

MINISTERIO DE EDUCACION Y CULTURA

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

RESPUESTA DE HIBRIDOS DE MAIZ DE
CICLOS CONTRASTANTES AL DEFICIT
DE AGUA EN FLORACION E INICIO DE
LLENADO DE GRANO.

Por

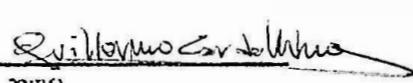
ALVARO CIRULLO - JUAN B. MONESTIER

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

Montevideo
URUGUAY
1988

Tesis aprobada por:

Director: Fernando García 
Nombre completo y firma

Guillermo Castellano 
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: 
ALVARO CIRILLO CÉSPEDAS
Nombre completo y firma


JUAN MONESTIER
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Agr. Ernesto Beltramini por su colaboración en la realización de esta Tesis, y a todo el personal de la Unidad Experimental de Aguas Blancas dependiente de La Dirección Uso y Manejo del Agua (DUMA), Departamento de La-
valleja.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	4
A. UBICACION DEL SUELO Y DISEÑO EXPE- RIMENTAL	4
B. MANEJO DEL CULTIVO.....	5
C. MEDICIONES EFECTUADAS EN EL CULTIVO....	6
III. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	11
IV. <u>CONCLUSIONES</u>	24
V. <u>RESUMEN</u>	26
VI. <u>APENDICE</u>	28
VII. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	51
A. RELACIONES HIDRICAS SUELO-PLANTA-ATMOSFERA....	52
B. RESPUESTA DE LAS PLANTAS AL DEFICIT HIDRICO..	55
C. EFECTO DEL DEFICIT HIDRICO SOBRE ALGUNOS PROCESOS FISIOLOGICOS.....	57
D. IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL CULTIVO.....	62
E. COMPORTAMIENTO DE MATERIALES DE CICLOS DIFERENTES.....	79
VIII. <u>LITERATURA CITADA</u>	105

INTRODUCCION

La producción por hectárea de maíz a nivel nacional manifiesta un incremento de 22 kg/há/año, partiendo de una producción de aproximadamente 700 kg/há en 1966, hasta alcanzar unos 1000 kg/há en 1981.

Sin embargo, los rendimientos obtenidos en forma experimental muestran un muy fuerte aumento de la productividad (268 kg/há/año) partiendo de niveles de rendimiento de 2900 kg/há en el año 1967, hasta alcanzar un rendimiento potencial estimable en 6900 kg/há en 1982.

Esta diferencia entre el año 1967 y el año 1982 es explicada en un 73% por el manejo del cultivo (prácticas culturales, fecha de siembra, fertilización, control de malezas, etc.); y el 27% restante al mejoramiento genético y sus interacciones con el manejo. (Díaz, 1984)

Dentro de las prácticas culturales, sin duda que el riego es la que tiene una mayor correlación con los rendimientos finales.

Así, Capurro (1984), encontró que para las precipitaciones de diciembre había un aumento de rendimiento de grano de 1000 kg/há por cada 220 mm de lluvia caída.

Para las precipitaciones de enero el incremento en el rendimiento era de 4000 kg/há por cada 200 mm de lluvia. Y con respecto a las precipitaciones de febrero, el incremento era de 3000 kg/há por cada 100 mm de lluvia registrada.

Esto coincide con lo observado por Hofstadter (1983), quién encontró una alta correlación entre las variaciones que presentaban los rendimientos de maíz sin riego y la

variación de las lluvias durante los meses de verano.

También Leeper (1974), encontró que los aumentos de rendimiento por aumentos en la cantidad de agua para la planta variaban desde 250 a 340 kg/hé/100 mm de agua.

Denmead y Shaw (1960), obtuvieron reducciones en los rendimientos de 25%, 50% y 21% cuando ocurrían déficits de humedad en los estadios vegetativos, emergencia de barbas y espigazón respectivamente.

Shaw (1983), citado por Capurro (1984), señala que una deficiencia muy severa desde cinco días después de la aparición de los estigmas produce una falla total en la cosecha.

Herrero et al. (1981), encontró que el déficit hídrico durante la floración aumentó el intervalo entre la polinización y la emergencia de barbas. Con déficits severos, la emergencia de barbas ocurría después que la polinización había terminado, produciendo así un número importante de abortos o de granos mal llenados.

Arbeletche y Rivero (1978), señalan la enorme variabilidad en los rendimientos entre años cuando el maíz es sembrado sin riego y con un nivel tecnológico bajo. La variación disminuyó al sembrarlo con un nivel tecnológico más alto (considerado adecuado), aunque sin riego. Por último, la variación fue mínima cuando se introdujo el riego en el manejo del cultivo; además la respuesta a este factor fue aproximadamente 3500 kg/há superior a las otras tecnologías utilizadas.

En cuanto al uso de materiales de ciclo diferente, Harder (1982) señala que en su ensayo el híbrido de ciclo largo (Pioneer 3360) produjo plantas más grandes y tuvo un rendimiento mayor que el de ciclo corto (Pioneer 3780) en todos los tratamientos; pero esos rendimientos del P 3360 sufrieron una mayor reducción cuando recibieron el déficit de agua.

Por su parte, Duncan (1966) señala que a la fecha no hay evidencia clara de que un híbrido sea superior a otro en cuanto a tolerancia a la sequía, estando ambos en el mismo estado de desarrollo.

En síntesis, dentro de las causantes de los bajos rendimientos del maíz, el agua se constituye como una de las principales; siendo vital para la planta en el estado de floración.

Asimismo, el uso de materiales de ciclo diferente puede ser una alternativa más a manejar por el productor para tratar de evitar los daños por ésta ocasionados.

El objetivo del presente trabajo es determinar cual es la pérdida de potencial productivo de tres materiales diferentes en ciclo, al ocurrir deficiencias de agua en dos momentos del ciclo.

Con esta información y con la que provenga de ensayos similares realizados en el futuro, se dispondría de elementos para tecnologías de riego y de manejo del cultivo en seco, por medio de épocas de siembra y materiales genéticos.

El ensayo es un primer avance y debe complementarse con otros.

MATERIALES Y METODOS

1. UBICACION, SUELO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo informa sobre un ensayo realizado en el verano 1986/87, sobre un Brunosol Eutrítico Típico (Unidad Valle Aguá del mapa 1: 1.000.000 de la Dirección de Suelos, INIA) cuyas características se describen en el apéndice. Dicho suelo se encuentra ubicado en la Unidad Experimental de Aguas Blancas, dependiente de la Dirección Uso y Manejo del Agua (DUMA), departamento de Iavalleja.

El ensayo consistió en comparar tres híbridos de ciclo contrastante en condiciones potenciales de suministro de agua, y su respuesta a deficiencias de agua durante floración y llenado de grano.

El diseño experimental fue un factorial complemento con cuatro repeticiones en bloques al azar. Los tres regímenes de agua impuestos fueron los siguientes:

- (E) riego todo el ciclo, con umbral de 50% de agua disponible;
- (R1) riego todo el ciclo, con igual umbral, excepto en el mes siguiente a la emergencia de la panoja masculina (déficit de floración)
- (R2) riego todo el ciclo, con igual umbral, excepto en el mes siguiente a la emergencia de estilo y estigmas (déficit en polinización e inicio de llenado de grano)

Los híbridos utilizados fueron: Cargill Precoz 18, Cargill Record 156 y Pioneer 6875, (ciclo corto, medio y largo respectivamente).

Para asegurar el déficit de agua durante el mes correspondiente en R1 y R2 se cubrió la superficie del suelo con polietileno transparente para evitar el ingreso al suelo de eventuales precipitaciones. Esta técnica fue utilizada con éxito en ensayos realizados en INTA Pergamino, Rep. Argentina (Guevara, com. pers). Dicho investigador indicó que en trabajos de prueba de la técnica no se observaron diferencias de temperatura del suelo cubierto con polietileno transparente en relación al descubierto luego que el cultivo ha cubierto la gran mayoría de la superficie y llega poca radiación solar directamente al suelo.

2. MANEJO DEL CULTIVO

El suelo del ensayo venía de una rotación de dos años de papa y avena, esta última como cobertura invernal. Luego de la avena del segundo año se sembró maíz. El suelo estuvo bajo barbecho durante el invierno de 1986.

El laboreo previo a la siembra fue: una arada el 9 de setiembre; dos rastradas y dos disqueras el 20 de octubre; conjuntamente con esta última se fertilizó y se levantaron los camellones. La fertilización aplicada fue de 120 kg/há de Nitrógeno y 100 kg/há de P_2O_5 ;

la aplicación fue en bandas, debajo y al costado de la semilla, las fuentes fueron Superfosfato de Calcio y Urea.

La siembra se llevó a cabo el 22 de octubre de 1986, en canchales distanciados a 65 cm. Se realizó en forma manual, con varios granos por golpe. Posteriormente se efectuó un riego lográndose una población final de 50.000 plantas por hectárea.

El control de malezas se llevó a cabo aplicando atrazina a la siembra y a los 20 días de ésta. La aplicación se realizó en bando sobre las hileras, con mochila. El 3 de diciembre se llevó a cabo una carrida y aporque.

Los riegos realizados y las lluvias recibidas por el cultivo se presentan en los cuadros 8 y 10. El umbral de riego usado fue 50% del agua disponible en los primeros 50 cm de profundidad.

3. MEDICIONES EFECTUADAS EN EL CULTIVO

a) Índice de Área Foliar

Con el objetivo de estimar el crecimiento vegetativo, para cada híbrido se tomaron dos medidas de área foliar en diferentes fechas.

La metodología de trabajo consistió en elegir tres plantas al azar de entre los dos surcos centrales de cada parcela, las cuales quedaron identificadas.

La medida incluyó el total de hojas con lígula expuesta, a las que se les midió el largo (L), y el ancho (a).

El área foliar de cada planta se estimó como:

$(\text{largo} \times \text{ancho} \times 0,75)_i$; siendo "i" la iésima hoja con lígula expuesta de la planta considerada. (Pedocchi, R.C. 1979). Se tomó el promedio de las tres plantas y con la población de la parcela se obtuvo el Índice de Área Foliar (IAF) en m^2 de hojas / m^2 de suelo.

Las fechas de las mediciones fueron el 7 de diciembre para las cuatro repeticiones; el 5 de enero para los bloques III y IV; y el 15 de enero para los bloques I y II.

b) Altura de Plantas

Junto con las medidas anteriores, se determinó la altura de las plantas identificadas con la finalidad de apreciar la diferencia entre los materiales y por su relación con el vuelco.

c) Estado Fenológico

El seguimiento del estado fenológico fue imprescindible para determinar el momento de colocación del polietileno transparente en los tratamientos R1 y R2; y así asegurar los déficits hídricos.

Se determinaron los porcentajes de flores masculinas y femeninas emergidas; cuando se llegó al 50% de las plantas en cada estado se impuso el déficit en R1 y R2, respectivamente.

La superficie cubierta por el polietileno fueron las dos hileras centrales de cada parcela y la mitad de las dos de borde. Las fechas de colocación de los mismos fueron: 23/XII para el Cargill Precoz 18; 30/XII para el Cargill Record 156; y el 5/1 para el Pioneer 6875. El retiro de las cobertura se realizó para todos los tratamientos, 30 días después de la instalación.

Para el tratamiento R2, las fechas de colocación fueron las siguientes: 9/1 para el Cargill Precoz 18; 15/1 para el Cargill Record 156 y Pioneer 6875.

d) Mediciones del contenido de Agua.

Las mediciones del contenido de agua fueron hechas solamente en los bloques III y IV del ensayo, ya que sólo interesaba conocer a grandes rasgos el régimen hídrico de cada tratamiento de riego y para cada híbrido.

Se utilizó una sonda de neutrones hasta 115 cms de profundidad, tomándose medidas a 15, 25, 35, 45, 55, 75, 95 y 115 cms.

Las fechas de las mediciones fueron las siguientes: 9/1, 20/I, 27/I, 4/II y 4/III.

e) Cosecha

La cosecha de los tres híbridos se llevó a cabo en tres fechas diferentes debido a diferencias en el estado de maduración, estas fueron: 13/3/87 para

el Cargill Precoz 18; 13/3/87 para el Cargill Record 156; y 3/4/87 para el Pioneer 6875.

De las cuatro hileras de cinco metros en cada parcela, se cosecharon las dos centrales dejando 0,5 m. de borde en cada extremo. Se contaron las plantas cosechadas, volcadas y quebradas.

Las espigas de cada parcela fueron clasificadas en tres grupos: sanos (no presentaban ninguna anomalía), atacados por pájaros o insectos (presentaban en el extremo superior de la espiga daño por ataque), y las que presentaban flores abortadas. Se pesaron los marlos deschalados de cada grupo, luego se tomaron varias muestras representativas de cada grupo a las cuales se las desgranó, pesando separadamente marlo y grano. Con estos datos se obtuvo la relación peso de grano/peso de la espiga. A partir de dicha relación y del peso total de las espigas, se obtuvieron los rendimientos de grano por parcela.

Posteriormente se midió el contenido de humedad en el grano; la producción de grano fue corregida a 15% de contenido de agua.

Para la estimación de los kg. de materia seca de parte aérea por há. (constituída por tallo y hoja), se tomó una muestra representativa del total de plantas cosechadas de las dos hileras centrales para cada parcela, las cuales fueron pesadas en el campo y luego secadas a estufa. El rendimiento por parcela

se obtuvo multiplicando los kg. de materia seca promedio por planta, por 50.000 (= población de una hectárea).

Finalmente se calculó el Índice de Cosecha para cada parcela. La relación utilizada fue: rendimiento en grano con 15% de humedad/ rendimiento en grano + rendimiento en chala seco.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. RENDIMIENTO EN GRANO

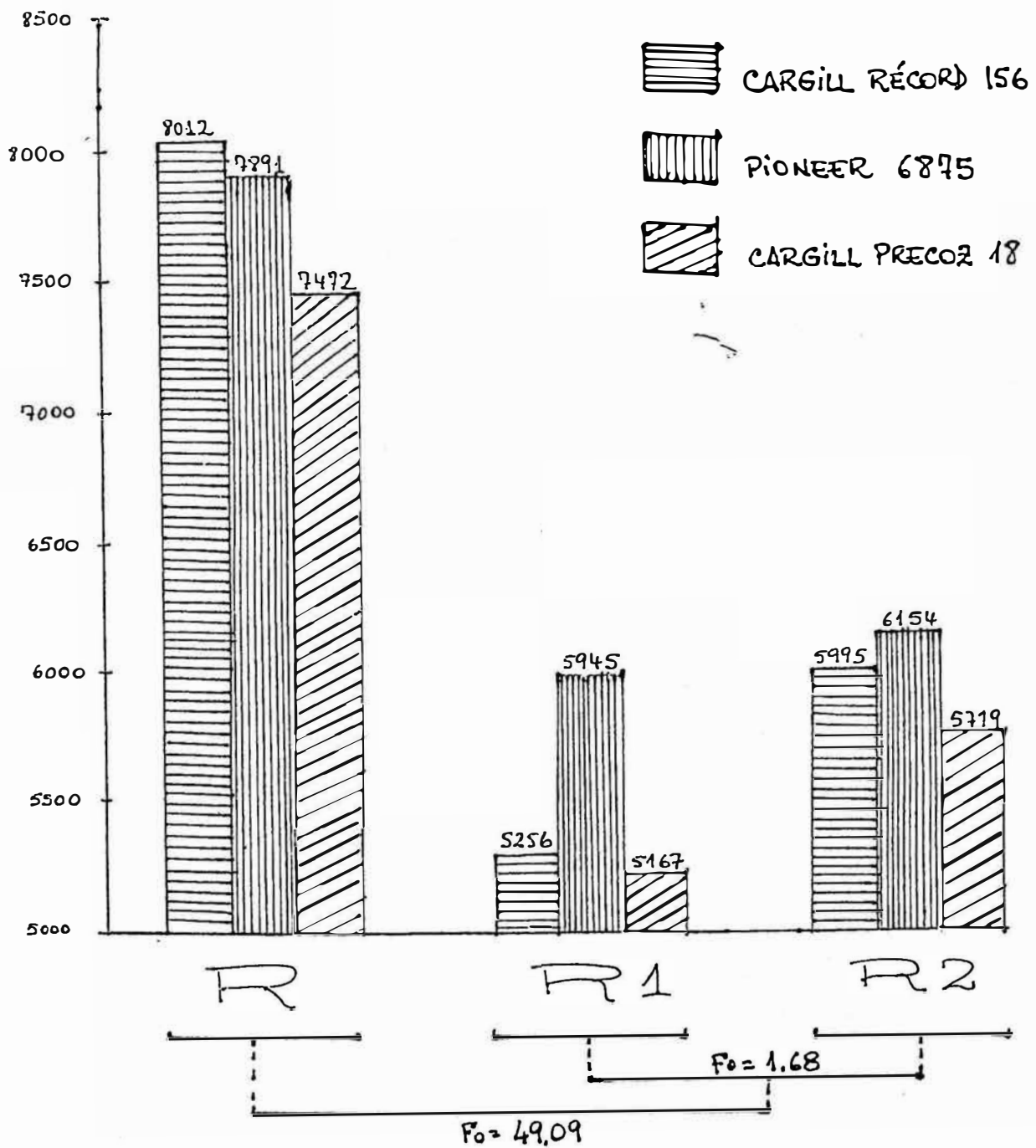
- a) El análisis de varianza indica que no hubieron diferencias significativas entre los promedios de los tres híbridos al 5%, (ver cuadro 1).

Si bien hubiera sido de esperar que el rendimiento del Pioneer 6875 en el tratamiento R fuera superior a los demás debido a su largo de ciclo y mayor IAF, esto no fue así posiblemente debido a que las condiciones climáticas no permitieron expresar todo el potencial de este material. Se trata de un material subtropical, al que la falta de temperatura puede haber afectado la floración y polinización. En cambio, para el CR 156, las condiciones climáticas permitieron una alta eficiencia en la producción de grano, superando así a los otros dos materiales cuando el agua no fue limitante. A pesar de no ser significativa la F de interacción, el contraste CR 156 vs. otros al pesar de R a los otros trats. de agua, fue significativo al 10%.

Los menores rendimientos del Cargill P. 18 pueden ser explicados por su baja relación fuente/fosa, aunque no difirió significativamente con los demás materiales al promediar todos los regímenes hídricos.

Tollenaar (1977), en relación a este punto, sostiene que una baja relación fuente/fosa se puede atribuir a una temprana senescencia foliar o al ciclo del cultivo. Cuando este fenómeno se constata, los rendimientos pueden incrementarse aumentando el IAF

GRÁFICO 1. RENDIMIENTO EN GRANO.
(kg/ha)



(ya sea aumentando el área foliar por planta y/o aumentando la densidad de población).

- b) El tratamiento con riego en todo el ciclo (R), fue superior a los otros dos (R1 y R2) al 1% de significación estadística. Esto no hace más que confirmar la importancia fundamental del agua en los períodos críticos de polinización y fecundación en el cultivo de maíz.

Resultados similares fueron obtenidos por Denmead y Shaw (1960); Robins y Domingo (1953); Shaw (1983); Capurro (1984) y otros muchos investigadores.

Si observamos el cuadro 2: "Disminución porcentual del rendimiento", comprobamos que el déficit en floración (R1) produjo en promedio una disminución del 30%, mientras que el déficit en polinización e inicio de llenado de grano (R2), produjo una disminución de 24,6%.

- c) La reducción de rendimiento por déficit hídrico sufrida por el CR 156 fue superior al promedio de los otros dos híbridos. (ver gráfico 1). Esta diferencia puede ser debida a que el CR 156 es más sensible a los déficits de agua impuestos en R1 y R2, que los otros dos materiales. Al evaluar el contenido de agua por horizonte en las etapas R1 y R2 (cuadro 3), vemos que fue similar para los tres híbridos (encontrándose siempre entre

Cuadro No. 1 RENDIMIENTO EN GRANO (kg/há).

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	7891	5945	6154	6663
Cargill R. 156	8770	5256	5995	6674
Cargill P. 18	7472	5167	5719	6119
PROMEDIO	8044	5456	5956	

Cuadro No. 2 DISMINUCION PORCENTUAL DEL RENDIMIENTO
CON RESPECTO AL TRATAMIENTO R.

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS		
	R	R1	R2
Pioneer 6875	--	34,4	25,3
Cargill R. 156	--	24,7	22,1
Cargill P. 18	--	30,9	23,5
PROMEDIO	--	30,0	24,6

Cuadro No. 3 CANTIDAD DE AGUA (EN MILIMETROS) POR
HORIZONTE DEL SUELO DURANTE LOS PERIODOS
DE STRESS.

