-57	17,5	20,8	23,2	27,1	22,6	22,2
57-58	18,0	19,7	23,5	25,2	25,7	22,4
58-59	18,8	20,4	22,3	24,1	24,4	22,0
59-60	18,4	20,3	23,2	27,0	27,4	23,3
60-61	18,5	20,5	24,0	24,1	23,2	22,1
61-62	19,7	21,8	23,5	23,7	23,5	22,4
62-63	16,9	22,6	24,6	23,9	23,9	22,4
63-64	17,3	19,3	23,5	25,5	24,2	22,0
64-65	15,5	18,1	22,3	26,0	26,5	21,7
65-66	16,2	20,2	20,8	23,5	21,0	20,3
66-67	15,9	20,4	20,9	23,2	22,9	20,7
67-68	18,5	20,8	25,8	25,0	24,0	22,8
68-69	17,6	22,3	22,9	24,0	22,8	21,9
69-70	16,5	19,9	23,5	24,4	25,5	22,0
70-71	16,4	18,8	21,9	23,3	21,4	20,4
71-72	18,2	22,2	24,5	25,3	24,8	23,0
72-73	16,3	19,1	23,1	23,7	22,7	21,0
73-74	17,5	18,7	22,8	24,9	22,2	21,2
74-75	16,9	20,3	22,3	24,6	24,0	21,6
75-76	16,8	19,7	24,8	24,8	23,9	22,0
76-77	17,3	19,9	22,4	25,1	23,5	21,6
77-78	19,0	20,3	23,7	23,6	22,3	21,8
78-79	18,4	20,0	23,4	26,1	24,9	22,6
79-80	17,9	18,4	22,2	25,3	23,9	21,5
80-81	17,5	19,8	23,5	23,7	23,6	21,6
81-82	17,0	21,1	23,5	25,2	22,5	21,9
82-83	16,9	19,6	23,0	26,6	23,4	21,9
83-84	19,0	20,7	25,1	25,7	23,8	22,9
84-85	18,4	19,8	21,0	25,3	24,7	21,8
85-86	17,7	22,6	23,0	25,1	24,5	22,6

86-87	17,6	20,2	28,0	25,3	24,7	23,2
87-88	17,9	21,2	21,6	24,1	23,1	21,6
88-89	16,6	21,2	24,8	27,3	26,6	23,3
89-90	17,4	20,7	25,3	26,6	23,6	22,7
90-91	19,6	21,8	21,5	23,2	23,3	21,9
91-92	17,1	19,8	23,6	24,2	24,0	21,7
92-93	17,8	19,1	23,1	24,9	22,6	21,5
93-94	18,7	19,9	22,2	23,6	22,9	21,5
94-95	17,5	20,9	25,0	24,8	22,5	22,1
95-96	16,8	21,0	25,0	24,9	24,1	22,4
96-97	19,0	22,0	23,9	26,4	23,3	22,9
97-98	17,9	21,0	22,5	22,5	22,0	21,2
PROM.HIST.	**17,5**	**20,5**	**23,4**	**24,9**	**23,8**	**22,0**

Anexo 10.12. Probabilidad de ocurrencia de registros de Temperaturas Medias.(°C)

Orden	Probabilidad	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	Prom. Período (Ordenado)
1	0,021	19,7	23,6	28,0	27,3	27,4	23,3
2	0,042	19,6	22,6	25,8	27,1	26,6	23,3
3	0,063	19,0	22,6	25,3	27,1	26,5	23,2
4	0,083	19,0	22,3	25,1	27,0	26,4	23,0
5	0,104	19,0	22,2	25,0	26,9	25,8	22,9
6	0,125	18,8	22,0	25,0	26,6	25,8	22,9
7	0,146	18,7	21,8	24,8	26,6	25,7	22,8
8	0,167	18,5	21,8	24,8	26,4	25,5	22,7
9	0,188	18,5	21,6	24,6	26,1	24,9	22,6
10	0,208	18,4	21,2	24,5	26,0	24,8	22,6
11	0,229	18,4	21,2	24,4	25,7	24,7	22,6
12	0,250	18,4	21,1	24,0	25,6	24,7	22,6
13	0,271	18,2	21,0	23,9	25,5	24,5	22,5
14	0,292	18,0	**21,0**	23,9	25,3	24,4	22,4
15	0,313	17,9	21,0	23,8	25,3	24,2	22,4
16	0,333	**17,9**	20,9	23,7	25,3	24,1	22,4
17	0,354	17,9	20,8	23,7	25,3	24,0	22,4
18	0,375	17,8	20,8	23,6	25,2	24,0	22,4
19	0,396	17,7	20,7	23,5	25,2	24,0	22,2
20	0,417	17,6	20,7	23,5	25,1	23,9	22,1
21	0,438	17,6	20,5	23,5	25,1	23,9	22,1
22	0,458	17,5	20,5	23,5	25,1	23,9	22,0
23	0,479	17,5	20,4	23,5	25,0	23,8	22,0
24	0,500	17,5	20,4	23,5	24,9	23,7	22,0
25	0,521	17,5	20,3	23,4	24,9	23,6	22,0
26	0,542	17,4	20,3	23,2	24,9	23,6	21,9
27	0,563	17,3	20,3	23,2	24,8	23,5	21,9