HORIZONTE	HIBRIDO	TRATAMIENTO		CC	CMP
		R1	R2		
A (20 cm)	Cargill R. 156	47,3	54,2		
	Cargill P. 18	46,0	53,4	76,6	34,5
	Pioneer 6875	62,5	52,4		
B ₂ ^t (40 cm)	Cargill R. 156	132,3	147,4		
	Cargill P. 18	130,7	150,3	187,3	109,8
	Pioneer 6875	151,4	145,2		
B ₃ (20 cm)	Cargill, R. 156	69,3	78,6		
	Cargill P. 18	69,3	77,2	96,8	57,3
	Pioneer 6875	75,5	76,3		

CC= Capacidad de campo

CMP= Coeficiente de Marchitez Permanente

Capacidad de Campo y Coeficiente de Marchitez Permanente). Por lo tanto, a igual contenido de agua en cada horizonte la mayor reducción de rendimiento correspondió al CR 156, dejando entrever una mayor sensibilidad al stress hídrico en esas etapas.

Harder et al. (1982), denuncia una mayor sensibilidad de ciertos híbridos producida por stress. Así, el híbrido de ciclo largo produjo plantas más grandes y tuvo rendimientos en grano mayor que el de ciclo corto en todos los tratamientos; pero esos rendimientos del híbrido "full season" sufrieron una mayor reducción cuando recibieron el déficit de agua.

Estos datos no concuerdan con los obtenidos en nuestro ensayo, ya que fue el híbrido de ciclo medio (CR 156), el que sufrió una mayor reducción de rendimiento tanto en R1 como en R2, pero ya se dijo que el de ciclo largo usado (Pioneer 6875), estaría fuera de ambiente en el sur del país.

2. INDICE DE AREA FOLIAR MAXIMO

- a) El IAF máximo del Pioneer 6875 fue superior al de los otros dos híbridos, con muy alta significación estadística. El IAF del CR 156 fue mayor al del Precoz 18 al 5% de significación estadística. (Ver cuadro 4).

Esto pudo deberse a las características genéticas de los materiales, que alcanzaron diferente desarrollo de su masa vegetativa según su ciclo.

Cuadro No. 4 INDICE DE AREA FOLIAR (15/I/87).

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	3,24	2,97	3,55	3,25
Cargill R. 156	2,65	2,09	2,69	2,48
Cargill P. 18	2,11	2,12	1,80	2,01
PROMEDIO	2,66	2,39	2,68	

Cuadro No. 5 INDICE DE COSECHA.

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	0,48	0,40	0,38	0,42
Cargill R. 156	0,51	0,37	0,42	0,43
Cargill P. 18	0,59	0,52	0,55	0,55
PROMEDIO	0,53	0,43	0,45	

- b) No fueron significativas las diferencias debidas a los tratamientos de agua, lo cual estaría indicando que el desarrollo foliar se completaría previamente al momento de imposición de los déficits de agua en este ensayo (emergencia de flor masculina).
-

Esto coincide con lo observado por Denmead y Shaw (1960), quienes señalan que el área foliar sufrió un menor desarrollo en todos los tratamientos donde el déficit era impuesto mientras que las plantas estaban en crecimiento.

3. INDICE DE COSECHA

- a) El Indice de Cosecha (IC) del Cargill P. 18 fue superior al de los otros dos híbridos con alta significación estadística. Esto podría explicarse por el menor desarrollo vegetativo de este material, que al ser de ciclo corto, tiene estados fenológicos de menor duración. A campo se visualizaron plantas de menor altura y menor número de hojas, que en su conjunto ocupan una menor superficie.

Alessi y Fower (1976), trabajando con dos híbridos de ciclo diferente concluyeron que la eficiencia del uso del agua en la producción de materia seca fue mayor en el híbrido de ciclo más largo. Sin embargo en la producción de grano fue más eficiente en el uso de agua el híbrido de ciclo más corto.

- b) El IC del tratamiento con riego todo el ciclo (R) fue superior al promedio de los otros dos. Podríamos concluir que tales diferencias en el IC fue-

ron debidas principalmente a variaciones en el rendimiento en grano y no a variaciones en la masa vegetativa de las plantas, como ya se indicó. Esto se puede ver claramente en el cuadro 4, donde no existen diferencias significativas entre la media del tratamiento R con R1 y R2. Esto significa que el mayor desarrollo foliar se hace en etapas previas a la polinización.

4. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL GRANO EL 3/4/87

- a) El Pioneer 6875 tuvo más porcentaje de agua en los granos que los otros dos híbridos con alto nivel de significación estadística. (ver cuadro 6).

El Cargill Record 156 tuvo más porcentaje de agua en los granos que el Cargill Precoz 18, con alta significación estadística.

Estos resultados eran de esperar, debido a las diferentes fechas de maduración de los híbridos. El híbrido de ciclo más largo (Pioneer 6875) tuvo un porcentaje de humedad mayor que el de ciclo medio (CR 156); y éste a su vez fue mayor que el de ciclo corto (Cargill Precoz 18).

- b) No existieron diferencias debidas a los tratamientos de agua. Esto pudo deberse a que luego de levantado el stress impuesto, todos los tratamientos tuvieron riegos iguales. De esta forma se produjo la recu-

Cuadro No. 6 PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO AL
(3/IV/87).

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	23,3	27,3	23,5	24,7
Cargill R. 156	16,8	19,1	18,8	18,2
Cargill P. 18	12,8	12,4	11,1	12,0
PROMEDIO	17,6	19,6	17,8	

Cuadro No. 7 ALTURA DE PLANTAS AL (10/I/87).

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	1,68	1,48	1,65	1,60
Cargill R. 156	1,61	1,44	1,62	1,55
Cargill P. 18	1,63	1,56	1,49	1,56
PROMEDIO	1,64	1,49	1,59	

percepción de las plantas sometidas al déficit, las cuales aumentaron el porcentaje de humedad de sus granos pero no su rendimiento.

5. ALTURA DE PLANTAS

Este parámetro se midió el 10 de enero de 1987, mostrando diferencias significativas debidas al factor riego (ver cuadro 7). Eran más altas las plantas pertenecientes al tratamiento R.

No se registraron diferencias debidas al factor híbrido. Esto pudo deberse probablemente a que el híbrido Pioneer 6875 no había completado el estiramiento de los entrenudos para esa fecha. De haberse tomado otra medida mas cerca de la cosecha, esta diferencia podría haber sido significativa.

6. DISTRIBUCION Y VARIACION DEL AGUA EN EL PERFIL DEL SUELO

La variación y distribución del agua en el perfil del suelo no tuvo un comportamiento similar en todas las parcelas. En algunas el comportamiento fue el esperado, mientras que en otras (debido al escurrimiento lateral producido por la pendiente, y por la existencia de un horizonte B desarrollado) recibieron agua de las parcelas vecinas regadas en momentos en que éstas estaban bajo déficit hídrico. Esto ocurrió a pesar de existir un borde de cuatro surcos entre parcelas.

El problema mencionado se evidencia en las gráficas (1), donde se ve que los tratamientos R1 y R2 al imponérseles el stress hídrico disminuyen su contenido de agua hasta que parcelas vecinas reciben riegos. En este momento,

(1) de variación del contenido de humedad en el perfil a lo largo del tiempo.

(aún estando estas cubiertas con polietileno) el contenido de agua en el suelo aumenta notoriamente.

Sin embargo, esto no impidió que el stress se produjera, ya que todas las parcelas bajo déficit tuvieron al menos 20 días aproximadamente sin recibir agua, lo cual se evidenció en los rendimientos como ya fue discutido.

Es oportuno aclarar que el verano 86/87 se caracterizó por ser extremadamente seco. Los registros de lluvia se presentan en cuadro 8.

En las gráficas de distribución del agua en el perfil, se observa cómo la mayor variación del contenido de agua se produce en los primeros 60 cms del suelo; mientras que a más profundidad el contenido de humedad permanece constante o con mínima variación. Esto se explica, en primer lugar, por la presencia de un horizonte E hasta aproximadamente 60 cm de profundidad, por debajo del cual las variaciones del contenido de humedad del suelo son mínimas. (Ver gráficas de distribución del agua en el perfil del suelo en apéndice). En segundo lugar, se explica porque el sistema radicular del maíz se desarrolló fundamentalmente en esta zona.

En resumen, podemos decir que los déficits impuestos se produjeron, pero no con la magnitud prevista debido al ingreso de escurrimiento subsuperficial desde parcelas regadas a parcelas a las que se impuso déficit. Esto es típico de suelos con baja infiltración debido a su textura pesada, baja permeabilidad y cierta pendiente.

Estos resultados coinciden con los trabajos de Capurro (1984), en los cuales menciona esta importante limitante en la mayoría de los suelos donde se cultiva maíz.

7. PORCENTAJE DE PLANTAS VOLCADAS

El Pioneer 6875 tuvo un porcentaje de vuelco mayor que los otros dos materiales, con 5% de significación estadística (ver cuadro No. 11). Esto posiblemente se debió a las características morfológicas de este material (gran desarrollo de su masa vegetativa), lo que provoca una mayor resistencia al viento.

El tratamiento con riego todo el ciclo (R) produjo menos vuelco que los otros tratamientos con stress, con 5% de significación estadística.

El déficit de agua durante polinización y llenado de grano (R2) produjo más vuelco que el déficit de agua durante plena floración (R1), con 10% de significación estadística.

No se encontró ninguna explicación valedera para estos resultados, ni tampoco se encontraron casos similares en la bibliografía revisada.

Los valores de quebrado no se presentan debido a que fueron muy bajos; el tratamiento que tuvo mayor porcentaje de plantas quebradas no superó el 2,5%.

Cuadro No. 11 PORCENTAJE DE PLANTAS VOLCADAS A
LA COSECHA.

HIBRIDOS	TRATAMIENTOS			
	R	R1	R2	PROMEDIO
Pioneer 6875	5,5	17,8	28,1	17,1
Cargill R. 156	4,2	4,2	9,6	6,0
Cargill P. 18	3,7	4,8	13,7	7,4
PROMEDIO	4,5	8,9	17,1	

CONCLUSIONES

Este trabajo confirma, fundamentalmente, lo ya demostrado a nivel nacional e internacional acerca de la importancia del agua en determinados períodos del ciclo del maíz, como lo son polinización y llenado de grano. Los tratamientos que recibieron agua durante todo el ciclo, rindieron significativamente más que aquellos sometidos a stress en dichos períodos.

También se puede concluir que la limitante dada por los suelos donde tradicionalmente se realiza este cultivo (de texturas pesadas y poca profundidad de exploración radicular) es fundamental en la explicación de los promedios obtenidos a nivel nacional. Esto se ve agravado más aún por los déficits hídricos que se producen durante los meses de verano en nuestro país, en forma aleatoria.

Por otro lado, queda de manifiesto la importancia de las siembras tempranas (15/X al 15/XI), sobre todo para materiales de ciclo corto como el Precoz 18, que cumple la mayoría de sus etapas en períodos donde aún queda agua disponible en el suelo.

Si bien los rendimientos obtenidos en los tres tratamientos fueron buenos, dejaron la impresión de que son superables aumentando la densidad de población.

Sin duda el Cargill Record 156 fue el que se comportó mejor en el tratamiento E, no siendo así en R1 y R2. Esto deja entrever que este material, al no cumplir la mayoría de su ciclo en épocas tempranas (con abundante agua en el suelo), puede ver afectado sus rendimientos.

Con respecto al Pioneer 6275, podemos decir que debido a su ciclo largo puede verse retrasada su cosecha, lo que se agrava por mayor contenido de humedad en el grano y mayor tendencia al vuelco.

Una característica de este material a considerar en futuros ensayos es la posibilidad de utilizarlo como reserva forrajera, ya que tiene un gran desarrollo de la masa vegetativa, lo cual haría apto para tal destino.

RESUMEN

El objetivo de este ensayo fue comparar tres híbridos de maíz de ciclos contrastantes en condiciones potenciales de suministro de agua y otros factores manejables. También se intentó comparar la respuesta de dichos híbridos a deficiencias de agua impuestas en floración o durante llenado de grano, y cuantificar la pérdida de rendimiento frente a las condiciones potenciales.

Los híbridos utilizados fueron: Cargill Precoz 18 (ciclo corto), Cargill Récord 156 (ciclo medio), y Pioneer 6875 (ciclo largo); bajo tres regímenes de agua:

R) riego todo el ciclo, con umbral de 50% de agua disponible;

R1) riego todo el ciclo, con stress durante los 30 días siguientes a la emergencia de la panoja masculina;

R2) riego todo el ciclo, con stress durante los 30 días siguientes a la emergencia de la panoja femenina.

Los resultados más significativos de este trabajo fueron:

a) en cuanto a rendimiento en grano no hubieron diferencias significativas entre los promedios de los tres híbridos. El tratamiento con riego todo el ciclo (R) fue superior a los otros dos (R1 y R2). La reducción de rendimiento por déficit hídrico sufrida por el Cargill R. 156 fue superior al promedio de los otros dos híbridos.

b) El Índice de Cosecha del Cargill P. 18 fue superior al de los otros dos híbridos. El IC del tratamiento con riego

todo el ciclo (R) fue superior al promedio de los otros dos.

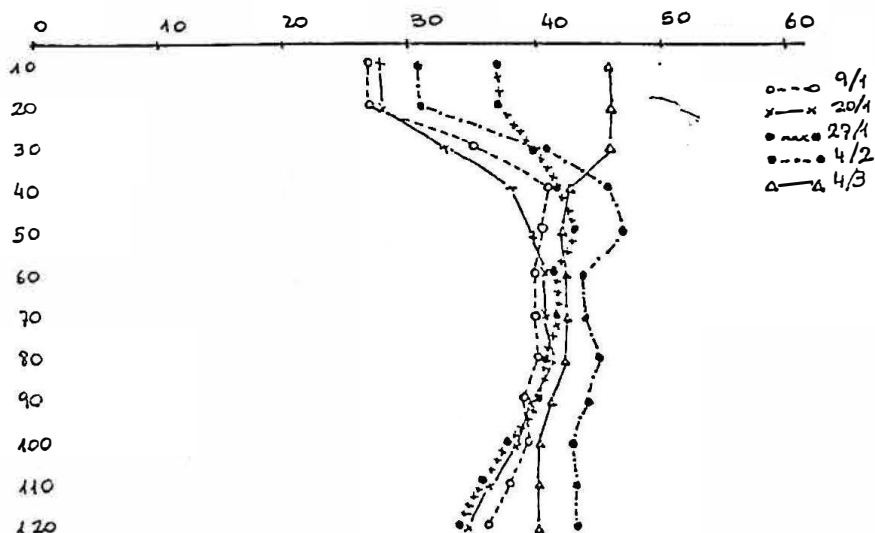
c) El porcentaje de humedad en el grano del Pioneer 6875 fue mayor al de los otros dos, y a su vez el Cargill R. 156 fue mayor que el Cargill P. 18. No existieron diferencias debidas a los tratamientos de agua.

d) El porcentaje de plantas volcadas del Pioneer 6875 fue significativamente mayor que el de los otros dos materiales.

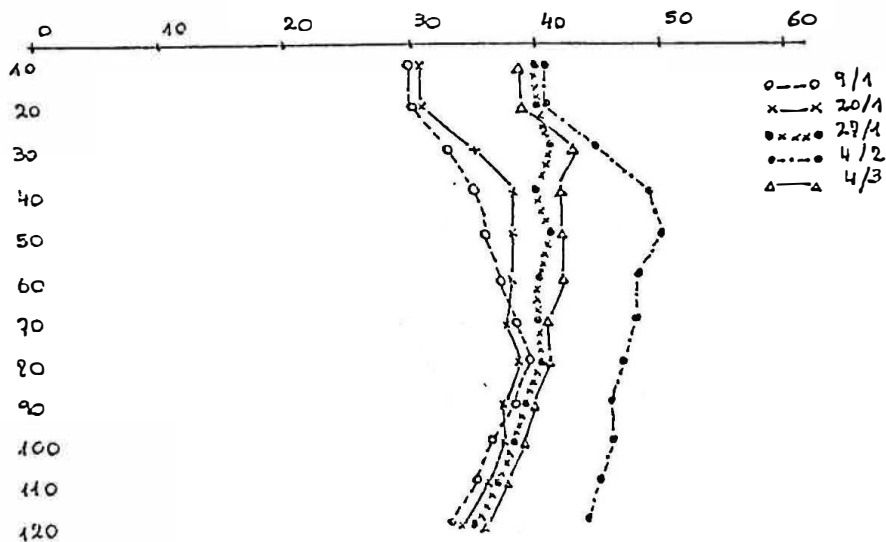
A P E N D I C E

GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO: CARGILL PRECOZ 18
 TRATAM.: RIEGO TODO EL CICLO
 BLOQUES: III y IV

P18 R BIII

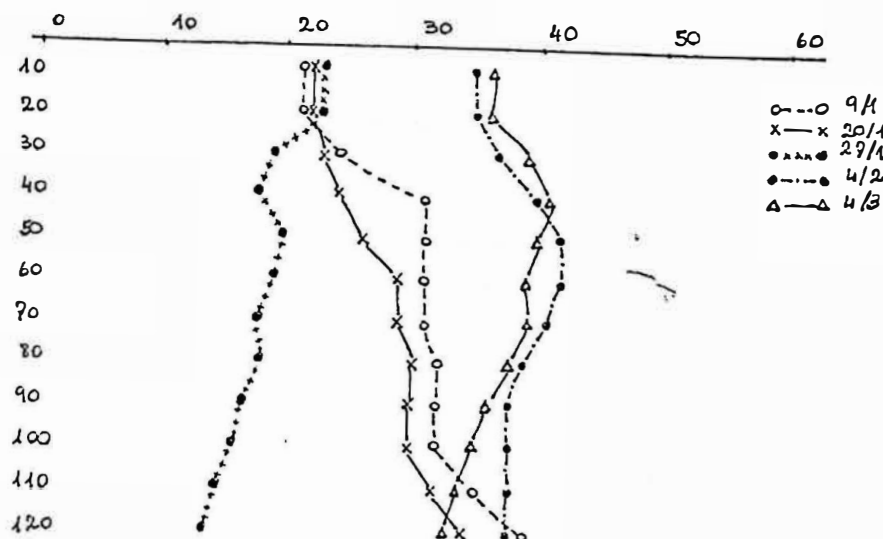


P18 R BIV

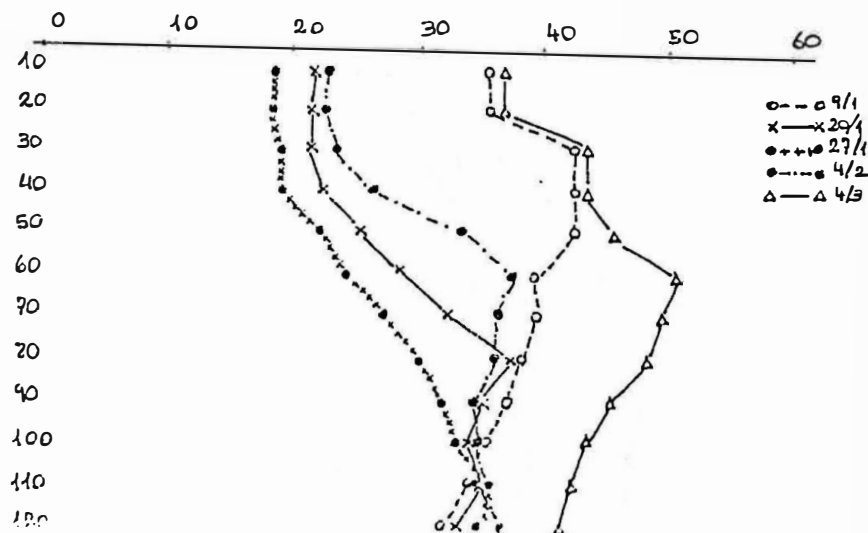


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO: CARGILL PRECOZ 18
 TRATAM.: DEFICIT EN FLORACION
 BLOQUES: III y IV

P18 R1 B III

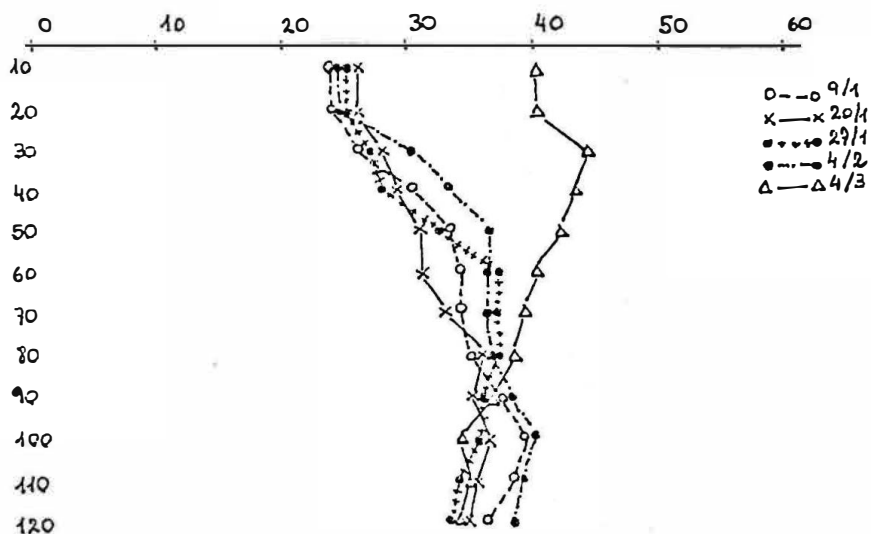


P18 R1 B IV

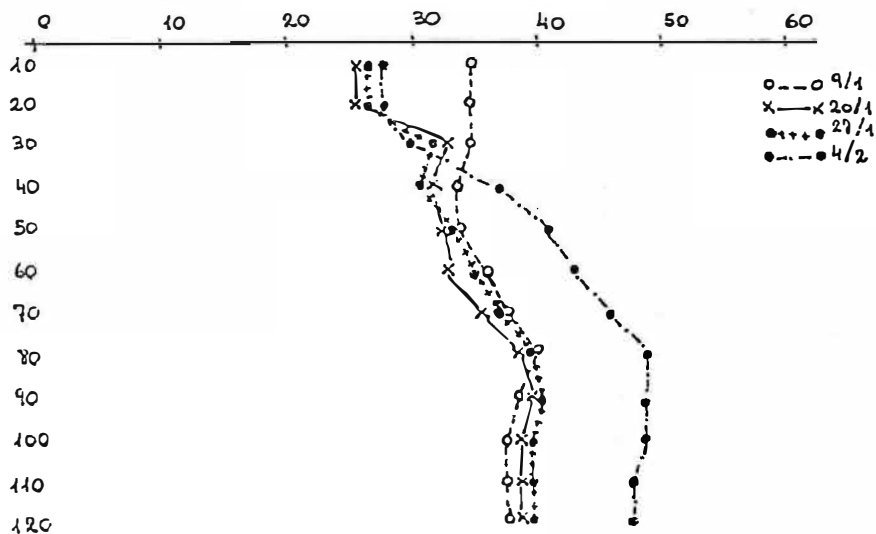


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO: CARGILL PRECOZ 18
 TRATAN.: DEFICIT EN LLENADO DE GRANO
 BLOQUES: III y IV

P 18 R2 BIII

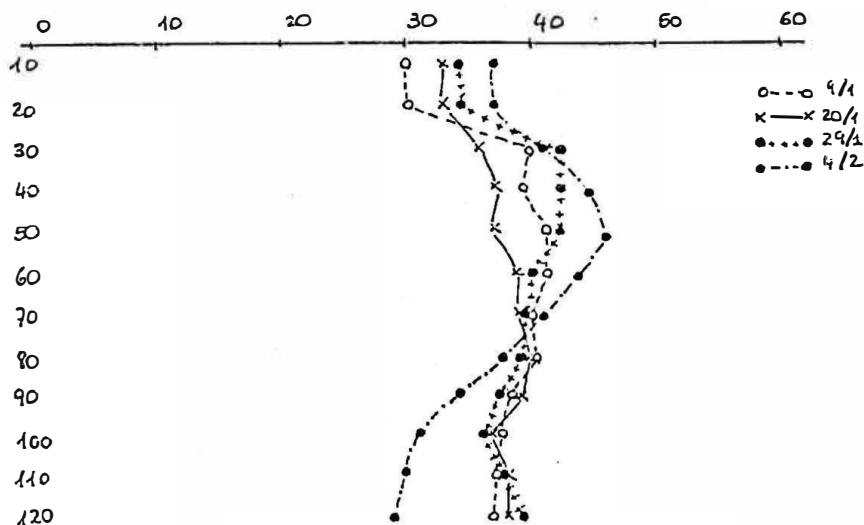


P 18 R2 BIV

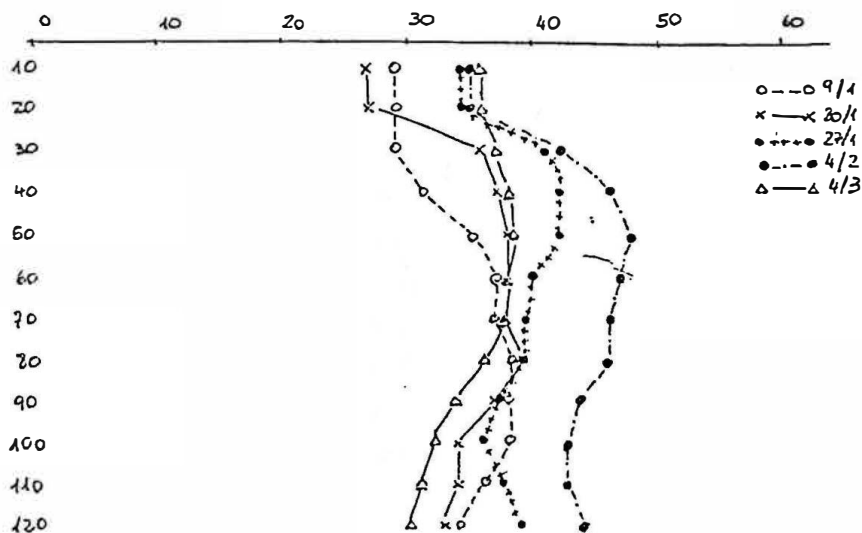


GRATICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO: CARGILL RECORD 156
 TRA TAM.: RIEGO TODO EL CICLO
 BLOQUES: III y IV

CR 156 R B III

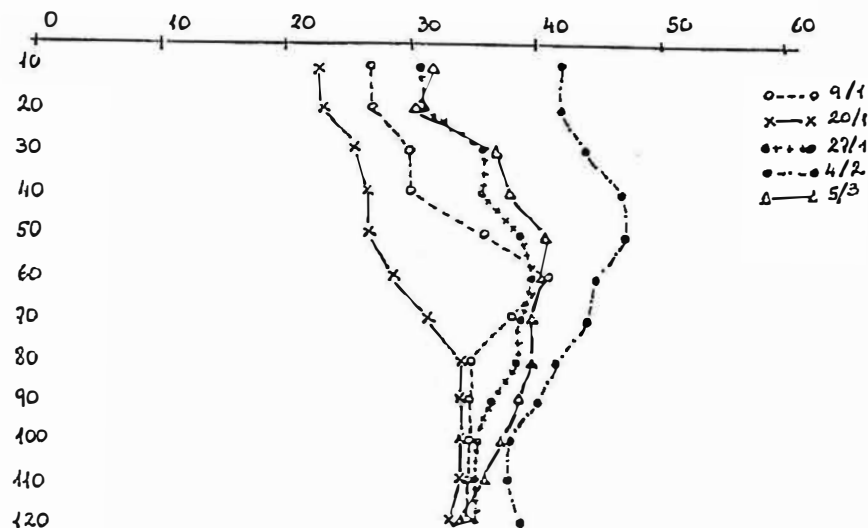


CR 156 R B IV

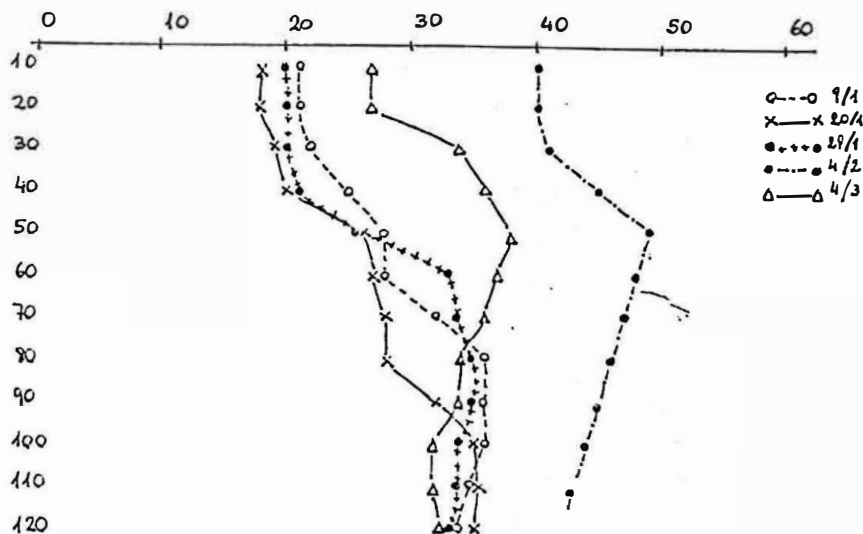


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
DEL SUELO; HIBRIDO; CARGILL RECORD 156

TRATAM DEFICIT EN FLORACION
CR 156 R1 B III

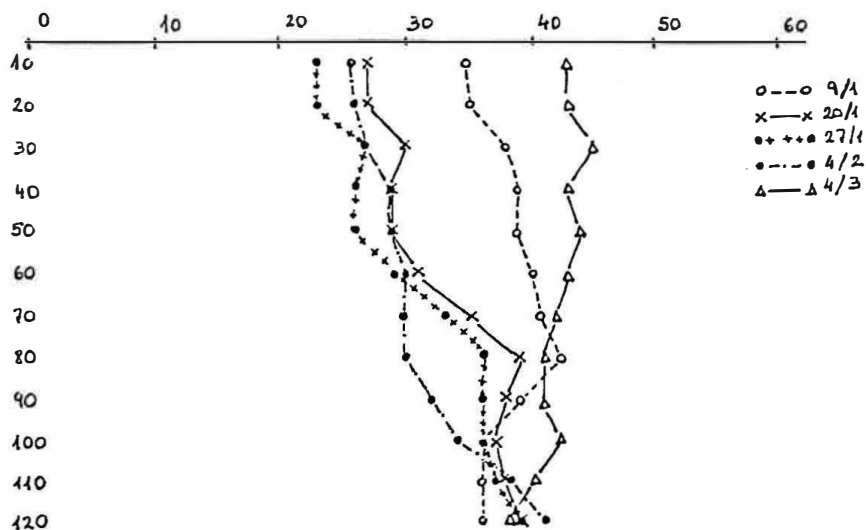


CR 156 R1 B IV

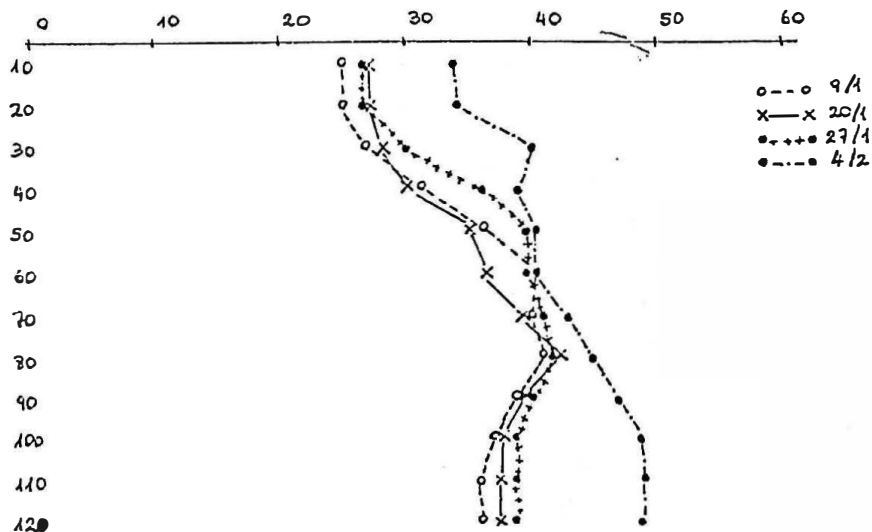


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
DEL SUELO; HIBRIDO: CARGILL RECORD 156
TRATAM.: DEFICIT EN LLENADO DE GRANO
BLOQUES: III y IV

CR 156 R 2 B III

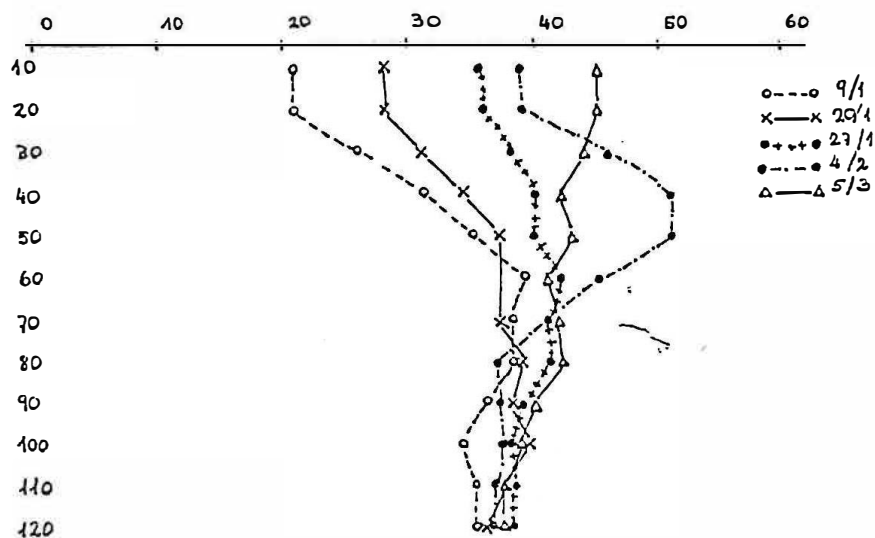


CR 156 R 2 B IV

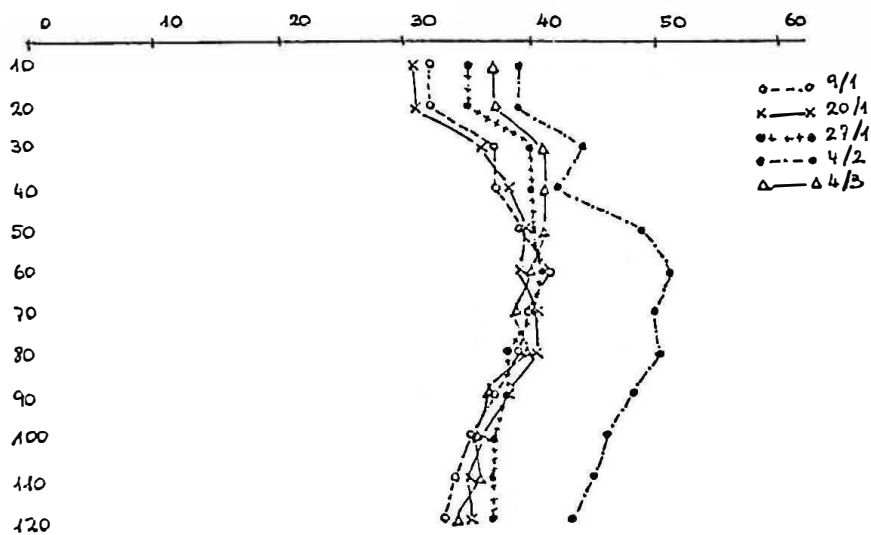


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO; PIONEER 6875
 TRATAM.: RIEGO TODO EL CICLO
 ELOQUES; III y IV

6875 R BIII

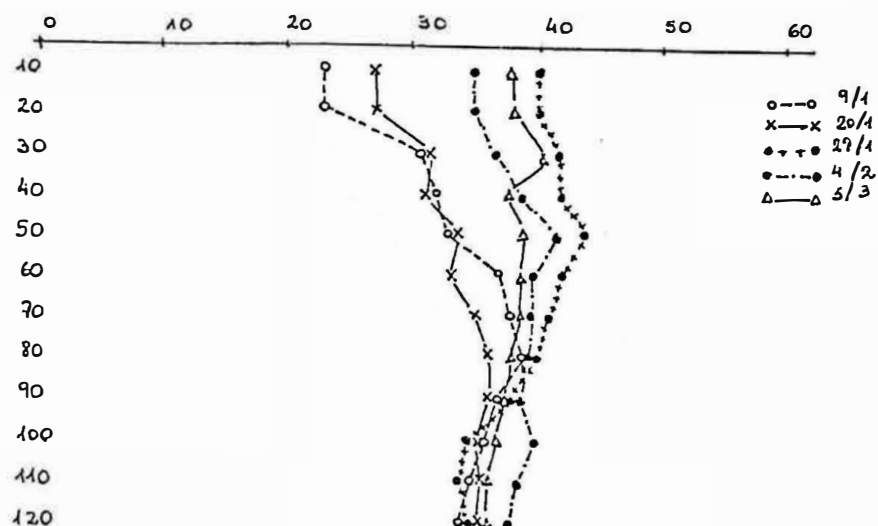


6875 R BIV

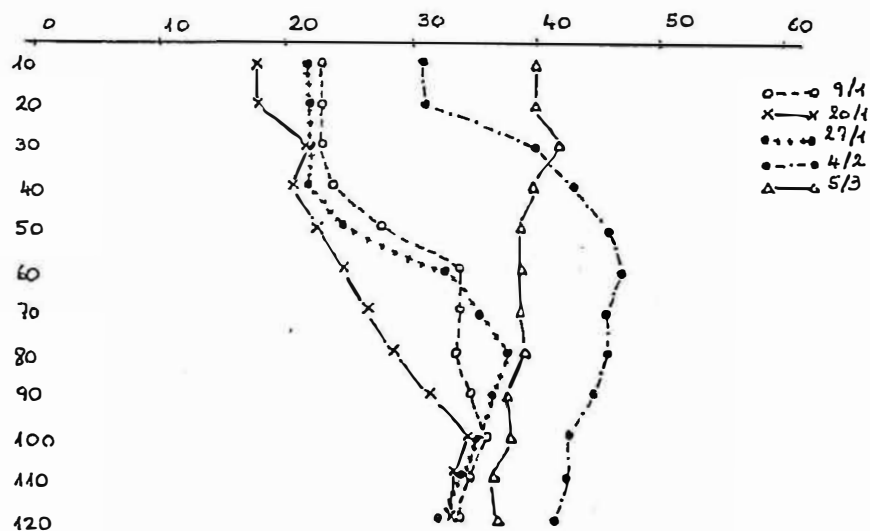


GRATICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
DEL SUELO; HIBRIDO; PIONEER 6875
TRATAM.: DEFICIT EN FLORACION
BLOQUES: III y IV

6875 R1 B III

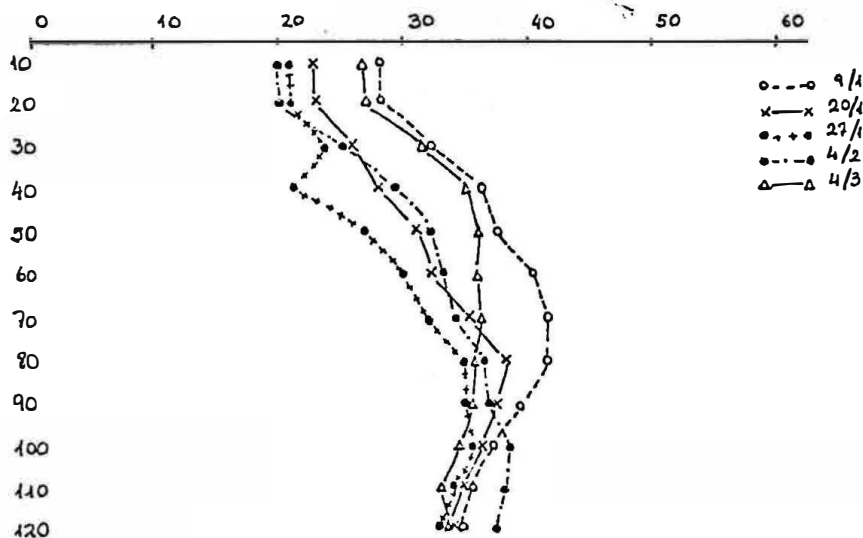


6875 R1 B IV

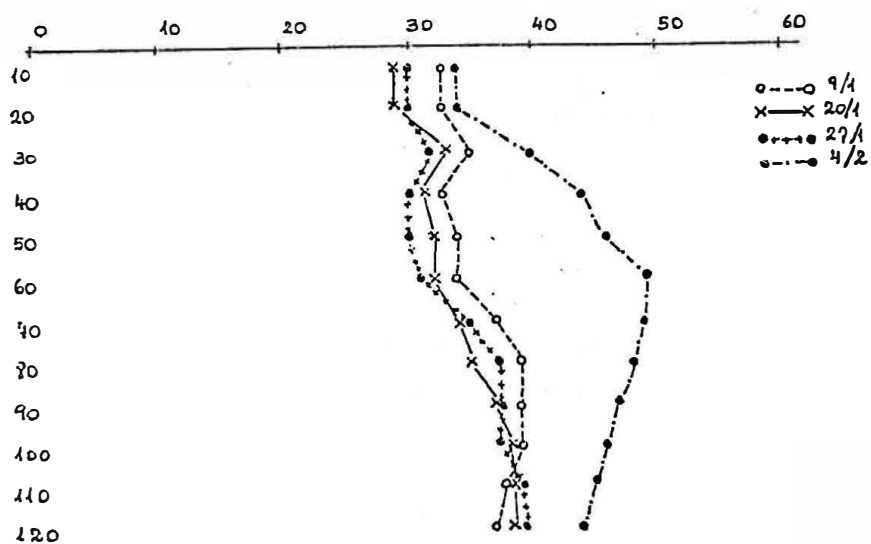


GRAFICAS DE DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL PERFIL
 DEL SUELO; HIBRIDO: PIONEER 6875
 TRATAM.: DEFICIT EN LLENADO DE GRANO
 BLOQUES: III y IV