28	0,583	17,3	20,2	23,1	24,8	23,5	21,9
29	0,604	17,1	20,2	23,1	24,6	23,4	21,9
30	0,625	17,1	20,0	23,1	24,4	23,3	21,8
31	0,646	17,0	19,9	23,0	24,2	23,3	21,8
32	0,667	16,9	19,9	23,0	24,1	23,2	21,8
33	0,688	16,9	19,9	22,9	24,1	23,1	21,7
34	0,708	16,9	19,9	22,8	24,1	22,9	21,7
35	0,729	16,8	19,8	**22,5**	24,0	22,9	21,6
36	0,750	16,8	19,8	22,4	23,9	22,8	21,6
37	0,771	16,8	19,8	22,3	23,7	22,7	21,6
38	0,792	16,6	19,7	22,3	23,7	22,6	21,6
39	0,813	16,5	19,7	22,3	23,7	22,6	21,5
40	0,833	16,5	19,6	22,2	23,6	22,5	21,5
41	0,854	16,4	19,3	22,2	23,6	22,5	21,5
42	0,875	16,3	19,1	21,9	23,5	22,3	21,2
43	0,896	16,2	19,1	21,6	23,5	22,2	**21,2**
44	0,917	16,1	18,8	21,5	23,3	22,2	21,0
45	0,938	15,9	18,7	21,0	23,2	**22,0**	20,7
46	0,958	15,5	18,4	20,9	23,2	21,4	20,4
47	0,979	15,1	18,1	20,8	**22,5**	21,0	20,3

Anexo 10.13. Serie histórica de la Heliofanía. (horas)

AÑO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	SUMA
79-80	227,8	240,8	273,8	340,1	233,2	1315,7
80-81	196,8	246,1	313,8	270,4	204,3	1231,4
81-82	261,6	262,0	310,4	325,4	221,2	1380,6
82-83	274,8	263,7	261,4	227,3	183,3	1210,5
83-84	262,8	223,0	297,7	254,0	155,4	1192,9
84-85	250,9	253,2	294,8	274,3	252,1	1325,3
85-86	212,5	259,0	289,2	304,4	247,3	1312,4
86-87	211,7	242,7	290,6	272,9	269,8	1287,7
87-88	259,3	241,1	259,3	275,9	259,1	1294,7
88-89	272,2	312,8	324,1	310,9	263,3	1483,3
89-90	250,7	270,7	292,9	310,3	160,1	1284,7
90-91	231,2	270,4	253,3	287,4	282,3	1324,6
91-92	201,8	260,0	226,0	285,5	268,1	1241,4
92-93	279,1	284,4	270,6	283,5	215,3	1332,9
93-94	180,8	212,9	281,3	315,3	238,0	1228,3
94-95	178,9	270,2	285,4	281,4	203,1	1219,0
95-96	247,4	257,9	306,6	256,1	229,7	1297,7
96-97	218,0	299,8	274,2	320,8	222,0	1334,8
97-98	241,4	224,5	239,4	264,2	201,7	1171,2
PROM.HIST	**234,7**	**257,6**	**281,3**	**287,4**	**226,8**	**1287,8**

Anexo 10.14. Probabilidades de ocurrencia de registros de Heliofanía. (horas)

Orden	Probabilidad	Suma Periodo Ordenada	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
1	0,05	1483,3	279,1	312,8	324,1	340,1	282,3
2	0,10	1380,6	274,8	299,8	313,8	325,4	269,8
3	0,15	1334,8	272,2	284,4	310,4	320,8	268,1
4	0,20	1332,9	262,8	270,7	306,6	315,3	263,3
5	0,25	1325,3	261,6	270,4	297,7	310,9	259,1
6	0,30	1324,6	259,3	270,2	294,8	310,3	252,1
7	0,35	1315,7	250,9	263,7	292,9	304,4	247,3
8	0,40	1312,4	250,7	262,0	290,6	287,4	238,0
9	0,45	1297,7	247,4	260,0	289,2	285,5	233,2
10	0,50	1294,7	**241,4**	259,0	285,4	283,5	229,7
11	0,55	1287,7	231,2	257,9	281,3	281,4	222,0
12	0,60	1284,7	227,8	253,2	274,2	275,9	221,2
13	0,65	1241,4	218,0	246,1	273,8	274,3	215,3
14	0,70	1231,4	212,5	242,7	270,6	272,9	204,3
15	0,75	1228,3	211,7	241,1	261,4	270,4	203,1
16	0,80	1219,0	201,8	240,8	259,3	**264,2**	**201,7**
17	0,85	1210,5	196,8	**224,5**	253,3	256,1	183,3
18	0,90	1192,9	180,8	223,0	**239,4**	254,0	160,1
19	0,95	**1171,2**	178,9	212,9	226,0	227,3	155,4

Anexo 10.15. Serie Histórica de Evaporación del Tanque "A". (mm.)

AÑO	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	SUMA
1983-84	180,1	182,2	300,6	254,2	178,9	1096,0
84-85	174,8	191,5	275,9	298,5	242,9	1183,6
85-86	141,2	225,9	247,0	279,5	234,5	1128,1
86-87	181,3	186,3	243,3	288,3	245,2	1144,4
87-88	168,5	192,5	217,4	240,2	202,6	1021,2
88-89	200,3	268,6	292,3	337,3	250,1	1348,6
89-90	202,7	214,9	245,1	324,8	155,7	1143,2
90-91	175,0	208,8	210,5	208,1	211,3	1013,7
91-92	159,2	209,7	205,3	242,0	201,9	1018,1
92-93	160,0	203,5	270,2	233,5	161,9	1029,1
93-94	151,8	155,3	194,8	269,4	181,2	952,5
94-95	137,6	232,4	269,3	244,4	254,9	1138,6
95-96	165,4	190,1	296,0	281,7	233,2	1166,4
96-97	181,1	237,2	238,8	293,2	209,2	1159,5
97-98	205,2	203,8	241,0	209,0	154,1	1013,1
Prom. Histórico	**172,3**	**206,8**	**249,8**	**269,9**	**207,8**	**1103,7**

Anexo 10.16. Probabilidad de ocurrencia de registros de evaporación del Tanque "A". (mm.)

Orden	Probabilidad	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	SUMA (Ordenada)
1	0,063	**205,2**	268,6	300,6	337,3	254,9	1348,6
2	0,125	202,7	237,2	296,0	324,8	250,1	1183,6
3	0,188	200,3	232,4	292,3	298,5	245,2	1166,4
4	0,250	181,3	225,9	275,9	293,2	242,9	1159,5
5	0,313	181,1	214,9	270,2	288,3	234,5	1144,4
6	0,375	180,1	209,7	269,3	281,7	233,2	1143,2
7	0,438	175,0	208,8	247,0	279,5	211,3	1138,6
8	0,500	174,8	**203,8**	245,1	269,4	209,2	1128,1
9	0,563	168,5	203,5	243,3	254,2	202,6	1096,0
10	0,625	165,4	192,5	**241,0**	244,4	201,9	1029,1
11	0,688	160,0	191,5	238,8	242,0	181,2	1021,2
12	0,750	159,2	190,1	217,4	240,2	178,9	1018,1
13	0,813	151,8	186,3	210,5	233,5	161,9	1013,7
14	0,875	141,2	182,2	205,3	**209,0**	155,7	**1013,1**
15	0,938	137,6	155,3	194,8	208,1	**154,1**	952,5

Anexo 10.17. Coeficientes y supuestos utilizados para realizar el balance hídrico.

Coeficiente del Tanque "A" utilizados para la elaboración del balance hídrico.

Mes	Coeficiente Tanque "A"
Octubre	0.70
Noviembre	0.81
Diciembre	0.81
Enero	0.77
Febrero	0.76

Fuente: Complemento del práctico. Curso de riego y drenaje.1997

Coeficiente del Cultivo (Kc) utilizados para la elaboración del balance hídrico.

Días post-siembra	Coeficiente del cultivo (Kc)
1 – 41	0.40
42 – 78	0.78
79 – 115	1.13
116 – 142	0.88

Fuente: Complemento del práctico. Curso de riego y drenaje.1997

No se consideraron las lluvias menores a 10 mm ni los primeros 10 mm de cada lluvia. Cuando se presentaron dos lluvias seguidas se consideraron como una
Se tuvo en cuenta una profundidad de extracción de agua de 35 cm hasta el día 29 pos-siembra, del día 30 hasta el dia 59 la profundidad considerada fue 45 cm, y desde el día 60 hasta el final del ciclo la misma fue 55 cm.
Se recuerda que el balance hidrico sobrestimó los déficit hídrico, se lo presenta únicamente como forma de conocer las tendencias en la disponibilidad hídrica.

Anexo 10.18. Balance hídrico diario. Tratamiento secano.

Días	Estado fenológico	PP (mm.)	PP Efectiva (mm.)	ETC (mm.)	Agua útil (mm.)
1	Siembra	26,5	1,1	1,1	52 (CC=52)
2				2,7	52
3		26	5	2,3	49,3
4		2,5		2,2	52,0
5		14	3,9	1,8	49,9
6				0,5	52,0
7				2,5	51,4
8	Emergencia			0,8	48,9
9				1,4	48,1
10				1,1	46,7
11				1,9	45,6
12				1,9	43,6
13				2,0	41,7
14		0,2	0	4,1	39,8
15				0,6	35,7
16				2,0	35,1
17				1,9	33,2
18		24,7	14,7	1,6	31,2
19		0,1		3,4	44,3
20				4,7	40,9
21		0,3		2,4	36,2
22				2,3	33,8
23		1,2		0,2	31,5
24		3		1,2	31,3
25		22	12	0,4	30,1
26				1,5	41,6
27				1,2	40,1
28		2,6		0,6	38,9
29		0,2		1,4	38,3
30				3,2	49,5 (CC=64,6)
31		11	1	3,5	46,3
32		2,3		1,3	43,8
33				1,7	42,6