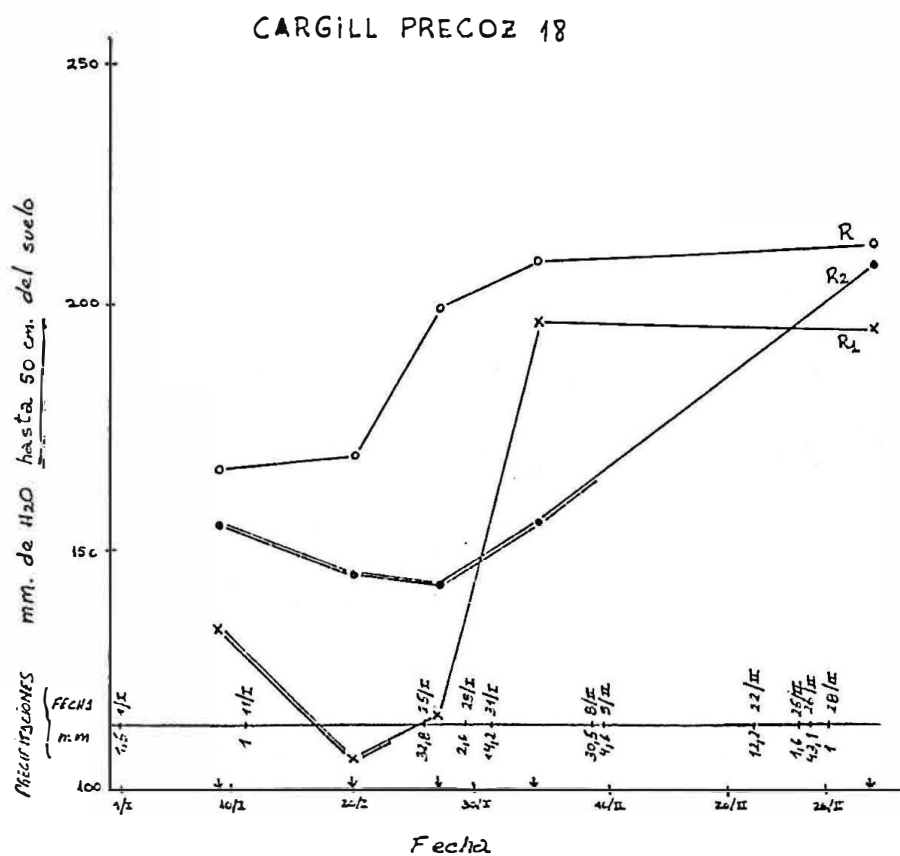
6875 R2 B III



6875 R2 B IV

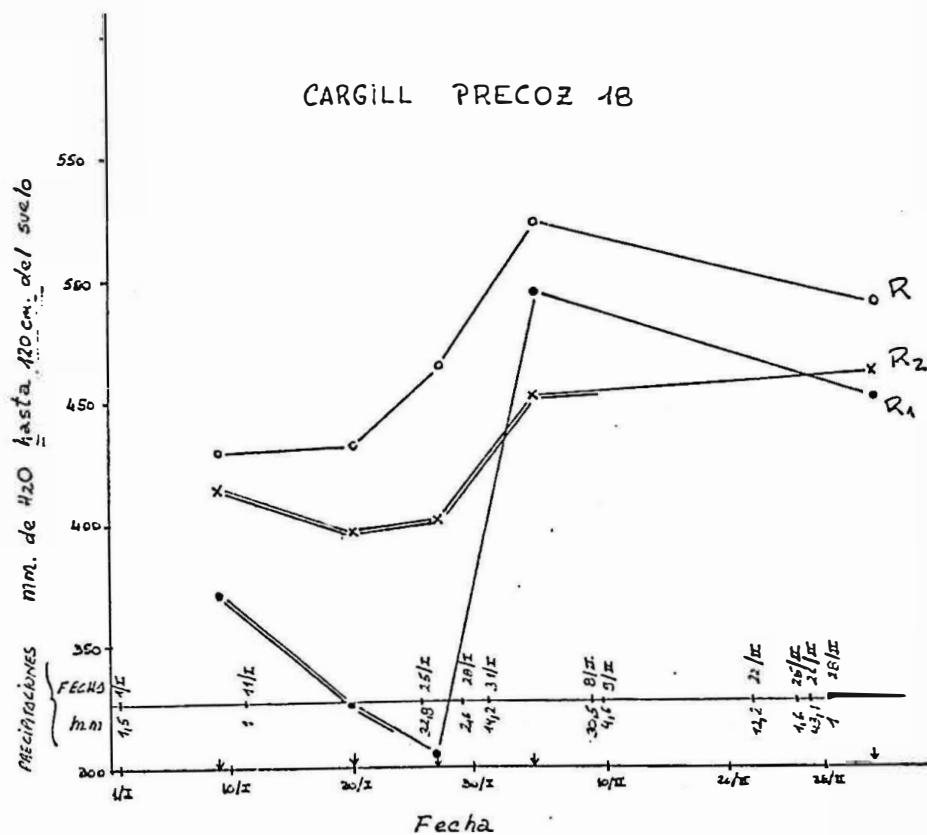


VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 50 CM. DE PROFUNDIDAD.
 CADA PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



Las flechas indican el día en que se tomó la medida.
 Las líneas dobles indican los períodos de stress.

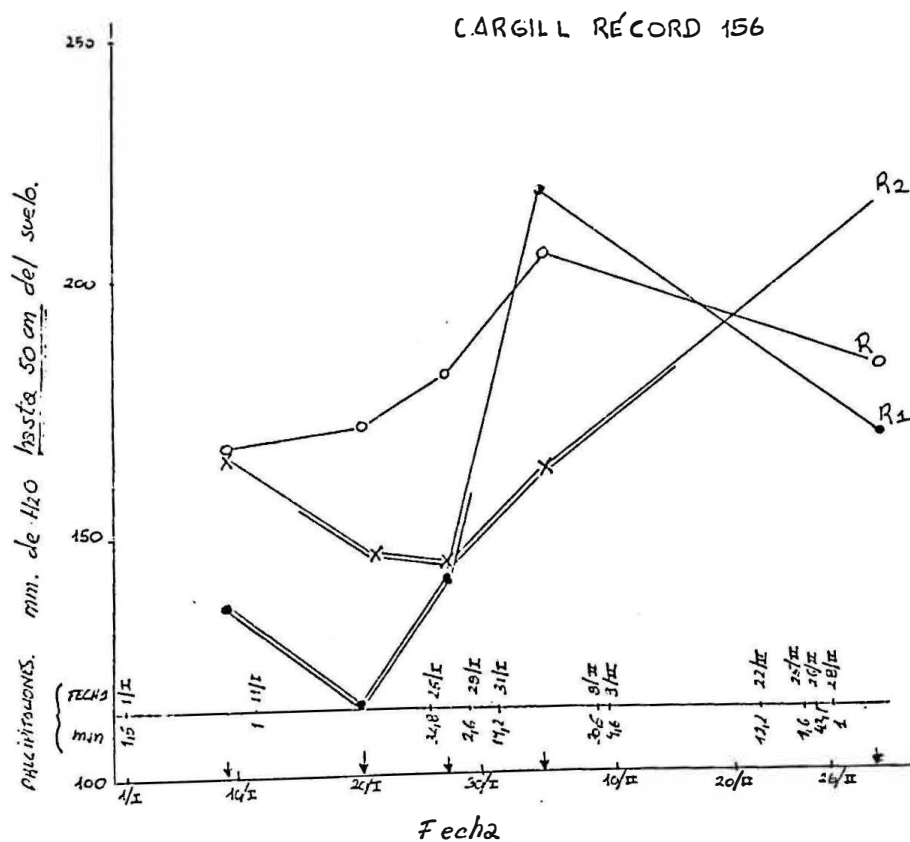
VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 120 CM DE PROFUNDIDAD.
 CADA PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



Las flechas indican el día en que se tomó la medida.
 Las líneas dobles indican los períodos de stress.

VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 50 CM DE PROFUNDIDAD.

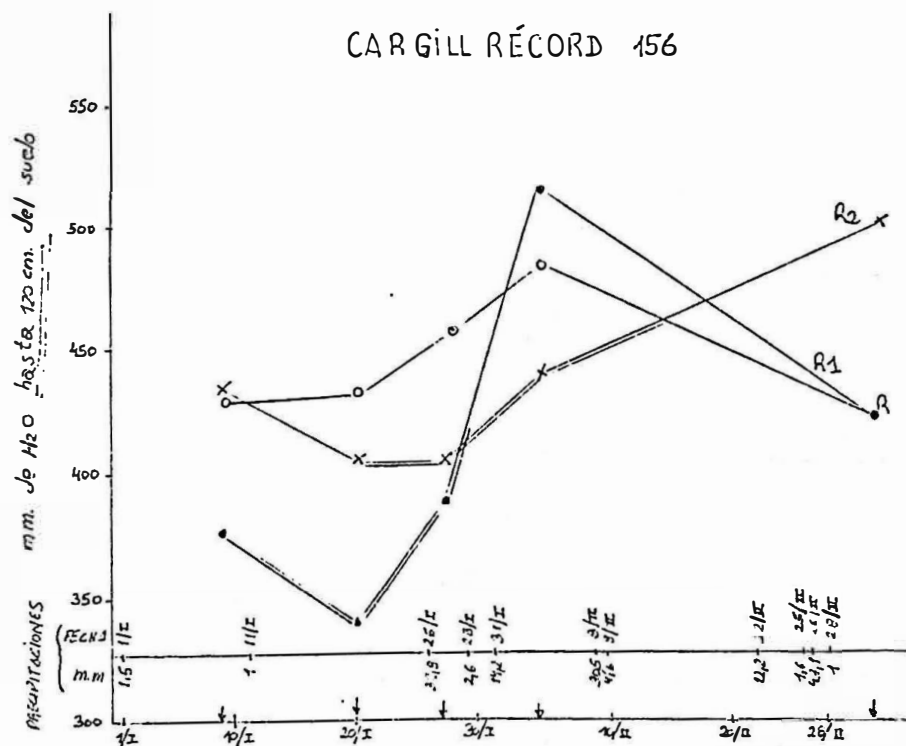
CA DA PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



Las flechas indican el día en que se tomó la medida.
Las líneas dobles indican los períodos de stress.

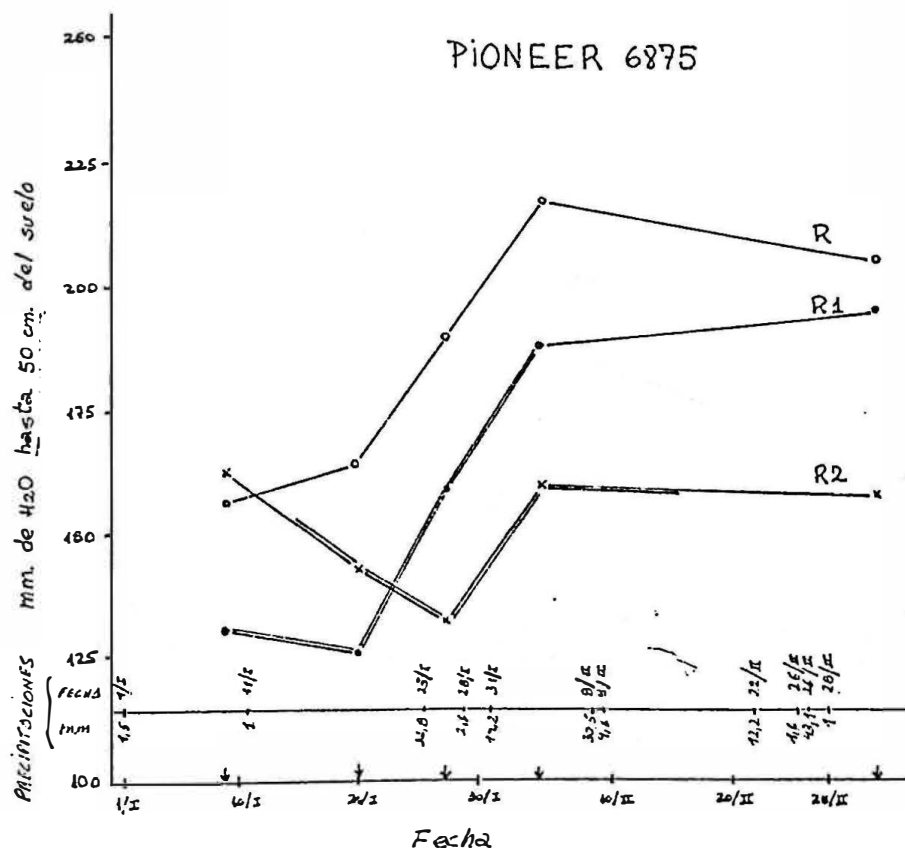
VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 120 CM DEL SUELO.

CAD. A PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



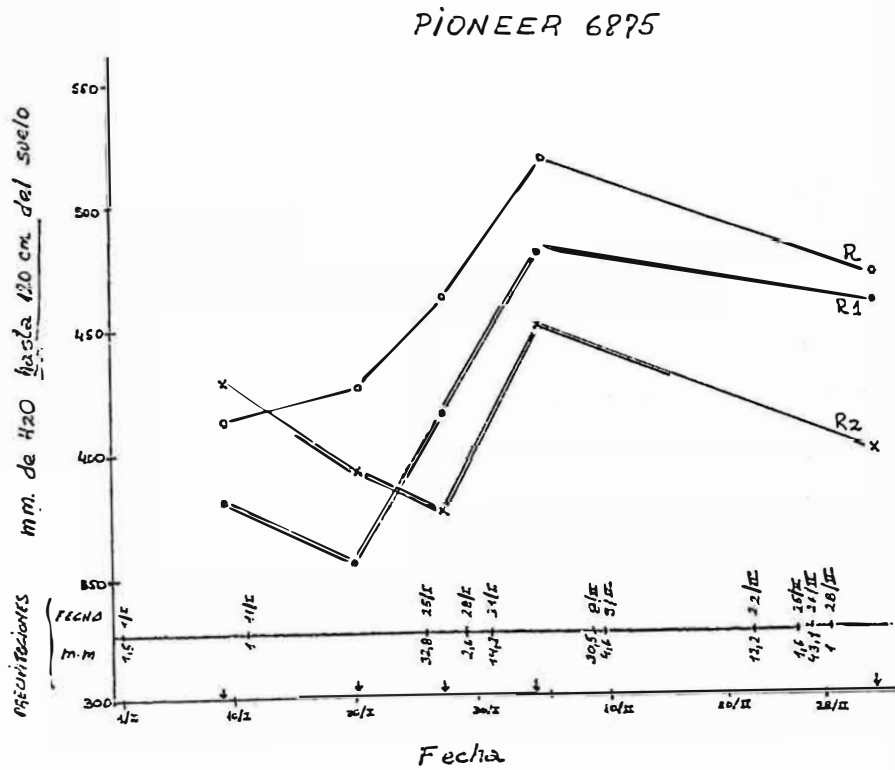
Las flechas indican el día en que se tomó la medida
las líneas dobles indican los períodos de stress

VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 50 CM DE PROFUNDIDAD.
CADA PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



Las flechas indican el día en que se tomó la medida.
Las líneas dobles indican los períodos de stress.

VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON EL TIEMPO,
HASTA 120 CM DE PROFUNDIDAD.
 CADA PUNTO ES EL PROMEDIO DE DOS REPETICIONES.



Las flechas indican el día en que se tomó la medida.
 Las líneas dobles indican los períodos de stress.

Cuadro No. 8 PRECIPITACIONES REGISTRADAS DURANTE
 LOS MESES DE NOVIEMBRE '86 A FEBRERO
 '87 EN EL ENSA YO.

MES	DIA	MILIMETROS
NOVIEMBRE	2	1,8
"	3	4,0
"	10	33,2
"	16	23,0
"	19	41,0
"	22	21,0
"	25	25,6
"	28	19,0
"	29	3,9
TOTAL		172,5
DICIEMBRE	2	1,8
"	3	7,7
"	16	2,4
"	20	11,2
"	21	5,5
TOTAL		28,6
ENERO	1	1,5
"	11	10,3
"	25	32,8
"	28	2,6
"	31	14,2
TOTAL		61,4
FEBRERO	8	30,5
"	9	4,6
"	22	12,2
"	25	1,6
"	26	43,1
"	28	1,5
TOTAL		93,5

Cuadro No. 9 DATOS DEL ANALISIS DEL SUELO DONDE
SE REALIZO EL ENSAYO.

PH (H ₂ O)	PH (KCl.)	% MO	K (meq/100 gr)	P(ppm)
5,8	5,0	3,8	0,30	20,0

Cuadro No. 10 RIEGOS EFECTUADOS EN EL ENSAYO.

FECHA	MILIMETROS DE AGUA
12/XII/86	80
31/XII/86	75
02/01/87	75
13/01/87	135
26/01/87	60
29/01/87	165
05/II/87	150
11/II/87	225
23/II/87	130
=====	

ANALISIS DE VARIANZA: RENDIMIENTO EN GRANO

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F _o
BLOQUES	3	16628781		
TRATAMIENTOS	8	50602814	6325351,7	7,1**
híbridos	2	2417039	1208519,4	1,4
a. CR x P6875-P18	1	640334,7	=	0,7
b. P6875 x P18	1	1776704,1	=	1,99
riego	2	45242363	22621181	25,4**
c. R x R1-R2	1	43740863	=	49,1**
d. R1 x R2	1	1501500,3	=	1,68
interacción	4	2935900,7	733975,2	0,82
a x c	1	2599887,5	=	2,92 ^o
a x d	1	171004,7	=	0,19
b x c	1	47188,02	=	0,05
b x d	1	117820,56	=	0,13
ERROR	24	21384592	891024,6	
TOTAL	35	88616187		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

CM= Cuadrado Medio

x = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

^o= Significativo al 10%

ANALISIS DE VARIANZA: INDICE DE COSECHA

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F ₀
BLOQUES	3	239,417		
TRATAMIENTOS	8	1987,501	248,437	4,68**
híbridos	2	1287,167	643,583	12,12**
a. P18 x P6875-CR	1	1275,125	=	24,03
b. P6875 x CR	1	12,042	=	0,23
riego	2	617,167	308,583	5,81**
c. R x R1-R2	1	595,125	=	11,21**
d. R1 x R2		22,042	=	0,42
interacción	4	83,167	20,792	0,39
a x c	1	33,0625	=	0,62
a x d	1	3,521	=	0,07
b x c	1	7,53	=	0,14
b x d	1	39,063	=	0,74
ERROR	24	1273,833	53,07	
TOTAL	35	3500,750		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

* = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ANALISIS DE VARIANZA: INDICE DE AREA FOLIAR (15/I/87)

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F _o
BLOQUES	3	0,523		
TRATAMIENTOS	8	11,29	1,411	6,42**
híbridos	2	9,45	4,725	21,5**
a.P6875 x CR-P18	1	8,134	=	37,01**
b.CR x P18	1	1,316	=	5,99**
riego	2	0,624	=	1,42
c.R x R1-R2	1	0,144	=	0,65
d.R1 x R2	1	0,487	=	2,22
interacción	4	1,216	0,304	1,38
a x c	1	0,093	=	0,42
a x d	1	0,266	=	1,21
b x c	1	0,016	=	0,07
b x d	1	0,841	=	3,83
ERROR	24	5,274	0,220	
TOTAL	35	17,087		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

* = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ANALISIS DE VARIANZA: ALTURA DE PLANTAS (10/I/87)

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F _o
BLOQUES	3	0,129		
TRATAMIENTOS	8	0,226	0,028	1,60
híbridos	2	0,016	0,008	0,452
a. P6785 x P13-CR	1	0,016	=	0,90
b. P18 x CR	1	$2,04 \times 10^{-4}$	=	0,01
riego	2	0,131	0,065	3,707*
c. Rx R1-R2	1	0,079	=	4,49*
d. R1 x R2	1	0,051	=	2,91
interacción	4	$1,28 \times 10^{-3}$	=	0,07
a x c	1	$1,28 \times 10^{-3}$	=	0,07
a x d	1	0,016	=	0,89
b x c	1	$6,02 \times 10^{-4}$	=	0,03
b x d	1	0,061	=	3,47
ERROR	24	0,424	0,01766	
TOTAL	35	0,779		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

CM= Cuadrado Medio

* = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ANALISIS DE VARIANZA: PORCENTAJE DE PLANTAS VOLCADAS A LA COSECHA.