34		15,5	5,5	3,3	40,9
35		13,6	13,6	1,4	43,0
36				3,2	55,2
37				3,0	52,0
38				2,6	49,0
39				3,4	46,4
40	Vegetativo 4 hojas			2,9	43,0
41				2,8	40,1
42				5,2	37,4
43		0,3		1,3	32,2
44				4,8	30,9
45				6,9	26,1
46	Vegetativo 5 hojas			7,4	19,2
47				2,5	11,8
48		30,8	20,8	8,5	9,3
49		0,1		1,6	21,6
50				5,1	20,0
51				5,6	15,0
52				4,2	9,4
53				4,3	5,2
54				6,7	0,9
55		1,1		6,8	---
56				6,0	---
57				8,7	---
58				5,4	---
59		0,3		7,3	---
60		4,6		4,7	--- (CC=77,2)
61				6,6	---
62	Vegetativo 7 hojas			3,3	---
63				2,1	---
64				6,2	---
65		150	77,2	0,0	---
66		15,2	4	4,0	77,2
67		1,3		3,7	77,2
68				5,2	73,5
69	Prefloración	0,2		5,9	68,3
70				4,4	62,4
71				5,6	58,0
72		49,6	30,6	5,9	52,5
73		32	4,4	4,4	77,2
74		38,6	2,3	2,3	77,2
75		6,7	3,1	3,0	77,2
76				2,0	77,2

77				3,0	75,3
78				4,8	72,3
79		24,3	14,3	13,8	67,5
80				6,7	67,9
81	Floración			8,0	61,3
82				5,3	53,3
83				9,7	48,0
84		40	30	16,1	38,3
85		1,2		1,1	52,2
86				2,4	51,1
87				5,5	48,6
88		17,1	7,1	8,5	43,1
89		92,4	35,5	0,0	41,7
90		8,6	5,9	5,9	77,2
91				8,4	77,2
92				6,2	68,8
93				6,4	62,7
94				5,3	56,2
95	Grano lechoso			7,5	50,9
96				8,1	43,4
97		31,6	21,6	5,1	35,3
98		0,2		4,4	51,8
99				6,4	47,4
100				6,4	40,9
101				6,9	34,6
102				6,5	27,7
103				8,6	21,2
104				9,0	12,6
105		23,9	13,9	7,6	3,6
106		0,3		5,2	9,9
107				6,9	4,7
108				8,3	---
109				6,9	---
110		2,4		5,9	---
111		65,4	55,4	6,6	---
112				7,8	48,8
113		2,4		0,9	41,0
114				5,5	40,1
115				5,6	34,6
116				6,0	29,0
117		3,5		5,1	23,0
118		42,9	32,9	0,0	17,9
119				1,6	50,8

120				4,6	49,2
121		6,9		0,7	44,5
122				5,7	43,9
123		13,1	3,1	0,0	38,2
124		32,6	32,6	2,5	41,3
125				5,6	71,4
126				4,4	65,7
127				5,7	61,3
128				4,0	55,6
129				4,7	51,6
130				3,8	46,9
131				5,7	43,1
132				5,7	37,4
133				2,7	31,7
134				3,1	28,9
135				3,1	25,8
136				5,7	22,7
137				3,3	17,0
138		2,1		0,4	13,8
139				4,0	13,4
140				3,3	9,4
141				3,3	6,0
142				3,7	2,7
143				---	---
144				---	---
145				---	---
146				---	---
147	Cosecha				

Anexo 10.19. Balance hídrico diario. Tratamiento regado.

Días	Estado fenologico	PP (mm.)	PP Efectiva (mm.)	ETC (mm.)	Agua útil (mm.)
1	Siembra	26,5	1,1	1,1	52 (CC=52)
2				2,7	52
3		26	5	2,3	49,3
4		2,5		2,2	52,0
5		14	3,9	1,8	49,9
6				0,5	52,0
7				2,5	51,4
8	Emergencia			0,8	48,9
9				1,4	48,1
10				1,1	46,7
11				1,9	45,6

12				1,9	43,6
13				2,0	41,7
14		0,2		4,1	39,8
15				0,6	35,7
16				2,0	35,1
17				1,9	33,2
18		24,7	14,7	1,6	31,2
19		0,1		3,4	44,3
20				4,7	40,9
21		0,3		2,4	36,2
22				2,3	33,8
23		1,2		0,2	31,5
24		3		1,2	31,3
25		22	12	0,4	30,1
26				1,5	41,6
27				1,2	40,1
28		2,6		0,6	38,9
29		0,2		1,4	38,3
30				3,2	49,5 (CC=64,6)
31		11	1	3,5	46,3
32		2,3		1,3	43,8
33				1,7	42,6
34		15,5	5,5	3,3	40,9
35		13,6	13,6	1,4	43,0
36				3,2	55,2
37				3,0	52,0
38				2,6	49,0
39				3,4	46,4
40	Vegetativo 4 hojas			2,9	43,0
41				2,8	40,1
42				5,2	37,4
43		0,3		1,3	32,2
44				4,8	30,9
45				6,9	26,1
46	Vegetativo 5 hojas			7,4	19,2
47	**Riego**			2,5	11,8
48		30,8	8,5	8,5	64,6
49		0,1		1,6	64,6
50				5,1	63,0
51				5,6	57,9
52				4,2	52,4
53				4,3	48,1
54				6,7	43,8

55		1,1		6,8	37,2
56				6,0	30,3
57				8,7	24,3
58				5,4	15,7
59		0,3		7,3	10,3
60		4,6		4,7	3,1 (CC=77,2)
61	Vegetativo 7 hojas			6,6	---
62	**Riego**			3,3	---
63				2,1	77,2
64				6,2	75,1
65		150	8,3	0,0	68,9
66		15,2	4	4,0	77,2
67		1,3		3,7	77,2
68				5,2	73,5
69	Prefloración	0,2		5,9	68,3
70				4,4	62,5
71				5,6	58,0
72		49,6	30,6	5,9	52,5
73		32	4,4	4,4	77,2
74		38,6	2,3	2,3	77,2
75		6,7	3	3,0	77,2
76				2,0	77,2
77				3,0	75,2
78				4,8	72,2
79		24,3	14,3	13,8	67,4
80				6,7	67,9
81	Floración			8,0	61,2
82				5,3	53,2
83				9,7	47,9
84		40	30	16,1	38,2
85		1,2		1,1	52,1
86				2,4	51,0
87				5,5	48,5
88		17,1	7,1	8,5	43,1
89		92,4	35,6	0,0	41,6
90		8,6	5,9	5,9	77,2
91				8,4	77,2
92				6,2	68,9
93				6,4	62,7
94				5,3	56,2
95	Grano lechoso			7,5	50,9
96				8,1	43,5
97		31,6	21,6	5,1	35,4

98		0,2		4,4	51,8
99				6,4	47,4
100				6,4	41,0
101				6,9	34,6
102				6,5	27,7
103				8,6	21,2
104				9,0	12,6
105		23,9	13,9	7,6	3,6
106		0,3		5,2	10,0
107				6,9	4,7
108				8,3	---
109				6,9	---
110		2,4		5,9	---
111		65,4	55,4	6,6	---
112				7,8	48,8
113		2,4		0,9	41,0
114				5,5	40,1
115				5,6	34,6
116				6,0	29,0
117		3,5		5,1	23,0
118		42,9	32,9	0,0	17,9
119				1,6	50,8
120				4,6	49,2
121		6,9		0,7	44,5
122				5,7	43,9
123		13,1	3,1	0,0	38,2
124		32,6	32,6	2,5	41,3
125				5,6	71,4
126				4,4	65,7
127				5,7	61,3
128				4,0	55,6
129				4,7	51,6
130				3,8	46,9
131				5,7	43,1
132				5,7	37,4
133				2,7	31,7
134				3,1	28,9
135				3,1	25,8
136				5,7	22,7
137				3,3	17,0
138		2,1		0,4	13,8
139				4,0	13,4
140				3,3	9,4

141				3,3	6,0
142				3,7	2,7
143				---	---
144				---	---
145				---	---
146				---	---
147	Cosecha				

Anexo 10.20. MUESTREOS DE MATERIA SECA

Fecha: 19/11/97. Estado: V4

Bloque	Tratamiento	Peso (gr/m lineal)	Kg M.S/Há
I	Secano	108,1	1663,7
I	Regado	65,2	1003,6
II	Secano	90,2	1388,3
II	Regado	58,5	900,5
III	Secano	100,7	1549,3
III	Regado	111,9	1722,2
		Media Ensayo	1371,3

Medias	Kg M.S/Há		Medias	Kg M.S/Há
Secano	1533,8		Bloque I	1333,7
Regado	1208,8		Bloque II	1144,4
			Bloque III	1635,7

Fecha: 17/12/97. Estado: Prefloración

Bloque	Tratamiento	Peso (gr/m lineal)	Kg M.S/Há
I	Secano	586	9015,6
I	Regado	554	8523,3
II	Secano	404	6215,5
II	Regado	778	11969,5
III	Secano	587	9031,0
III	Regado	653	10046,4
		Media Ensayo	9133,6

Medias	Kg M.S/Há		Medias	Kg M.S/Há
Secano	8087,4		Bloque I	8769,5
Regado	10179,7		Bloque II	9092,5
			Bloque III	9538,7