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F ₀
BLOQUES	3	276,166		
TRATAMIENTOS	8	2228,787	278,598	2,10
híbridos	2	887,753	443,876	3,35
a. PG875 x P18-CR	1	877,107	=	6,63*
b. P18 x CR	1	11,344	=	0,08
riego	2	988,955	494,477	3,74*
c. R x R1-R2	1	585,390	=	4,43*
d. R1 x R2	1	404,260	=	3,06
interacción	4	352,079	88,020	0,66
a x c	1	315,654	=	2,39
a x d	1	12,813	=	0,10
b x c	1	11,407	=	0,09
b x d	1	12,602	=	0,09
ERROR	24	3174,714	132,280	
TOTAL	35	5679,666		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

CM= Cuadrado Medio

* = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

ANALISIS DE VARIANZA: PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL
GRANO (AL 3/IV/87).

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F _o
BLOQUES	3	81,705		
TRATAMIENTOS	8	1021,791	127,723	12,55**
híbridos	2	961,552	480,776	47,24**
a. P6875 x P18-CR	1	731,531	=	78,28**
b. P18 x CR	1	230,020	=	22,60**
riego	2	28,407	14,203	1,39
c. R x R1-R2	1	9,68	=	0,95
d. R1 x R2	1	18,727	=	1,84
interacción	4	31,832	7,958	0,78
a x c	1	4,663	=	0,45
a x d	1	12,403	=	1,22
b x c	1	14,083	=	1,38
b x d	1	0,723	=	0,07
ERROR	24	244,252	10,177	
TOTA L	35	1347,747		

GL= Grados de Libertad

SC= Suma de Cuadrados

CM= Cuadrado Medio

* = Significativo al 5%

**= Significativo al 1%

REVISION BIBLIOGRAFICA

1. RELACIONES HÍDRICAS SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

La importancia ecológica del agua se debe a su importancia fisiológica. Casi todos los procesos vegetales están directa o indirectamente afectados por abastecimiento de agua.

La disminución del contenido hídrico se acompaña de pérdida de turgencia, cese del crecimiento celular, cierre de los estomas, reducción de la fotosíntesis e interferencia con muchos procesos metabólicos básicos.

Finalmente la deshidratación prolongada causa la desorganización del protoplasma y la muerte de la mayor parte de los organismos. (Kramer, 1974; citado por García, 1984).

Al contenido de agua que posee el suelo luego de 1 a 3 días de ser saturado, cosa que puede ocurrir por lluvia o por riego, se le llama Capacidad de Campo.

En muchos países (incluido Uruguay), se utilizan como estimadores de la Capacidad de Campo de los diferentes horizontes del suelo, los valores obtenidos en muestras perturbadas a $-0,33$ atm de U_m ; o en muestras imperturbadas a $-0,1$ atm de U_m en el laboratorio.

El contenido de agua en el suelo en el cual una planta marchita no recupera la turgencia aunque se la coloque en una atmósfera saturada por 12 horas, es conocido como Punto de Marchitez Permanente. Numerosos experimentos mostraron que cuando las plantas mesofíticas presentan marchitez permanente, el potencial agua en el suelo está alrededor de -15 a -16 bars. ó atm.

El Agua Disponible para las plantas es la cantidad de agua retenida en un horizonte de un suelo entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. (García, 1984). (Ver Fig. 1).

El agua tiene naturalmente dos caminos para pasar desde el suelo hacia la atmósfera. Uno de ellos es a través de las plantas, que constituye lo que denominamos proceso de transpiración. El otro camino es pasando directamente desde el suelo a la atmósfera, por el proceso de evaporación. La conjunción de estos dos procesos es lo que se denomina evapotranspiración. (Fernández, 1984).

Evapotranspiración Potencial es la combinación de evaporación y transpiración de un suelo con abundante humedad y con su superficie cubierta de vegetación. Cuando se compara evapotranspiración potencial con precipitaciones resulta evidente porqué los déficits de humedad ocurren frecuentemente durante los períodos de mayores tasas de crecimiento. (Gardner, et al, 1985). (Ver fig 2).

La eficiencia con que las plantas utilizan el agua es de interés, especialmente en lugares donde este elemento es el factor limitante de los cultivos. La eficiencia se mide por la relación entre el agua perdida y la materia seca formada, cociente llamada coeficiente transpiratorio (CT) o requerimiento hídrico:

$$CT = \frac{\text{unidades de agua perdida}}{\text{unidades de materia seca producida}}$$

Las medidas efectuadas en numerosas plantas arrojan resultados que van desde 200 a 2000, y excepciones como el ananá que va desde 25 a 40. Encontramos al maíz con resultados que indican su alta eficiencia en el uso de agua. (168 a 200).

El CT es influenciado por la fotosíntesis y la transpiración de manera pues que no es una constante para cada especie, sino que fluctúa de año a año.

La producción de materia seca es el factor que hace variar más significativamente la eficiencia en razón a que la fotosíntesis aumenta o disminuye más rápidamente que la transpiración. Por lo tanto es más factible aumentar la producción de materia seca (y por consiguiente la eficiencia) cultivando variedades de alta actividad fotosintética; sistemas radiculares muy expandidos, fertilizaciones adecuadas, siembras con densidades óptimas para las condiciones hídricas de la región, que reducir la transpiración.

Es posible disminuir la pérdida de agua por medio de sustancias antitranspirantes, pero generalmente estos métodos traen aparejados reducciones en otras funciones de las plantas por ejemplo la fotosíntesis.
(Sivori, et al. 1980)

2. RESPUESTA DE LAS PLANTAS AL DÉFICIT HÍDRICO

El agua a menudo limita el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La respuesta de las plantas al déficit hídrico dependerá de su actividad metabólica, de su morfología, de su estado de crecimiento y de su potencial de rendimiento. (Gardner, et al. 1985).

El orden en que se ven afectadas las funciones de la planta frente a un déficit de humedad se muestra en la Tabla 1.

Las plantas tienen diferentes mecanismos de resistencia al stress hídrico. Ellos son:

- 1) ESCAPE mediante un rápido desarrollo fenológico.
- 2) TOLERANCIA a altos valores de U_{lm} :
 - a) por reducción de la pérdida de agua
 - b) por mantenimiento de la absorción de agua.

ESCAPE: es un mecanismo que permite a la planta desarrollar su ciclo en un período en que no exista déficit hídrico. Puede ocurrir a través de un rápido desarrollo fenológico, en el cual la planta por el estímulo de una lluvia crece y se desarrolla en un período corto de tiempo, tratando de escapar a la sequía. Se da en plantas efímeras.

También una planta puede escapar al déficit hídrico a través del desarrollo de plasticidad, por ejemplo, formando un menor número de granos para que éstos sean mejor llenados; o desarrollando un menor número de macolllos para que sean más vigorosos, etc.

TOLENCIA: son mecanismos que en su mayoría permiten la sobrevivencia de la planta y permiten obtener rendimientos muy similares a los normales.

Las plantas que incrementan la resistencia de los estomas, los cierran antes que otras especies evitando así las pérdidas de agua. Este mecanismo interfiere con la producción de hidratos de carbono, por lo que determina bajas en el rendimiento final del cultivo.

El movimiento de las hojas puede ser pasivo o activo (dependiendo de las especies), tratando que la absorción de luz sea menor. Aumentos en la pubescencia y en la cerosidad tienen el mismo objetivo.

La reducción del área foliar determina menor número de estomas y por lo tanto menor pérdida de agua. Este mecanismo también significa reducciones en el rendimiento del cultivo.

El mantenimiento de la absorción radicular se basa en la capacidad de determinadas especies de desarrollar sistemas radiculares más densos y de mayor longitud frente a una situación de déficit hídrico.

3. EFFECTO DEL DEFICIT HIDRICO SOBRE ALGUNOS PROCESOS FISIOLOGICOS

El efecto del déficit hídrico sobre los procesos fisiológicos depende de la intensidad, frecuencia y duración del desequilibrio, así como del estado de crecimiento y desarrollo de la planta.

CRECIMIENTO

La expansión celular es el proceso más sensible al déficit hídrico, mucho más que la división celular. Una reducción de -2 atm. en el potencial agua de las hojas de maíz disminuye en forma acentuada su expansión y la paraliza si el decrecimiento es de -7 atm.

La acción depresora depende del grado stress hídrico. Si éste ha sido moderado y persistió durante un período corto, el daño se compensará si luego la planta crece en condiciones favorables.

Cuando el déficit hídrico es más duradero y/o severo, la recuperación es menos probable. Es muy importante el estado de crecimiento. Cuando el déficit coincide con los períodos de sensibilidad máxima de la planta a la falta de agua (período crítico), el daño es irreversible.

FOTOSINTESIS

Cuando la planta está sometida a un desequilibrio

hídrico este proceso disminuye su intensidad, o cesa por completo cuando el mismo es severo. (Ver Fig. 3).

Esto es debido principalmente al cierre de los estomas que impiden el pasaje de CO_2 a los cloroplastos. Los estomas se cierran cuando el stress alcanza cierta intensidad que depende de las especies.

Se ha observado que en las hojas el déficit hídrico aumenta el ácido abscísico (ABA), regulador que inhibe la apertura estomática, mientras que las citoquininas, que la promueven, disminuyen.

Sobre esto se ha supuesto que el cierre de los estomas de las plantas sometidas a sequías se debe al incremento de la síntesis del ABA en las hojas.

Si el déficit hídrico es muy severo, la falta de hidratación de las hojas altera, además, la maquinaria fotosintética y en consecuencia el problema de fijación de CO_2 . El tiempo de recuperación depende de la severidad del déficit, pero por lo general se necesitan de uno a varios días.

RESPIRACION

La respiración "oscura" (mitocondrial) y la fotorespiración disminuyen de manera acentuada con un desequilibrio hídrico, sea este moderado o severo.

TRANSPIRACION

La transpiración disminuye cuando se somete a la planta a un período de sequía debido fundamentalmente a la disminución del Ψ_m de la hoja y al consecuente cierre de

los estomas. Con respecto a la relación apertura estomática / transpiración, debe considerarse que si la resistencia al movimiento del aire (R_a) es elevada el cierre parcial del poro estomático no modifica apreciablemente la transpiración. Además cuando la resistencia cuticular (R_c) es anormalmente baja a causa, por ejemplo, de la roya de la hoja, el cierre del estoma tampoco afecta la transpiración de manera significativa.

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Por lo común, la síntesis de enzimas se reduce, así como su actividad. Como ejemplo general que ocurre en los casos de desequilibrio hídrico, se puede citar la hidrólisis del almidón y de las proteínas, y la acumulación en las células de sus productos: azúcares solubles y aminoácidos.

FLORACIÓN

El desequilibrio hídrico provoca por lo general un retardo, más que una aceleración de la floración. En la mayoría de las especies una sequía en el momento de la floración acelera la senescencia de los órganos reproductores y ocasiona el cese de la antesis antes de lo normal. Este fenómeno reduce, pues, el número de frutos y semillas que producen.

ABSCISIÓN DE LAS HOJAS

Un déficit prolongado de agua provoca clorosis y marchitamiento de las hojas, síndrome este que depende de la resistencia mecánica de sus tejidos. Existen evidencias de que la falta de agua en las hojas causa un aumento

de la síntesis del ABA, y que esta hormona causa la caída de aquellas.

En las plantas herbáceas los efectos de la sequía se observan inicialmente en las hojas inferiores y luego en las apicales. (Sivori et al, 1980)

Sin embargo, según Aldrich y Leng (1974), la "quemazón" de las hojas inferiores del maíz en tiempo seco, se atribuyó equivocadamente a la falta de agua, pero en la actualidad se sabe que la ocasiona una deficiencia de nitrógeno agravada por el tiempo seco. Con este nuevo descubrimiento resulta evidente que en una estación seca no es necesario reducir la densidad de población tanto como antes se lo creía.

Cuando disminuye el Ψ_m de la hoja bruscamente, se produce la muerte súbita de las hojas, pero estas permanecen verdes y adheridas a la planta en razón de no funcional el mecanismo normal de abscisión a causa de la inhibición de la síntesis del ABA.

ABSCISION DE NUTRIENTES

Cuando existe déficit hídrico el movimiento de agua dentro del suelo es relativamente lento; si el crecimiento de la raíz no es rápido para explorar sitios del suelo donde existe suficiente agua libre y solutos disueltos, el suministro de minerales a la planta se afecta.

La transpiración no afecta mucho la absorción de iones. No obstante su traslado hacia las hojas depende mucho de este proceso. Experiencias indican que en ausencia de transpiración los iones se mueven lentamente hacia las hojas y con frecuencia no llegan a las situadas en la parte superior de la planta. Por consiguiente es lógico que en períodos de sequía, en el cual disminuye el proceso transpiratorio, la velocidad de movimiento de los nutrientes minerales y de otras sustancias sintetizadas en las raíces también decrezcan. (Sívori et al, 1980)

IMPORTANCIA DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ AGUA Y DENSIDAD DE POBLACION:

La necesidad de agua no aumenta en proporción directa al incremento de la población de plantas. Si bien un mayor número de plantas por hectárea necesita más agua, su consumo no aumenta linealmente con la densidad. Esto es debido a que las pérdidas de agua del suelo se producen tanto por la transpiración de las hojas de maíz como por evaporación directa desde la superficie del suelo. (Aldrich y Long, 1974).

La irrigación de maíz cultivado a una densidad de plantas por lo menos dos veces y media mayor que la aconsejada para condiciones de secano, ha permitido lograr a nivel experimental rendimientos notablemente más altos que los obtenidos normalmente en el país. Esto confirma que el déficit hídrico estival es la limitante fundamental de los rendimientos de maíz en el Uruguay. (De León y Capurro, 1984).

AGUA Y PROCESOS FISIOLOGICOS

Tollenaar (1977), estudiando las relaciones entre fuente y lugares de utilización durante el desarrollo reproductivo del maíz observó que algunos fenómenos ambientales tales como sequía, baja radiación, deficiencias minerales, etc., generalmente alargan el período desde la siembra a la emergencia de barbas; pero la mayoría de la literatura acerca del efecto del ambiente como determinante de la iniciación floral es inconclusa.

Muchos estudios indican que sólo se afecta el número final de granos, y no se conoce si los factores ambien-

tales afectar el número final de granos que fallan y no llegan a madurar.

Cuando el rendimiento del maíz está afectado por la capacidad de la espiga como lugar de utilización de asimilatos, se podrá aumentar aquél concentrando la atención en los estados de desarrollo en que dicha capacidad se determina (ej.: durante la floración). Existe evidencia de que la capacidad de la espiga está relacionada con el suministro de asimilatos durante la floración.

Si bien en la mayoría de los casos los rendimientos se ven afectados por los lugares de utilización de asimilatos, pueden ocurrir limitaciones debidas a las fuentes de asimilatos. Esto puede atribuirse en parte a una temprana senescencia foliar. Cuando este fenómeno se constata, los rendimientos pueden incrementarse aumentando el IAF (ya sea aumentando el área foliar por planta, y/o aumentando la densidad de población); extendiendo el DAF hasta después de la emergencia de barbas y aumentando la TAN, lo cual redundará en un aumento de la fotosíntesis total de la planta.

Barlow et al, (1976), estudiando la interacción entre la elongación foliar, la fotosíntesis y los niveles de carbohidratos de plantas de raíz, creciendo bajo condiciones de stress hídrico, observaron que la tasa de crecimiento de un cultivo en el estado vegetativo depende de la tasa con que aumenta el área fotosintética y de la tasa de fotosíntesis por cm^2 de hoja.

En vista de la gran tolerancia de la fotosíntesis a bajos Ψ_m de las hojas, es posible que el déficit hídrico que ocurre en las horas del día tenga poco efecto directo en la fotosíntesis. Sin embargo, puede ser afectada indirectamente por restricciones en la elongación foliar. Estos experimentos demostraron que cuando debido a factores ambientales se produce una reducción en el tamaño de los lugares de utilización, se puede producir una acumulación de fotosintatos tanto en las hojas que se comportan como fuente o como lugar de utilización de asimilatos. Esto puede ocurrir por ejemplo durante el stress hídrico que se produce durante las horas del día.

La acumulación de fotosintatos en la hoja "fuente" era acompañada por una reducción en la Tasa de Fotosíntesis Neta (TFN) de esa misma hoja. En consecuencia, estos experimentos sostienen que la tasa de crecimiento foliar puede tener influencia indirecta en la tasa de fotosíntesis neta.

Reicosky et al., (1975), demostraron que debido a la resistencia que existe en el suelo y la planta al movimiento del agua, esta no es absorbida lo suficientemente rápido para reponer la que se pierde por transpiración, aún cuando el gradiente de Ψ_w en la planta haya crecido y el Ψ_m del suelo sea muy alto.

Este gradiente refleja el balance entre demanda atmosférica y la tasa de extracción de agua (la cual es controlada por el sistema radicular.)

Al atardecer, cuando la demanda atmosférica es baja, el gradiente decrece porque el agua se mueve hacia la hoja aumentando rápidamente su potencial agua.

Debido a que es el Ψ_w de la hoja el que controla la elongación celular, la tasa de crecimiento durante el día es aparente. Estos resultados confirman que en el maíz el crecimiento se da principalmente durante la noche, cuando la radiación es mínima.

El descenso de la tasa de crecimiento a altas intensidades de luz se debe probablemente a aumentos en la transpiración que cambian el balance del Ψ_w de la hoja.

Existe poca información acerca de la influencia del estado de desarrollo de la planta en el Ψ_w de la hoja. En la Fig. 4 se ven graficados los mínimos Ψ_w de las hojas en función de la edad para plantas que crecieron sin déficit de agua. Los valores corresponden a los mínimos que tomaron las plantas creciendo con suficiente agua. Previo a la emergencia de la flor masculina, el mínimo Ψ_w fue aproximadamente -11 bars. Pero luego de la emergencia de barbas el valor fue de -19 bars.

Esta diferencia estaba asociada aparentemente con el cambio de estado vegetativo al reproductivo.

Cuando las flores masculinas emergieron, las plantas habían alcanzado aproximadamente 55% del rendimiento final de materia seca, y el 85% de la máxima área foliar. De acuerdo con estos resultados, el Ψ_w de la hoja durante el estado vegetativo, es un buen indicador del grado de stress de la planta. Sin embargo, debido a la independencia del Ψ_w de la hoja en un amplio rango de Ψ_m del suelo durante el estado reproductivo, la interpretación

de los U_w de la hoja es incierta.

Esto es extraño ya que la mayoría de los cultivos son sensibles al U_m del suelo durante su estado reproductivo. Estas observaciones indican la necesidad de evaluar cuidadosamente el stress hídrico de los cultivos, a través de todo el ciclo de crecimiento.

AGUA Y RENDIMIENTOS

Aldrich (1974), afirma que la falta de agua constituye la principal limitante para obtener mayores rendimientos en el cultivo de maíz.

Sin embargo, el maíz es uno de los cultivos más eficientes en la producción de materia seca en relación al agua que utiliza . (Ver Fig. 5)

Capurro, E. (1984), estudió la relación existente entre rendimiento y precipitaciones estivales. Para las precipitaciones de diciembre, para cada mm. de lluvia hay un aumento de rendimiento de grano de 4,4 kg/há lo que hace un total de 1000 kg/há con 220 mm. Esto indica una sensibilidad del rendimiento del maíz a las lluvias de diciembre que estan en el orden de lo encontrado en el cinturón maicero de EEUU.

Para las precipitaciones de enero, por cada mm. de lluvia hay un aumento de rendimiento de grano de 18,2 kg/há lo cual significa unos 4000 kg/há con 200 mm. Aparentemente los rendimientos de maíz a nivel experimental en La Estanzuela son más dependientes de las precipitaciones de enero que los rendimientos del cinturón maicero de EEUU. La hipótesis más razonable para explicar esto son diferencias en la cantidad de agua disponible en el suelo a comienzos de enero, y en la

magnitud de la evapotranspiración real.

En relación al primer factor es de señalar que en el cinturón maicero comunmente los cultivos extraen agua hasta 1,5m de profundidad, mientras que en los suelos agrícolas de Uruguay frecuentemente aparecen horizontes que restringen marcadamente el desarrollo radicular por debajo de los 40 cm. del suelo.

En relación al segundo factor, los suelos de la Estanzuela normalmente presentan rajaduras en el verano.

La literatura internacional indica que las rajaduras producen un aumento en la evaporación de agua del suelo.

Con respecto a las precipitaciones de febrero, por cada mm. de lluvia hay un aumento del rendimiento de 30 kg. de grano por hectárea.

En el cinturón maicero de EEUU la dependencia no es tanta como en La Estanzuela. Las posibles causas de esto son que para el 1o. de agosto la cantidad promedio de agua disponible en los suelos de Iowa es de 143 mm. mientras que Capurro (1973) en 110 cm de profundidad midió el 27 de enero en un verano seco en La Estanzuela 72 y 54 mm. en tratamientos con riego y sin riego respectivamente. (Capurro, E. 1984)

Hofstadter, (1983), encontró una alta correlación entre las variaciones que presentaban los rendimientos de maíz sin riego y la variación de las lluvias durante los meses de verano.

Leeper et al. (1974), estudiaron el efecto de la disponibilidad de agua almacenada en el suelo sobre el rendimiento del maíz. El estudio se hizo para condiciones climáticas constantes y variables.

Para condiciones climáticas constantes concluyeron que:

- 1) La mayoría de las variaciones en el rendimiento de un cultivo estaban correlacionadas con la profundidad de arraigamiento, la capacidad de retención de agua en la zona radicular, o con la disponibilidad de agua para la planta semana tras semana.
- 2) Los aumentos de rendimiento por aumentos en la disponibilidad de agua para la planta variaban considerablemente con lo benévolo de la estación, e iban desde 25 a 339 kg/há/10 mm. de agua.
- 3) Con altos niveles de fertilidad y con manejos adecuados, la importancia del suelo en el crecimiento del maíz estaba relacionado a aquellas propiedades que afectaban la capacidad de retención de agua.

Cuando variaron las condiciones climáticas, estos autores encontraron que las diferencias en el rendimiento entre suelos, localidades, y entre años dentro de localidades, eran debidas a diferencias climáticas (precipitación y temperatura); y a diferencias en la capacidad de los suelos de suministrar agua.

El agua disponible almacenada en el suelo, medida semanalmente, explicaba menos la variación del rendimiento comparado con la profundidad radicular o con la cantidad de agua disponible previa al cultivo.

Lobins y Domingo, (1953), estudiaron el efecto de déficits de humedad en diferentes estados de crecimiento del cultivo de maíz. El ensayo consistió en seis tratamientos de riego dispuestos en bloques al azar.

Concluyeron que la pérdida de humedad del suelo hasta el Punto de Marchitez Permanente en determinados estadios de crecimientos provocaba una marcada reducción en los rendimientos del cultivo. Tales déficits por períodos de 1 o 2 días durante la floración masculina o durante la polinización, provocaron una reducción del 22%; y períodos de 6 a 8 días provocaron una reducción del 50%.

Reducciones en el rendimiento debidas a la ausencia de agua disponible después de la polinización parecieron estar relacionadas con la madurez del grano. Luego de alcanzada la madurez, el déficit de agua disponible no tuvo efecto sobre el rendimiento, ni tampoco influyó el contenido de humedad del grano, espiga, tallo y hojas.

El uso de agua por el cultivo estuvo marcadamente afectado por los regímenes hídricos. Cuando se produjo un déficit durante la polinización, el uso del agua bajó por una reducción en el tamaño de las plantas así como también por una reducción en la transpiración. La pérdida de agua disponible ocurrida antes de la madurez redujo el uso de agua, mientras que una pérdida similar luego de la madurez tuvo poco efecto.

Denmead y Shaw, (1960), también estudiaron el efecto del déficit hídrico impuesto en diferentes estadios de desarrollo, sobre el rendimiento y desarrollo del maíz. Los tratamientos aplicados fueron siete:

- 1) testigo sin stress de humedad en todo el ciclo,
- 2) stress en el estado vegetativo,
- 3) stress en la emergencia de barbas,
- 4) stress en la espigazón,
- 5) stress en el estado vegetativo + stress en emergencia de barbas,
- 6) stress en el estado vegetativo + stress en la espigazón,
- 7) stress en emergencia de barbas + stress en la espigazón.

El estado vegetativo se consideró desde 30 días luego de sembrado hasta el comienzo de la floración masculina, y tuvo una duración de 30 días.

El estado de emergencia de barbas comenzó con la floración masculina hasta 5 días después en que el cultivo estaba 75% con barbas afuera; su duración fue de 17 días.

La espigazón comenzó 5 días después que el cultivo tenía 75% de barbas emergidas y duró 30 días.

Las características medidas fueron: altura de planta, largo de la espiga, superficie de la hoja en la base de la espiga, asimilación (medida como el total de materia seca producida de grano y parte aérea, y el rendimiento en grano.

Estos autores concluyeron que la elongación del tallo se reducía por un stress en el estado vegetativo, es decir que las plantas sujetas a stress en este estadio eran más bajas que las no sujetas a stress.

La variabilidad era tal, que esa reducción en la altura sólo era significativa cuando el stress era impuesto en el estado vegetativo y en la emergencia de barbas.

El largo de las espigas mostró un comportamiento similar al de los tallos.

El área foliar sufrió un menor desarrollo en todos los tratamientos donde el déficit era impuesto, mientras que las plantas estaban en crecimiento.

En cuanto a la asimilación, Denmead y Shaw concluyeron que las reducciones provocadas por un déficit en el estado vegetativo eran consecuencia directa de una menor área foliar; mientras que las provocadas por un déficit en el estado de emergencia de barbas eran consecuencia tanto de una menor área foliar como de una interferencia en la asimilación en un período particularmente sensible.

El rendimiento en grano fue afectado más que cualquiera de las características de la planta, en todos los estadios de crecimiento.

Las reducciones en el rendimiento provocadas por déficits de humedad en los estadios vegetativos, emergencia de barbas y espigazón fueron 25%, 50% y 21% respectivamente.

Wearsan y Phillips, (1978), estudiaron el efecto del stress de agua en el suelo sobre el crecimiento y la acumulación de nutrientes en el cultivo de maíz. De sus datos se concluye que el rendimiento final del maíz es la resultante de numerosos efectos interrelacionados, que actúan sobre los distintos procesos fisiológicos.

En relación al déficit hídrico, parecería que la evapotranspiración sería más responsable de los efectos del stress en la producción de materia seca y en la acumulación de nutrientes, que el propio potencial agua del suelo.

Eck, (1986), estudió los efectos del déficit hídrico en el rendimiento del maíz, en los componentes del rendimiento y en la eficiencia del uso del agua, cuando el cultivo crecía en condiciones de riego.

En los tratamientos que imponían 2 y 4 semanas de stress durante el crecimiento vegetativo, el rendimiento en grano se redujo en un 23% y 46% respectivamente.

Luego de alcanzada la madurez, por cada día que se mantenía el stress, el rendimiento caía un 1,2%.

Cuando el déficit comenzó 41 días luego de la siembra y duró 4 semanas, se redujo la acumulación de materia seca en hojas, tallos y espigas durante todo el ciclo.

Cuando el déficit comenzó 55 días luego de la siembra y duró 2 semanas, no afectó la acumulación de materia seca en las hojas, pero redujo el crecimiento de los tallos durante 45 días. La explicación de este fenómeno es que en el primer déficit, ni las hojas ni los tallos estaban completamente desarrollados, por lo que ambos se vieron afectados.

Por el contrario, en el segundo déficit (dos semanas más tarde) las hojas ya estaban desarrolladas y sólo se afectó el crecimiento del tallo.

Los tratamientos que experimentaron déficits durante el crecimiento del tallo luego traslocaron menos materia seca para el llenado de grano en relación a los tratamientos que recibieron agua sin restricciones.

En cuanto a los componentes del rendimiento, los datos muestran que los déficits durante los estadios vegetativos tenían comparativamente poco efecto en el peso de cada grano en todos los tratamientos donde eran impuestos. Estas reducciones tendían a ser proporcionales a la duración de los déficits.

El número de granos se redujo por déficits hídricos durante el crecimiento vegetativo. Dado que el tamaño potencial de la espiga y el número de óvulos formados se determinan durante el desarrollo vegetativo, se podría esperar una reducción en el número de granos por déficits de agua durante dicho período.

El stress de humedad durante el llenado de grano, en general no redujo el número de granos.

En algunos casos se produjo una compensación en el peso del grano cuando el número de granos se había visto reducido por un stress de humedad durante el estado vegetativo. Sin embargo no existen evidencias suficientes para indicar que esto siempre ocurra así.

Shaw (1983), citado por Capurro (1984), señaló que la reducción promedio en el rendimiento causada por cada día de deficiencia severa de agua es del orden del 3% a partir de 50 días después de la siembra (o 30 días antes de la aparición de los estigmas o "barbas"); luego salta abruptamente a 6% en el momento que aparecen los estigmas y baja también abruptamente a 4% (se mantiene en este nivel durante 30 días), y cae luego rápidamente hasta llegar a cero quince días después.

Sin embargo, si ocurren repetidos ciclos de deficiencia de agua o si la misma se combina con polinización y/o fecundación deficientes, los efectos pueden ser mayores. En particular una deficiencia muy severa desde cinco días después de la aparición de los estigmas produce una falla total en la cosecha.

Capurro, (1977), analizó en qué grado están limitados los rendimientos del maíz (en buenas condiciones de cultivo y en suelos de textura pesada del sur del país) por las deficiencias de agua durante su ciclo. Para ello estudió el efecto de suplementar las precipitaciones mediante riego. El ciclo del cultivo fue dividido en tres etapas de diferente sensibilidad al déficit hídrico. Se sometió al maíz a dos regímenes hídricos distintos en cada una de esas etapas; en el primero el cultivo recibió solamente aportes de agua provenientes de las precipitaciones; en el segundo éstas fueron suplementadas mediante el riego. Las etapas consideradas fueron: A) estado vegetativo del cultivo; B) estado reproductivo y principios del período de llenado de grano, finalizando con el estado de grano lechoso; C) período de llenado de grano a partir del estado de grano lechoso.

Los resultados obtenidos por el autor señalan que el agua almacenada en los 110 cm, superiores del suelo no representó una fuente importante de agua para el maíz a partir del estado de grano lechosos. También se observó que la producción total de materia seca mostró una gran respuesta al régimen hídrico en cada una de

las tres etapas consideradas, independientemente del régimen hídrico en las otras dos. La eficiencia del agua en la producción total de materia seca no fue afectada por el régimen hídrico.

La etapa que incluyó el estado reproductivo y principios del período de llenado de grano, fue donde rendimiento de grano y de materia seca, número de espigas por planta, número de granos por planta y relación peso de grano/peso total; mostraron una mayor respuesta a la suplementación de las precipitaciones mediante riego.

El período desarrollado a partir del estado de grano lechoso fue donde la suplementación de las precipitaciones produjo el mayor aumento.

Quattar et al, (1977), estudiaron el efecto del déficit hídrico en las relaciones hídricas del grano de maíz en desarrollo. De sus resultados concluyen que el déficit de agua induce cambios en la turgencia de las hojas, en la resistencia a la difusión y en la transpiración, de tal magnitud que acelera la senescencia foliar. (Ver Fig. 6).

En contraste con la respuesta de los órganos vegetativos, el crecimiento del grano continuó en plantas sometidas a déficit cuando el Ψ_w de la hoja está por debajo de -1.8 MPa. (Ver Fig. 7)

Más aún, el potencial agua, el potencial osmótico y el potencial de turgencia del endosperma no fueron afectados por déficits de humedad del suelo, independiente-

mente del momento de aplicación y de la duración.

Estos resultados demuestran claramente la independencia entre el contenido de agua de las hojas y del grano, e indican la existencia de un efecto buffer del potencial agua del grano cuando no está tolerando una desecación foliar severa.

Los datos de estos autores indican que debe ocurrir una movilización de sustratos para permitir que el crecimiento del grano continúe.

Los cambios en el peso relativo de los tallos y en la concentración de azúcar son una evidencia de la translocación de sustancias de reserva desde éstos hacia los granos.

Ambos, el peso relativo de los tallos y la concentración de azúcar, decrecen rápidamente en plantas expuestas a déficits de agua.

En contraste, la concentración de azúcares solubles totales de plantas "control" permaneció a un nivel casi constante durante el llenado de grano.

Dicha movilización de reservas desde el tallo, aparentemente permitiría que el crecimiento del grano permaneciera inalterado hasta que las reservas se agoten o hasta que no pudieran ser translocadas.

Cuando el déficit de humedad no se impuso hasta las últimas etapas del llenado de grano, las reservas de asimilatos fueron suficientes para mantener el crecimiento del grano de forma tal que el peso de grano no

fue significativamente afectado. Pero cuando el déficit se impuso en las primeras etapas del llenado de grano no ocurrió lo mismo.

En condiciones de stress de humedad, la cantidad de sustancias almacenadas que son redistribuidas hacia el grano desde el resto de la planta (incluidas las raíces) representa un 26% y 30% del total de materia seca presente al comienzo del déficit (para déficits tempranos y tardíos respectivamente).

El tallo además cumple la función de zona buffer, ya que mantiene estable su contenido de humedad y actúa como reservorio de agua para el grano.

Herrero y Johnson, (1981), estudiaron el efecto del déficit de agua en el sistema reproductivo del maíz. Ellos obtuvieron como resultado que el período de tiempo entre la emergencia de la flor masculina y la diseminación del polen no fue afectado por los tratamientos de humedad, pero hubo un acortamiento general de este intervalo en la medida en que se retrasaba la fecha de siembra.

Comparadas con las plantas control (mantenidas entre -7 y -11 bars), las medianamente stressadas (-11 a -16 bars.) y las severamente stressadas (entre -16 y -18 bars.) se retrasaron en la emergencia de la flor masculina y la emergencia de barbas, a medida que se atrasó la fecha de siembra. Este efecto resultó independiente del déficit hídrico; estaría explicado principalmente por cambios en el fotoperíodo.

El déficit hídrico durante la floración aumentó el intervalo entre la polinización y la emergencia de barbas. Con déficits severos, la emergencia de barbas ocurría después que la polinización había terminado, produciendo así un número importante de abortos o de granos mal llenados.

Estos autores concluyen que los bajos potenciales hídricos de las plantas tienen una mayor influencia en la elongación de barbas y en la consecuente sincronización con la polinización, que la viabilidad del polen.

Mc Pherson y Foyer, (1977), estudiando cómo la fotosíntesis del maíz (en condiciones de déficit hídrico) regula el rendimiento de grano, observaron también que en plantas sometidas a déficit de agua el desarrollo del grano se produce a expensas de materia seca almacenada en otras partes de la planta. Esto se manifestaba como una pérdida de peso desde el resto de la planta y principalmente desde los tallos.

Sin embargo esta compensación no siempre fue observada. No ocurrió cuando la fotosíntesis se mantuvo a través de casi todo el período de llenado de grano, y si se vió cuando la misma disminuyó durante dicho período.

Los resultados de éstos autores sugieren que a bajos valores de U_w , es la fotosíntesis (a lo largo de todo el ciclo) quien controla la producción de materia seca y los rendimientos.

5. COMPORTAMIENTO DE MATERIALES DE CICLOS DIFERENTES

De Loughery et al, (1979), estudiaron cómo era afectado el Índice de Cosecha (cociente entre peso seco de grano y peso seco de toda la parte aérea) por la densidad de población, el ciclo del cultivo y el ambiente.

Trabajaron con cinco híbridos que tenían ciclos de 75, 90, 105, 120 y 135 días a madurez relativa, creciendo en condiciones diferentes de stress hídrico, y a cinco densidades de plantas (desde 12,500 a 200000 plantas por há.).

Donde se mantuvo un déficit de humedad, los rendimientos variaron marcadamente con cambios en la densidad de población como en la madurez relativa. (Ver Tabla 2).

El máximo rendimiento se obtuvo con el híbrido de 90 días a madurez relativa con 12,500 plantas por hectórea. Cuando el déficit de humedad fue parcial, este tuvo un menor efecto en los rendimientos y también el híbrido de 90 días fue el que rindió más, pero en este caso con 50.000 pl/há. (Ver Tabla 3).

Cuando no hubo stress de humedad los rendimientos fueron menores tanto en las más bajas como en las más altas combinaciones de densidad de población y madurez relativa. (Ver Tabla 4)

El híbrido de 85 días generalmente mostró síntomas de stress a mediados de agosto (febrero para nuestro hemisferio), mientras que el de 68 días mostró síntomas más tarde y fueron generalmente menos severos.

Las fechas de emergencia de barbas defirieron 11 días entre los dos híbridos.

Solamente en 1968 el uso total de agua desde siembra a cosecha fue afectado significativamente por la densidad de población y los híbridos usados.

El uso de agua durante el crecimiento vegetativo se vió afectado solamente en 1969. Estos resultados sugieren que si hay agua disponible, el uso potencial de agua por el híbrido de maduración más tardía es mayor que el del híbrido de maduración temprana.

El hecho de que el uso total de agua (desde la siembra a la cosecha) no haya sido afectada significativamente por la distancia entre hileras, sugiere que el desarrollo lateral de las raíces fue suficiente para extraer el agua del suelo tanto a 50 cm como a 1 metro de distancia. La eficiencia de uso de agua en la producción de materia seca fue mayor en el híbrido de 85 días de madurez relativa. Sin embargo, en la producción de grano fue más eficiente en el uso de agua el híbrido de 68 días a madurez relativa. (Ver Fig. 8).

Tanto materia seca como rendimiento en grano estuvieron correlacionados linealmente con el uso de agua. (Ver Fig. 9). Las pendientes de las rectas de regresión indican que el híbrido más tardío es más sensible al suministro de agua tanto para la producción de materia seca como de grano.

En este caso, cambios en la madurez relativa no afectaron el Índice de Cosecha.

Si bien estos autores encontraron (al igual que otros) una disminución en el Índice de Cosecha por el aumento del ciclo del cultivo, esto ocurría solo en condiciones de stress y debido a interacciones; y además no tenía un efecto significativo.

Alessi y Power, (1976), trabajaron con dos híbridos de 68 y 85 días desde siembra a emergencia de barbas, a densidades de 20, 30, 40, 60 y 74 mil plantas por hectárea y a distancias entre hileras de 50 y 100 cms.

Estudiaron durante tres años cómo variaba el uso del agua según la madurez relativa de los híbridos y la densidad de población del maíz creciendo en condiciones de secano.

En la mitad del ciclo del cultivo el híbrido de 85 días redujo más el contenido de agua del suelo que el de 68 días. (Ver Tabla 5), dejando significativamente menos agua disponible para el final de ciclo.

La pérdida de agua del suelo fue mayor al principio de la estación de crecimiento, haciendo que el uso del agua en las etapas finales del cultivo fuera altamente dependiente de las precipitaciones.

Pocos cambios ocurrieron en el contenido de agua del suelo entre 90 y 120 cms. de profundidad, durante todo el ciclo. Estos datos indican que la profundidad hasta donde raíces del maíz extraen agua es de 90 cm

Se concluiría entonces que el híbrido de 68 días se comportaría mejor que el tardío cuando el suministro de agua se ve limitado.

Lorens et al, (1987), trabajaron con dos híbridos (híbrido 3192 y 3165) los cuales tenían respuestas diferentes al déficit de agua. Sobre estos dos materiales estudiaron diferencias en las relaciones hídricas de las hojas, actividad estomática y distribución radicular en el suelo. Los tratamientos fueron tres: regado; regado solo por las lluvias y stress en estado vegetativo (1988).