Fecha: 29/12/97. Estado: Floración

Bloque	Tratamiento	Peso (gr/m lineal)	Kg M.S/Há
I	Secano	650	10000,3
I	Regado	810	12461,9
II	Secano	745	11461,8
II	Regado	762	11723,4
III	Secano	915	14077,3
III	Regado	922	14185,0
		Media Ensayo	12318,3

Medias	Kg M.S/Há		Medias	Kg M.S/Há
Secano	11846,5		Bloque I	11231,0
Regado	12790,0		Bloque II	11592,6
			Bloque III	14131,1

Fecha: 12/01/98. Estado: Grano lechoso

Bloque	Tratamiento	Peso (gr/m lineal)	Kg M.S/Há
I	Secano	1192	18338,9
I	Regado	890	13692,7
II	Secano	931	14323,4
II	Regado	929	14292,7
III	Secano	1183	18200,5
III	Regado	1544	23754,4
		Media Ensayo	17100,4

Medias	Kg M.S/Há		Medias	Kg M.S/Há
Secano	16954,3		Bloque I	16015,8
Regado	17246,6		Bloque II	14308,1
			Bloque III	20977,5

Fecha: 4/03/98. Estado: Cosecha.

Bloque	Tratamiento	Peso (gr/m lineal)	Kg M.S/Há
I	Secano	1220	18769,7
I	Secano	1150	17692,8
I	Regado	1486	22862,1
II	Secano	1093	16815,8
II	Secano	1108	17046,6
II	Regado	1378	21200,5
III	Secano	1370	21077,5
III	Secano	1290	19846,7
III	Regado	1457	22416,0
		Media Ensayo	19747,5

Medias	Kg M.S/Há		Medias	Kg M.S/Há
Secano	18541,5		Bloque I	19775,2
Regado	22159,5		Bloque II	18354,3
			Bloque III	21113,4

Anexo 10.21. Rendimiento en grano. 14% Humedad.

Bloque	Tratamiento	Rendimiento 14%H(Kg/Há)
I	Secano	10815,0
I	Secano	10516,8
I	Regado	13229,3
II	Secano	11294,3
II	Secano	10703,9
II	Regado	12966,3
III	Secano	13445,6
III	Secano	12071,8
III	Regado	14404,3
	Media ensayo	12160,8

Medias	Kg. Grano/há		Medias	Kg. Grano/há
Secano	11474,6		Bloque I	11520,4
Regado	13533,3		Bloque II	11654,8
			Bloque III	13307,3

Anexo 10.22. Altura de planta definitiva (m.)

Bloque I		Bloque II		Bloque III	
Secano	Regado	Secano	Regado	Secano	Regado
1,38	1,51	1,31	1,53	1,44	1,68
1,27	1,56	1,34	1,60	1,32	1,55
1,38	1,58	1,25	1,50	1,51	1,53
1,46	1,39	1,20	1,57	1,43	1,51
1,38	1,41	1,17	1,63	1,47	1,62
1,30	1,46	1,31	1,55	1,22	1,58
1,28	1,58	1,41	1,54	1,51	1,56
1,36	1,47	1,22	1,49	1,50	1,62
1,20	1,51	1,18	1,58	1,47	1,62
1,25	1,60	1,29	1,63	1,48	1,68
1,33	1,51	1,27	1,56	1,44	1,60

Medias	Altura (m.)		Medias	Altura (m.)
Secano	1,35		Bloque I	1,42
Regado	1,56		Bloque II	1,42
			Bloque III	1,52

Anexo 10.23. Componentes del Rendimiento.

Bloque	Tratamiento	N° plantas/m^2	N° pl. c/espiga/m^2	N° espigas/m^2	% de plantas c/espigas	N° de espigas/planta
I	Secano	10,3	10,3	10,8	100	1,05
I	Secano	9,2	8,7	8,7	94	1
I	Regado	12,3	12,3	12,8	100	1,04
II	Secano	9,7	9,7	10,3	100	1,05
II	Secano	9,7	9,7	10,3	100	1,05
II	Regado	9,7	9,7	10,3	100	1,05
III	Secano	7,2	7,2	7,2	100	1
III	Secano	11,8	10,3	11,3	87	1,1
III	Regado	8,7	8,7	8,7	100	1

Anexo 10.24. Características de la espiga.

Bloque	Tratamiento	N° hileras/espiga	N° granos/hileras	N° granos/espiga (est.)
I	Secano	16,0	25,5	441,2
I	Secano	18,0	29,5	534,0
I	Regado	16,2	27,4	470,8

Anexo 10.27. ANALISIS ESTADISTICO

Debido al modelo estadístico empleado, los errores tipo I y tipo III son iguales, por lo que se presentan solo los errores tipo I para simplificar la información.

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Clase Nivel Información

Clase	Niveles	Valores
BLOQUE	3	I II III
TRAT	2	R S

Numero de observaciones en registro de datos = 9

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Variable Dependiente: Nº plantas/3 metros.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	13.611111	4.537037	0.39	0.7649
Error	5	57.944444	11.588889		
Total corregido	8	71.555556			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NPLX3M Media
0.190217	17.70995	3.4042	19.222

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	10.888889	5.444444	0.47	0.6502
TRAT	1	2.722222	2.722222	0.23	0.6484

Variable Dependiente: Nº plantas con espiga.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	23.611111	7.870370	1.09	0.4322
Error	5	35.944444	7.188889		
Total corregido	8	59.555556			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NPLCESP Media
0.396455	14.27863	2.6812	18.778

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F

BLOQUE	2	16.888889	8.444444	1.17	0.3818
TRAT	1	6.722222	6.722222	0.94	0.3780

Variable Dependiente: Nº espiga/3 metros.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	23.111111	7.703704	0.65	0.6153
Error	5	59.111111	11.822222		
Total corregido	8	82.222222			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NESPX3M Media
0.281081	17.58245	3.4383	19.556

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	17.555556	8.777778	0.74	0.5220
TRAT	1	5.555556	5.555556	0.47	0.5235

Variable Dependiente: Porcentaje de plantas con espiga

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	48.277778	16.092593	0.69	0.5961
Error	5	116.611111	23.322222		
Total corregido	8	164.888889			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	%PL. CON ESPIGA Media
0.292790	4.933459	4.8293	97.889

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	28.222222	14.111111	0.61	0.5817
TRAT	1	20.055556	20.055556	0.86	0.3963

Variable Dependiente: Nº de espigas/planta.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	0.0009611	0.0003204	0.21	0.8885
Error	5	0.0077944	0.0015589		
Total corregido	8	0.0087556			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	nº esp./pl. Media
0.109772	3.804549	0.0395	1.0378

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	0.0006889	0.0003444	0.22	0.8092
TRAT	1	0.0002722	0.0002722	0.17	0.6934

Variable Dependiente: Nº hileras/espiga.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	3.5511111	1.1837037	0.59	0.6477
Error	5	10.0311111	2.0062222		
Total corregido	8	13.5822222			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NHILXESP Media
0.261453	8.261637	1.4164	17.144

Fuente de variacion	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	2.1622222	1.0811111	0.54	0.6139
TRAT	1	1.3888889	1.3888889	0.69	0.4433

Variable Dependiente: Nº granos/ hilera.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	46.296111	15.432037	1.00	0.4662
Error	5	77.446111	15.489222		
Total corregido	8	123.742222			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NGRXHIL Media
0.374134	14.12873	3.9356	27.856

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	44.962222	22.481111	1.45	0.3184
TRAT	1	1.333889	1.333889	0.09	0.7810

Variable Dependiente: Nº de granos/espiga.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	22702.203	7567.401	0.91	0.4997
Error	5	41678.893	8335.779		
Total corregido	8	64381.096			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	NGRXESPE Media
0.352622	18.19903	91.300	501.68

Fuente de variacion	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	20324.002	10162.001	1.22	0.3705
TRAT	1	2378.201	2378.201	0.29	0.6161

Variable Dependiente: Peso de 100 Granos.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	16.606514	5.535505	4.55	0.0682
Error	5	6.085782	1.217156		
Total corregido	8	22.692296			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	P100GM Media
0.731813	4.855371	1.1032	22.722

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	15.948327	7.974163	6.55	0.0401
TRAT	1	0.658187	0.658187	0.54	0.4951

Variable Dependiente: Nº de granos/m².

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	1710313.2	570104.4	8.45	0.0211
Error	5	337522.8	67504.6		
Total corregido	8	2047836.0			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	GRXM2 Media
0.835181	5.274746	259.82	4925.7

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	337488.7	168744.3	2.50	0.1768
TRAT	1	1372824.5	1372824.5	20.34	0.0063

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Nivel de TRAT	N	---- Nº plantas/ 3 metros --- Media	SD	---- Nº plantas con espiga --- Media	SD
R	3	20.0000000	3.60555128	20.0000000	3.60555128
S	6	18.8333333	2.92688686	18.1666667	2.31660671

Nivel de TRAT	N	----- Nº espiga/3 metros --- Media	SD	---- Porc. de plantas con espiga ---- Media	SD
R	3	20.6666667	4.04145188	100.0000000	0.00000000
S	6	19.0000000	2.96647939	96.8333333	5.38206899

Nivel de TRAT	N	--- Nº de espigas/planta --- Media	SD	------ Nº hileras/espiga ----- Media	SD
R	3	1.03000000	0.02645751	17.7000000	1.32287566
S	6	1.04166667	0.03763863	16.8666667	1.31858510

Nivel de TRAT	N	----- Nº granos/ hilera ---- Media	SD	----- Nº de granos/espiga --- Media	SD
R	3	28.4000000	2.64575131	524.666667	63.989478
S	6	27.5833333	4.65635766	490.183333	103.743519

Nivel de TRAT	N	----- Peso de 100 Granos --- Media	SD	------ Nº de granos/m .----- Media	SD
R	3	23.1046667	2.20753649	5478.00000	482.451034
S	6	22.5310000	1.56765264	4649.50000	204.691719

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Clase Nivel Información

Clase	Niveles	Valores
BLOQUE	3	I II III
TRAT	2	R S

Numero de observaciones en registro de datos = 9

Grupos	Obs	Variable Dependiente
1	9	IC KGCHXHA REND TOTMSXHA REND14
2	6	ALT MS1XHA MS2XHA MS3XHA MS4XHA PLX10M

NOTE: Las variables en cada grupo son consistentes con respecto a la presencia ausencia de valores faltantes.