El híbrido 3165 fue capaz de mantener mayores potenciales hídricos y de turgencia en las hojas, así como también menor resistencia a la difusión durante los períodos de stress. A un determinado valor del potencial hídrico, el potencial de turgencia del 3165 era siempre más bajo que el del 3192.

La habilidad del híbrido 3165 de mantener un alto potencial hídrico durante períodos de stress fue la diferencia fundamental con el 3192, y los autores se animan a sugerir que dicha diferencia fue debida al menos en parte a diferencias en la distribución radicular de los dos híbridos.

Harder et al, (1982), analizaron cómo un déficit hídrico luego de la emergencia de barbas afectaba el rendimiento del maíz y sus componentes.

Utilizando un híbrido de ciclo corto (Pioneer 3780) y uno de ciclo largo (Pioneer 3360), impusieron tres períodos de stress y éstos eran severos (S), moderados (M) o no existían (W). (Ver Tabla 6).

Se vió que el stress durante los dos primeros períodos produjo una reducción acentuada de los rendimientos (en el P 3780 los tratamientos SSW y SSW rindieron 15% y 28% menos que el control WWW respectivamente. Esto indica que el segundo período de stress fue tan efectivo como el primero en la reducción del rendimiento, no existiendo efectos favorables por acondicionamiento.

El híbrido P3360 (ciclo largo) produjo plantas más grandes y tuvo un rendimiento en grano mayor que el P 3780 (ciclo corto) en todos los tratamientos ; pero esos rendimientos del P 3360 sufrieron una mayor reducción cuando recibieron el déficit de agua, (Ver Tabla 7).

Los tratamientos con déficits severos de humedad (SSW, SSS) causaron mayor reducción en el componente "número de granos por planta" que los moderados (MSW, MMS). Los dos híbridos mostraron igual comportamiento; el primer período de stress redujo el número de granos por planta, mientras que las posteriores repeticiones tuvieron escaso efecto.

El segundo y tercer período de stress provocaría una reducción en el componente "peso del grano".

Asimismo se redujo el largo de la espiga en ambos híbridos, a causa del déficit hídrico, en relación al tratamiento control.

En todos los casos el material "full season" anduvo mejor .

Westgate et al, (1986), estudiaron el potencial agua, el potencial osmótico y la turgencia del grano de maíz en desarrollo desde la entesis hasta la cosecha, sobre tres híbridos comerciales.

El primer aumento en el tamaño del grano está asociado fundamentalmente con una rápida absorción de agua. Debido a que la absorción de agua depende del potencial agua del grano en relación al del resto de la planta, el potencial agua del grano podría ser un importante determinante del desarrollo.

El agua se mueve según fuerzas osmóticas en los tejidos en crecimiento, lo cual implica que el crecimiento del grano puede depender de que se creen tales fuerzas.

Trabajaron con híbridos estudiados, el contenido de agua madurez relativa; a una densidad de población de 60000 plantas / hectárea.

En los tres híbridos estudiados, el contenido de agua del grano aumentó rápidamente durante las tres primeras semanas de desarrollo, luego se detiene y posteriormente comienza a decrecer gradualmente hasta llegar al contenido de humedad de cosecha.

Se observaron diferencias en la tasa de acumulación de agua y en la máxima acumulación de agua entre los diferentes híbridos. Sin embargo, el descenso en el contenido de agua ocurrió con la misma velocidad en todos ellos.

El U_w del grano indica que la absorción de agua fue un proceso continuo desde la antesis hasta que se llega al máximo de materia seca. Debido a que el contenido de agua en el grano aumenta y luego disminuye durante este período, al principio la absorción de agua debió superar las pérdidas, pero luego fue menor.

El descenso en el contenido de agua se atribuye a un creciente aislamiento vascular y/o a un aumento en la evaporación desde el grano.

Blanco, (1986), en el verano 85-86 evaluó el comportamiento productivo de híbridos de maíz con riego, para ver la respuesta de éstos en suelos arrozables en la cuenca de la Laguna Merim.

Entre los híbridos manejados por Blanco, se encontraban el Pioneer 6875 y el Cargill Récord 156 también usados en nuestro ensayo.

Las fechas de siembra que utilizó fueron 28/XII/85, 3/XII/85, 22/XII/85 y 8/I/86.

Los rendimientos promedio fueron de 6458 kg/há para el Pioneer 6875 y 4270 kg/há para el Cargill Récord 156.

La humedad de cosecha encontrada por este autor estuvieron de acuerdo con el largo del ciclo de cada híbrido, y fueron para el CR 156 25,85%; y para el Pioneer 6875 de 27,72%.

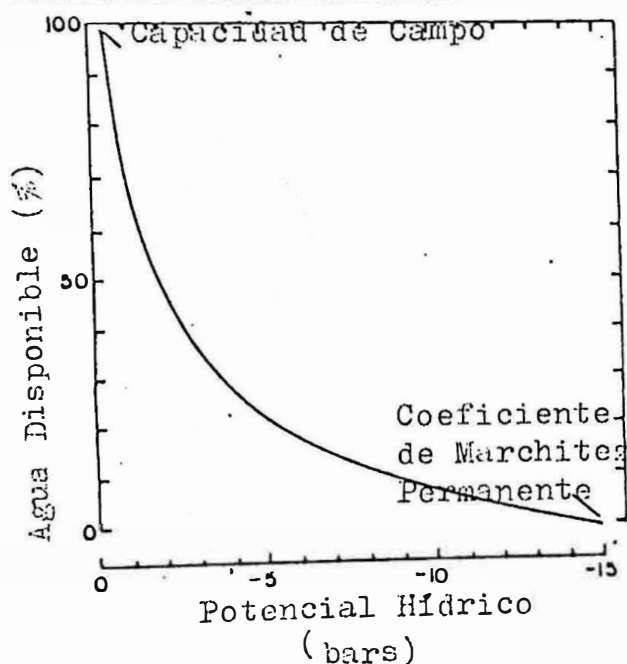
Duncan, (1966), señala que la ventaja de los híbridos de ciclo corto es que tienen mayores reservas de agua en el suelo al inicio de la estación de crecimiento. Desde un punto de vista teórico, la madurez temprana sería una clara ventaja si los híbridos pudieran desarrollarse usando más días desde la floración a la maduración.

A la fecha no hay evidencia clara de que un híbrido sea superior a otro en cuanto a tolerancia a la sequía, estando ambos en el mismo estado de desarrollo.

En Iowa durante 1964 se impusieron severos déficits de agua en julio y principios de agosto, demostrándose la importancia de la reserva de humedad del subsuelo. Este año también mostró que los híbridos de ciclo corto escapaban a los efectos más severos del déficit de humedad (durante la antesis) al igual que los de ciclo largo.

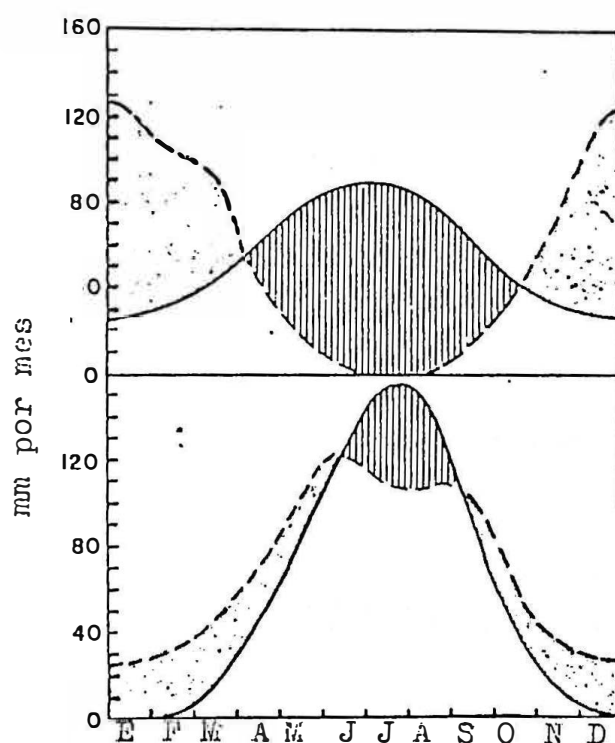
Con los híbridos disponibles actualmente, podría haber cierta ventaja en plantar un número de híbridos con un rango de floración relativamente amplio para minimizar los riesgos de stress. Los materiales de ciclo diferente deberían plantarse en parcelas diferentes; de lo contrario la cosecha deberá esperar hasta que madure el híbrido de ciclo más largo.

Figura 1. PORCENTAJE DE AGUA DISPONIBLE PARA LA PLANTA EN UN SUELO ARCILLOSO, A DIFERENTES POTENCIALES HIDRICOS DEL SUELO. EN ESTE SUELO, 50, 75 Y 90% DEL AGUA DISPONIBLE ES RETENIDA A POTENCIALES DE -2, -5 Y -10 BARS, RESPECTIVAMENTE.



Fuente: Gardner et al. (1985)

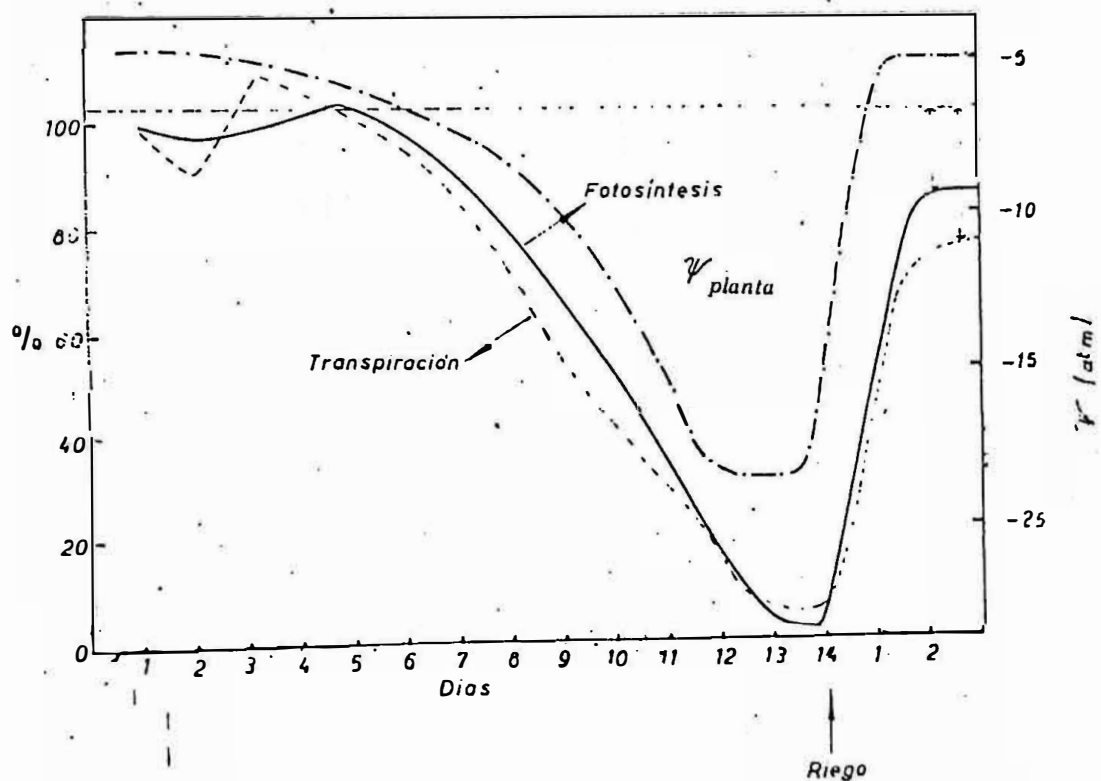
Figura 2. PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PROMEDIO DE UN CLIMA MEDITERRANEO (ARRIBA), Y DE UN CLIMA CONTINENTAL (ABAJO).



- Línea punteada representa las precipitaciones.
- Línea llena representa la evapotranspiración.
- Área rayada indica precipitaciones inferiores a la evapotranspiración.
- Área sombreada indica precipitaciones superiores a la evapotranspiración.

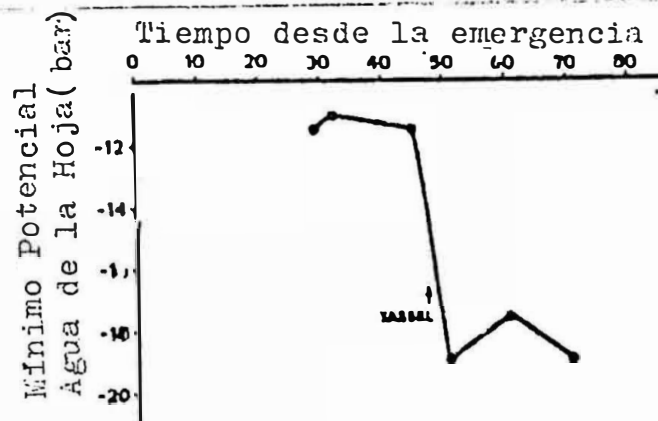
Fuente: Gardner et al. (1985)

Figura 3. EFECTO DE DISMINUCION DE UNA SEQUIA PROGRESIVA SOBRE LA ACTIVIDAD TRANSPIRATORIA Y FOTOSINTETICA, Y LA RECUPERACION INCOMPLETA LUEGO DE LA REINCORPORACION DE AGUA AL SUELO.



Fuente: Sívori et al. (1980)

Figura 4. MINIMO POTENCIAL HIDRICO DE LAS HOJAS DE MAIZ (SIN STRESS DE HUMEDAD), EN FUNCION DE LA EDAD DE LA PLANTA.



Fuente: Reicosky et al. (1975)

FIGURA 5. AGUA TRANSPIRADA POR LAS PLANTAS
EN LITROS / KG. DE MATERIA SECA
PRODUCIDA. (ALDRICH, 1974).

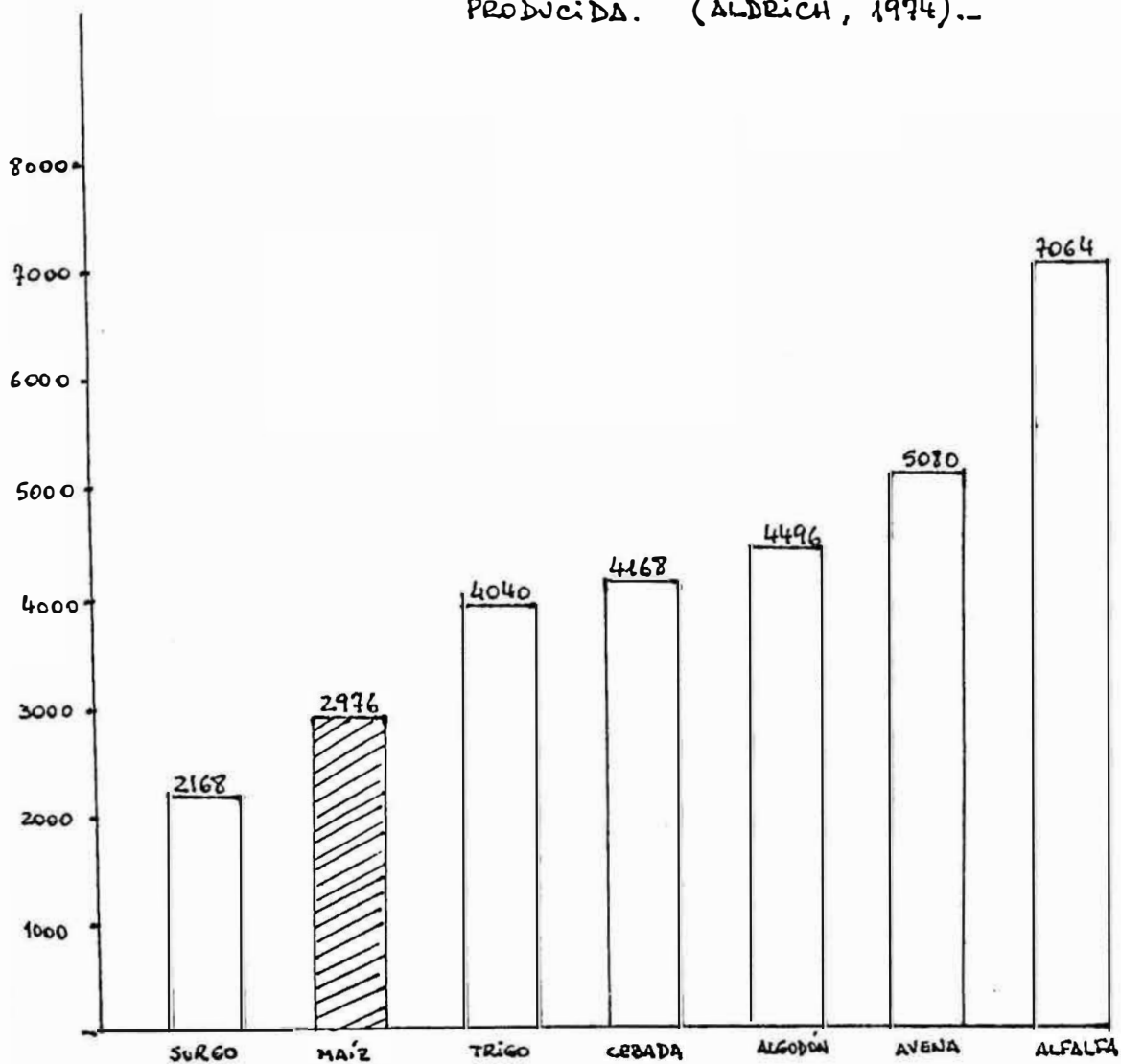
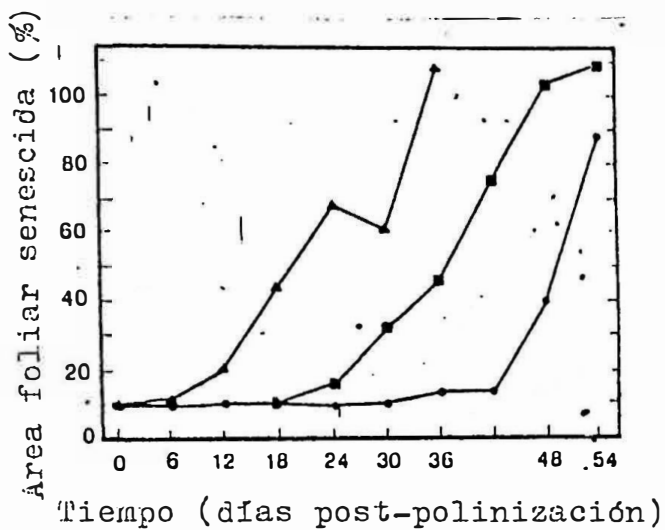
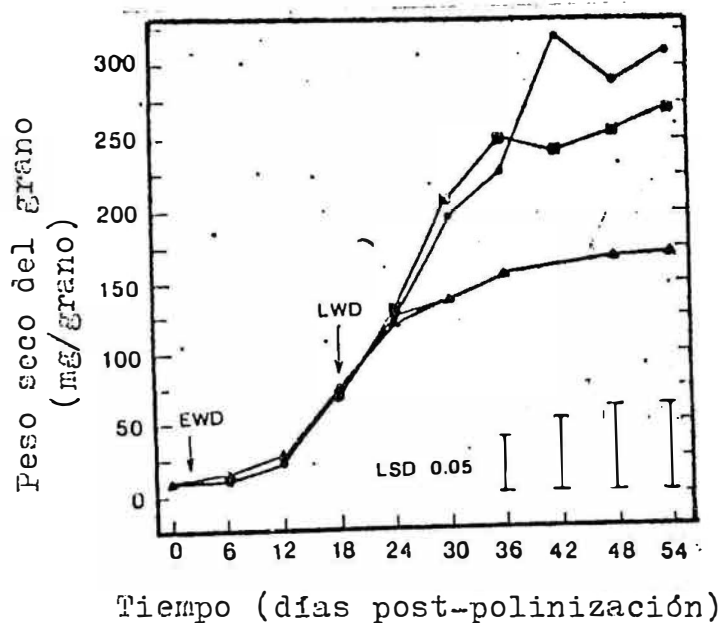


Figura 6. CAMBIOS EN LA SENESCENCIA FOLIAR LUEGO DE LA ANTESIS PARA TRES TRATAMIENTOS: CONTROL(●), DEFICIT AL COMIENZO DEL CULTIVO (▲), Y DEFICIT AL FINAL DEL CULTIVO (■)



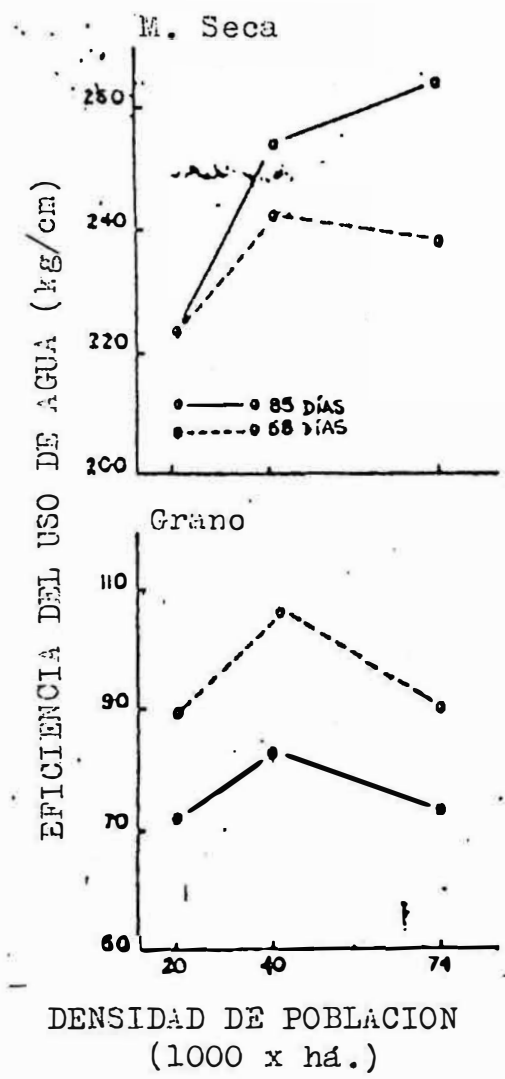
Fuente: Ouattar et al. (1987)

Figura 7. ACUMULACION DE MATERIA SECA EN GRANOS DE MAIZ PARA TRES TRATAMIENTOS: CONTROL (●), DEFICIT AL COMIENZO DEL CULTIVO (▲) Y DEFICIT AL FINAL DEL CULTIVO (■). LAS FLECHAS INDICAN LAS FECHAS EN QUE COMENZARON LOS DEFICITS EN LOS TRATAMIENTOS: "COMIENZO" (C) Y "FINAL" (F). LAS BARRAS VERTICALES INDICAN LAS MINIMAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS AL 5%.



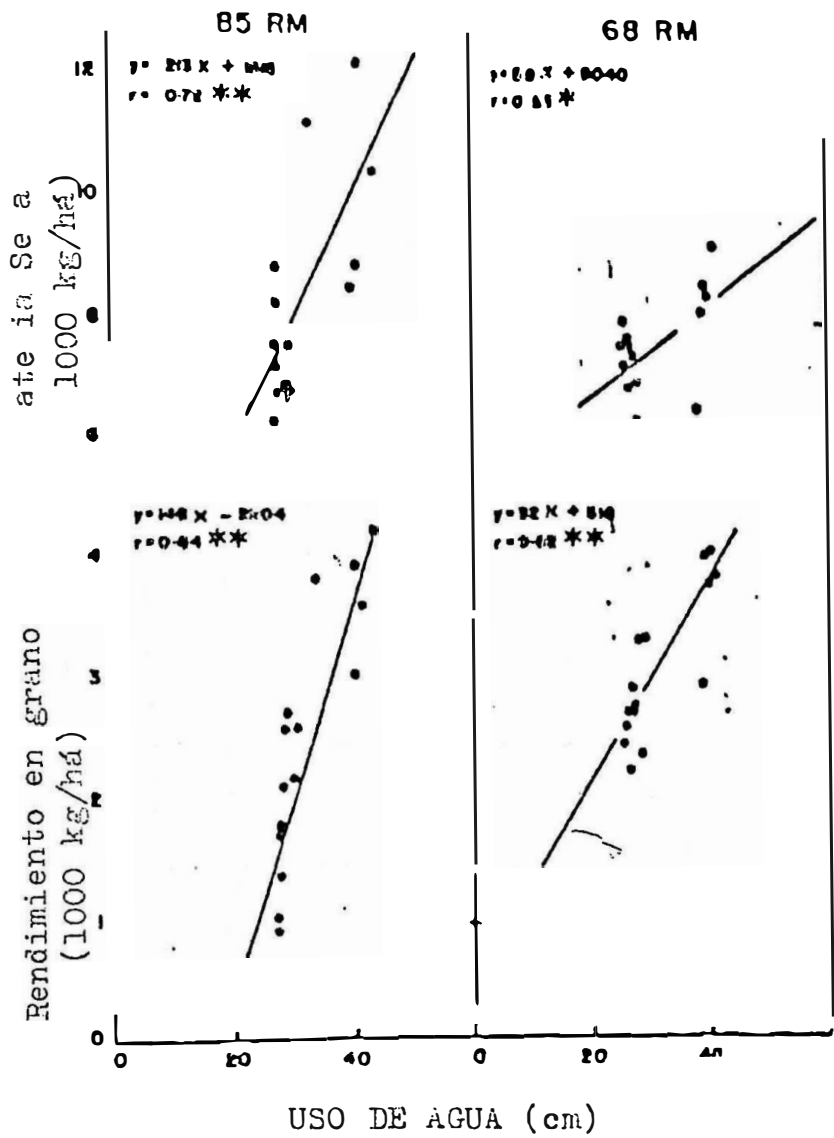
Fuente: Ouattar et al. (1987)

Figura 8. VARIACION EN LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA CON DIFERENTES DENSIDADES DE POBLACION Y CON MATERIALES DE DIFERENTE MADUREZ RELATIVA.



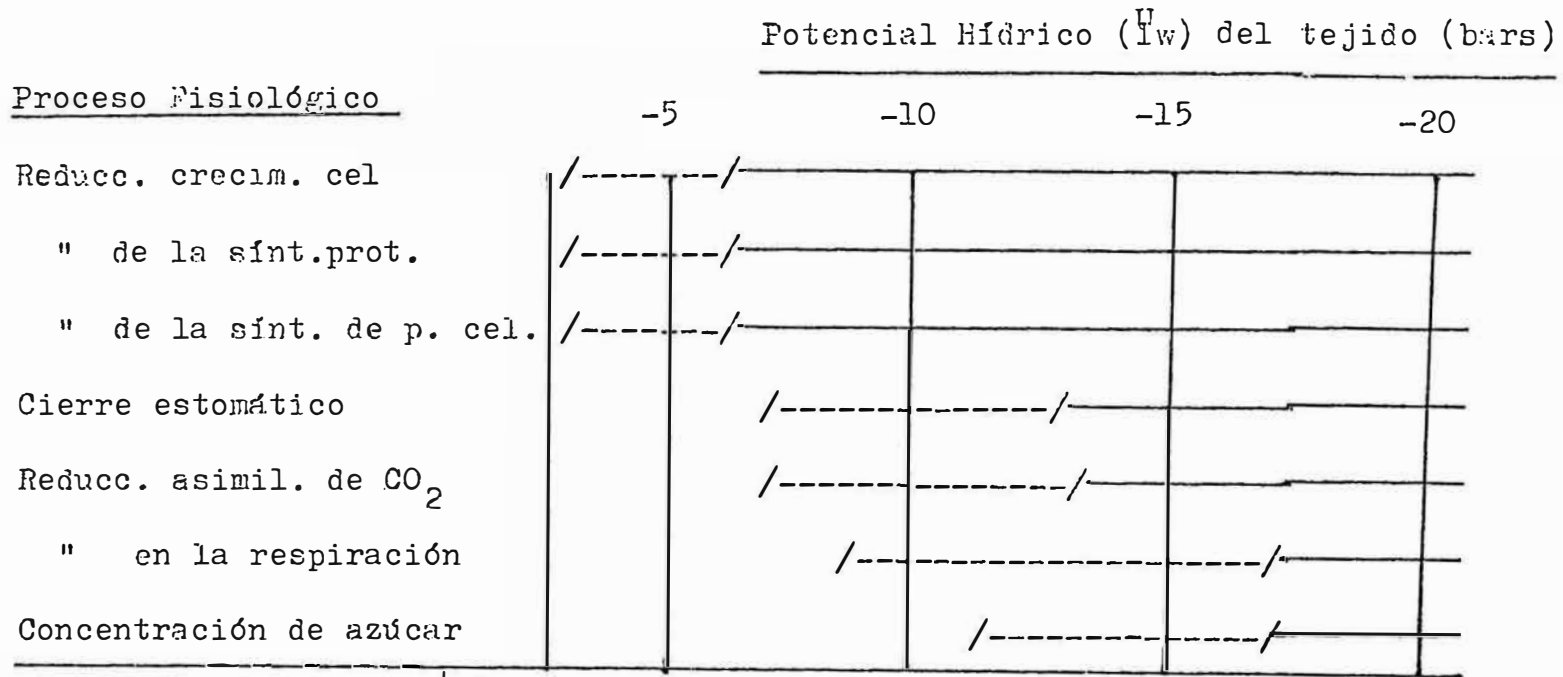
Fuente: Alessi et al. (1976)

Figura 9. COEFICIENTES DE CORRELACION Y REGRESION ENTRE EL TOTAL DE AGUA UTILIZADA Y LOS RENDIMIENTOS DE DOS HIBRIDOS DE MAIZ DE 68 Y 85 DIAS DE MADUREZ RELATIVA



Fuente: Alessi et al. (1976)

Tabla 1. SENSIBILIDAD DE LOS DIFERENTES PROCESOS FISIOLÓGICOS AL STRESS DE HUELDA.



- a. La línea punteada representa el rango de Ψ_w en el cual el proceso comienza a afectarse.
- b. La línea llena indica el rango en el cual el proceso es casi siempre afectado.

Fuente: Hsaio et al. 1976, (citado por Gardner et al. 1985)

Tabla 2. RENDIMIENTOS EN GRANO (EN TON. METRICAS/HA) OBTENIDOS DE 5 HIBRIDOS DE MAIZ CON DIFERENTE MADUREZ RELATIVA, Y SEMBRADOS A 5 DENSIDADES DE POBLACION EN CONDICIONES DE STRESS DE HUMEDAD.

Madurez Relativa (días)	Población (pl/ha x 1000)				
	12,5	25	50	100	200
	R E N D I M I E N T O S				
75	3,2	3,3	3,2	1,5	1,1
90	3,9	3,7	3,7	2,2	1,2
105	3,7	3,5	2,5	0,9	0,7
120	3,8	3,3	2,1	0,7	0,6
135	3,2	2,9	1,3	0,1	0,0

Fuente: De Loughery et al. (1979)

Tabla 3. RENDIMIENTOS EN GRANO (EN TON. METRICAS/HA) OBTENIDOS DE 5 HIBRIDOS DE MAIZ CON DIFERENTE MADUREZ RELATIVA, Y SEMBRADOS A 5 DENSIDADES DE POBLACION EN CONDICIONES PARCIALES DE STRESS DE HUMEDAD.

Madurez Relativa (días)	Población (pl/ha x 1000)				
	12,5	25	50	100	200
	R E N D I M I E N T O S				
75	3,5	3,6	4,5	2,0	2,2
90	3,8	3,7	4,6	2,9	1,8
105	3,4	3,2	4,0	3,6	2,1
120	3,5	3,5	3,9	2,3	2,2
135	3,7	3,0	2,7	1,2	1,0

Fuente: De Loughery et al. (1979)

Tabla 4. RENDIMIENTOS EN GRANO (EN TON. METRICAS/HA)
OBTENIDOS DE 5 HIBRIDOS DE MAIZ CON DIFE-
RENTE MADUREZ RELATIVA, Y SEMBRADOS A 5 DEN-
SIDADES DE POBLACION SIN SUFRIR SECRESS DE
HUMEDAD.

Madurez Relativa (días)	Población (pl/há x 1000)				
	12,5	25	50	100	200
	R E N D I M I E N T O S				
75	3,1	5,0	5,6	6,1	4,3
90	4,1	5,4	6,8	7,6	5,9
105	4,5	7,2	7,5	8,7	6,1
120	4,2	6,9	7,4	8,5	8,1
135	5,0	7,4	7,7	7,7	7,0

Fuente: De Loughery et al. (1979)

Tabla 5. VARIACION EN EL CONTENIDO DE AGUA (EN CM)
EN EL SUELO ENTRE 0 Y 120 CM DE PROFUN-
DIDAD, A LA SIEMBRA, MITAD DEL CICLO Y EN
LA COSECHA, DEBIDO A LA MADUREZ RELATIVA
(MR) DEL HIBRIDO Y A LA DENSIDAD DE POBLA-
CION.

HIBRIDO Y AÑO	DENS. DE POBLACION (1000 x há)	FECHAS DE LOS MUESTREOS		
		SIEMBRA	M.CICLO	COSECHA
		-----centímetros de H ₂ O-----		
1968				
85 MR	20	31,0	24,4	22,9
	40	31,0	22,9	22,6
	74	30,7	20,3	19,8
68 MR	20	32,5	25,2	25,9
	40	31,0	21,6	22,9
	74	31,2	21,1	21,8
1969				
85 MR	20	26,9	23,1	17,3
	40	25,9	21,8	17,5
	74	24,1	18,5	15,5
68 MR	20	27,7	25,4	20,1
	40	26,2	22,6	17,8
	74	26,2	21,3	18,3
1970				
85 MR	20	28,4	22,9	17,5
	40	30,5	21,6	17,5
	74	28,2	20,3	15,8
68 MR	20	29,5	24,6	18,3
	40	29,0	21,6	17,0
	74	29,2	21,1	17,3
PROMEDIO-	85 MR	28,4	21,8	18,5
	68 MR	29,2	22,9	19,8

Fuente: Alessi et al. (1976)

Tabla 6. ESQUEMA DE LOS TRATAMIENTOS DE HUMEDAD IMPUESTOS EN 1976 Y 1977.

Período de Sress	Fechas	Tratamientos incluidos	Fechas	Trat. incluidos
---------------------	--------	---------------------------	--------	--------------------

1976

STRESS MODERADO

STRESS SEVERO

1	Jul. 18-25	MMM, MNW MWW	Jul 18-29	SSS, SSW, SWW
2	Jul. 27-Ago. 5	MMM, MNW	Jul. 31-Ago. 12	SSS, SSW
3	Ago. 7-20	MMM	Ago. 14-25	SSS

1977

HIBRIDOS

P 3780

P 3360

1	Jul. 10-18	SSS, SSW SWW	Jul. 10-16	SSS, SSW SWW
2	Jul. 20-30	SSS, SSW	Jul. 20-30	SSS, SSW
3	Ago. 1 Cosecha	SSS	Ago. 1 Cosecha	SSS

W= agua no limitante

M= stress moderado de humedad

S= stress severo de humedad

Fuente: Harder et al. (1982)

Tabla 7. RENDIMIENTO EN GRANO Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE DOS HIBRIDOS DE MAIZ DE CICLO DIFERENTE, BAJO CONDICIONES DE STRESS DE HUMEDAD.

Déficit Impuesto	Rendimiento en grano	Número de Granos	Peso por Grano	Largo de espiga
	g/planta	granos/pl	mg/grano	cm
<u>HIBRIDO DE CICLO CORTO (P 3780)</u>				
WWW	177(100)*	569(100)	314(100)	17,0
SWW	151(85)	496(87)	309(98)	15,7
SSW	127(72)	459(81)	283(90)	15,2
SSS	125(71)	472(83)	266(85)	14,5
<u>HIBRIDO DE CICLO LARGO (P 3360)</u>				
WWW	233(100)	696(100)	338(100)	22,4
SWW	198(85)	580(83)	346(102)	20,5
SSW	156(67)	548(79)	285(84)	17,9
SSS	157(67)	570(82)	275(81)	18,2
MDS 0,05	13	25	27	1,8

* = Los números entre paréntesis indican la disminución porcentual respecto del tratamiento WWW.

MDS = Es para comparaciones de tratamientos de stress y dentro de híbridos.

Fuente: Harder et al. (1982)

LITERATURA CITADA

LITERATURA CITADA

- ALDRICH, S.R. y LENG, W.R. Producción moderna del maíz. México, CRAT, 1974. 307 p.
- ALESSI, J. y POWER, J.F. Water use by corn as affected by maturity class and plant spacing. *Agronomy Journal* 68: 547-550. 1976.
- ARBELLETCHÉ, P.R. y RIVERO, E. Evaluación económica del cultivo de maíz bajo condiciones de riesgo climático. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1978. 247 p.
- BARLOW, E.W.R. y BOERSMA, L. Interaction between leaf elongation, photosynthesis, and carbohydrate levels of water-stressed corn seedlings. *Agronomy Journal* 68: 923-926. 1976.
- BLANCO, P. Población de plantas y nivel de nitrógeno en maíz con riego. In CIAAB, Resultados de la experimentación regional de cultivos. Estación Experimental del Este: CIAAB, 1985 - 1986. pp. 99-103
- CAPURRO ALVAREZ, E. Efecto de dos regímenes hídricos en tres etapas durante el ciclo del maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1973. 77 p.
- Relación con las precipitaciones mensuales y distribución de probabilidades de rendimientos de grano de maíz, sorgo, girasol y soja a nivel experimental en La Estanzuela. *Revista de la AIA*. 2 (2): 87-112, 1984.
- DE LEON, J.L. y CAPURRO, E. Efecto de la población de plantas en el rendimiento de grano de maíz bajo riego. *Revista de la AIA*, 9: 12-16. 1977.
- DE LOUGHERY, R.L. y KENT CROOKSTON, R. Harvest index of corn affected by population density, maturity ratings, and environment. *Agronomy Journal* 71: 577-580. 1979.

- DENNARD, O.T. y SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52: 272-274. 1960.
- DIAZ ROSSELLO, R.M. Potencial y riesgo de producción de cultivos extensivos en el Uruguay. *Revista de la AIA*. 2 (2): 62-86. 1984.
- DUNCAN, E.R. Problems relating to selection of hybrid seed: calendarization, a consideration. In Pierre, W., Aldrich, S.A., y Martin, W.P. eds. *Advances in corn production*. The Iowa State University Press. Press Building, AMES, IOWA, U.S.A 1966 pp. 104-119
- ECK, H.V. Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of irrigated corn. *Agronomy Journal* 78: 1035-1040. 1986
- FERNANDEZ, C.J. AMBIENTE HIDRICO. Ed. emergencia. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1984.
- GARCIA, F. El agua en el suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1984. 106 p.
- GARDNER, F.P., BRENT PEARCE, R., y MITCHEL, R.L. *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press: AMES, 1985. 322p.
- HARDER, H.J., CARLSON, R.E. y SHAW, R.H. Yield, yield components, and nutrient content of corn grain as influenced by post-silking moisture stress. *Agronomy Journal* 74: 275-278. 1982
- HERRERO, M.P. y JOHNSON, R.R. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Science* 21: 105-110. 1981.
- HOFSTADTER, R. Producción de maíz, alfalfa y trébol blanco en condiciones de riego. *Agua en la agricultura* (1): 7-13. 1983

- LEEPER, R.A., RUNGE, E.C.A., y WALKER, W.M. Effect of plant-available stored soil moisture on corn yields. *Agronomy Journal* 66: 723-733 1974.
- LORENS, G.F., BENNET, J.M. y LOGGALE, L.B. Differences in drought resistance between two corn hybrids. 1. Water relations and root length density. *Agronomy Journal* 79: 802-807 1987.
- MC PHERSON, H.G. y BOYER, J.S. Regulation of grain yield by photosynthesis in maize subjected to a water deficit. *Agronomy Journal* 69: 714-718 1977.
- OUARTAR, S., JONES, R.J., CROCKSTON, R.K. y KALEIOU, M. Effect of drought on water relations of developing maize kernels. *Crop Science* 27: 730-735 1987.
- PELOCCHI, R.C. Fertilización con nitrógeno y fósforo en maíz con riego. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1979, 88 p.
- REICOSKY, D.C., CAMPBELL, R.B. y DOTY, C.W. Diurnal fluctuation of leaf-water potential and microclimate. *Agronomy Journal* 67: 380-385 1975.
- ROBINS, J.S. y DOMINGO, C.E. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agronomy Journal* 45: 618-621 1953.
- SIVORI, E., MONTALDI, E.R. Y CASO, O.H., comp. Fisiología Vegetal. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1980, 681 p.
- TOLLENAAR, E. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review, *Maydica* XXII: 49-75 1977.
- VEARSAN, V. y PHILLIPS, R. Effects of soil water stress on growth and nutrient accumulation in corn. *Agronomy Journal* 70: 246-249 1978.
- WESTGATE, M.E. y BOYER, J.S. Water status of the developing grain of maize. *Agronomy Journal* 78: 714-719 1986.