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Variable Dependiente: Indice de Cosecha.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	0.0037111	0.0012370	3.13	0.1257
Error	5	0.0019778	0.0003956		
Total corregido	8	0.0056889			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	IC Media
0.652344	3.675507	0.0199	0.5411

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	0.0036222	0.0018111	4.58	0.0741
TRAT	1	0.0000889	0.0000889	0.22	0.6554

Variable Dependiente: Kg de chala/há.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	10712524	3570841	7.64	0.0258
Error	5	2337023	467405		
Total corregido	8	13049547			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	KGCHXHA Media
0.820912	7.530367	683.67	9078.8

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	4165174.0	2082587.0	4.46	0.0774
TRAT	1	6547350.1	6547350.1	14.01	0.0134

Variable Dependiente: Peso seco de granos (Kg./Há).

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	11094529	3698176	16.55	0.0050
Error	5	1116948	223390		
Total corregido	8	12211477			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	REND Media
0.908533	4.430714	472.64	10667

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	4571931.2	2285965.6	10.23	0.0171
TRAT	1	6522597.8	6522597.8	29.20	0.0029

Variable Dependiente: Kg.de M.S. total/há.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	37589498	12529833	14.89	0.0063
Error	5	4207774	841555		
Total corregido	8	41797273			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	TOTMSXHA Media
0.899329	4.645766	917.36	19746

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	11449602	5724801	6.80	0.0374
TRAT	1	26139896	26139896	31.06	0.0026

Variable Dependiente: Rendimiento en grano(14%H.)Kg./Há.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	14418503	4806168	16.55	0.0050
Error	5	1451597	290319		
Total corregido	8	15870100			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	REND14 Media
0.908533	4.430731	538.81	12161

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	5941682.1	2970841.1	10.23	0.0171
TRAT	1	8476820.8	8476820.8	29.20	0.0029

Nivel de		--- Indice de Cosecha -----		----- Kg de chala/há.-------	
TRAT	N	Media	SD	Media	SD
R	3	0.53666667	0.02516611	10285.0600	845.58168
S	6	0.54333333	0.02943920	8475.7300	1007.19217

Nivel de		Peso seco de granos (Kg./Há)		---- Kg.de M.S. total/há.-----	
TRAT	N	Media	SD	Media	SD
R	3	11871.3167	671.690843	22156.3767	864.10111
S	6	10065.4100	978.421352	18541.1383	1683.09445

Nivel de		Rendimiento en grano (14%H.)Kg./Há.	
TRAT	N	Media	SD
R	3	13533.3067	765.72764
S	6	11474.5667	1115.40141

El sistema SAS

Modelo General Lineal de Procedimiento

Variable Dependiente: Altura de planta (m.)

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	0.0801833	0.0267278	10.91	0.0851
Error	2	0.0049000	0.0024500		
Total corregido	5	0.0850833			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	ALT Media
0.942409	3.409700	0.0495	1.4517

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	0.0140333	0.0070167	2.86	0.2588
TRAT	1	0.0661500	0.0661500	27.00	0.0351

Variable Dependiente: Kg. M.S./há.(40 dias post siembra).

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	404115.67	134705.22	1.39	0.4438
Error	2	193398.30	96699.15		
Total corregido	5	597513.97			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	1XHA Media
0.676328	22.67725	310.96	1371.3

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	245645.67	122822.84	1.27	0.4405
TRAT	1	158470.00	158470.00	1.64	0.3289

Variable Dependiente: Kg. M.S./há.(68 dias post siembra)

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	7163758.8	2387919.6	0.45	0.7444
Error	2	10623963.1	5311981.6		
Total corregido	5	17787721.9			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	MS2XHA Media
0.402736	25.23411	2304.8	9133.6

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	596803.2	298401.6	0.06	0.9468
TRAT	1	6566955.6	6566955.6	1.24	0.3819

Variable Dependiente: Kg. M.S./há.(80 dias post siembra).

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Modelo	3	11325787	3775262	4.35	0.1924
Error	2	1734134	867067		
Total corregido	5	13059921			

Raiz cuadrada	C.V.	Desvio estandar	MS3XHA Media
0.867217	7.559222	931.16	12318

Fuente de variación	G.L.	Error Tipo I	C.M.	Valor de F	Pr > F
BLOQUE	2	9990182.3	4995091.2	5.76	0.1479
TRAT	1	1335604.5	1335604.5	1.54	0.3404