

R.4357

T1  
668



UNIVERSIDAD DE SEVILLA - FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Ecología

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE PLANTAS  
DE MAIZ (*Zea mays*, L.) y GIRASOL (*Helianthus annuus*, L):  
RELACION ENTRE CONSUMO DE AGUA, PRODUCCION Y CALIDAD DEL  
FRUTO.

Hecho el 30 de Mayo de 1975.

José Luis Muriel Fernández .

SEVILLA 1.975 , 30 de Mayo

TD  
668

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE PLANTAS  
DE MAIZ (*Zea mays* L.) y GIRASOL (*Helianthus annuus*, L.):  
RELACION ENTRE CONSUMO DE AGUA, PRODUCCION Y CALIDAD DEL  
FRUTO

por

JOSE LUIS MURIEL FERNANDEZ

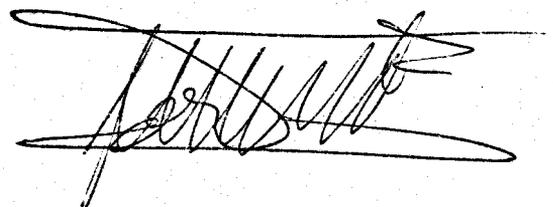
Visado en Sevilla a 30 de abril de 1.975

EL PADRINO Y DIRECTOR



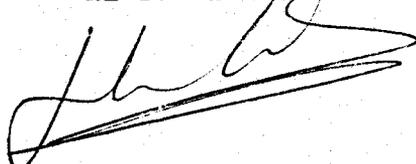
Fdo. Fernando González Bernáldez  
Catedrático-Director del Dpto.  
de Ecología de la Universidad  
de Sevilla.

Trabajo presentado para aspirar  
al grado de Doctor en Ciencias.  
Sección de Biológicas Sevilla.



Fdo. José Luis Muriel Fernández  
Licenciado en Ciencias Biológicas.

EL CO-DIRECTOR

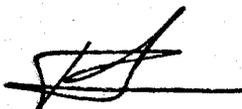


Fdo. José Martín Aranda  
Profesor de Investigación del  
Centro de Edafología y Biología  
Aplicada de Cuarto (C.S.I.C.)  
Sevilla

DON FERNANDO GONZALEZ BERNALDEZ, CATEDRATICO DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CERTIFICO: Que el presente trabajo de investigación titulado "ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS NECESIDADES HIDRICAS DE PLANTAS DE MAIZ (*Zea mays*, L.) y GIRASOL (*Helianthus annuus*, L.): RELACION ENTRE CONSUMO DE AGUA, PRODUCCION Y CALIDAD DEL FRUTO" que constituye la Memoria que presenta D. José Luis Muriel Fernandez para aspirar al grado de Doctor en Ciencias (Sección Biológicas) ha sido realizado en los laboratorios y fincas experimentales del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Cuarto de Sevilla y del Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario Nº 10 de Córdoba, bajo mi dirección y la co-dirección del Profesor de Investigación Dr. D. José Martín Aranda.

Y para que conste expido y firmo la presente certificación en Sevilla a 30 de abril de 1.975.



DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
SEVILLA

Al Prof. Dr. D. Fernando González Bernáldez, padrino y director de ésta tesis.

Al Prof. Dr. D. José Martín Aranda, co-director de ésta tesis.

Al Prof. Dr. D. Francisco González García, director del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Cuarto de Sevilla.

Al Prof. Dr. D. Guillermo Paneque Guerrero, profesor agregado de Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.

Al Dr. Ingeniero Agrónomo D. Tomás Millán Valderrama, director del Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario Nº 10 de Córdoba.

Al Dr. Ingeniero Agrónomo D. Rafael Gimenez Ortiz, director adjunto del CRIDA Nº 10 de Córdoba.

Al Dr. Ingeniero Agrónomo D. Manuel de León Lopez, jefe del Departamento Nacional de Plantas Oleaginosas del CRIDA Nº 10 de Córdoba.

Al Ingeniero Técnico Agrícola D. Emilio Hernández Naranjo del Servicio de Extensión Agraria de Córdoba.

**Mi sincero agradecimiento.**

# ÍNDICE

Págs.

IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS DE MAIZ Y GIRASOL EN ESPAÑA ..... 1

OBJETO DEL TRABAJO ..... 7

## I. INTRODUCCION

1. CICLO HIDROLOGICO ..... 9

2. NECESIDADES HIDRICAS DE LAS PLANTAS ..... 20

1. Generalidades ..... 20

2. Necesidades hídricas de plantas de maiz ..... 26

3. Necesidades hídricas de plantas de girasol ..... 40

## II. MATERIAL Y METODOS

1. MATERIAL VEGETAL UTILIZADO ..... 51

2. METODOS DE CAMPO ..... 52

1. Observaciones y medidas agronómicas y fenológicas ... 52

2. Conducción, aplicación y medida del agua de riego ... 52

3. Medida de la humedad del suelo ..... 54

1. Medida directa del contenido hídrico del suelo :  
Método gravimétrico ..... 55

2. Medida indirecta del contenido hídrico del suelo :  
Método de la atenuación de neutrones ..... 56

4. Medida del potencial matricial del suelo ..... 59

1. Bloques de resistencia eléctrica ..... 60

2. Tensiómetros ..... 62

5. Medida de la evapotranspiración ..... 63

1. Método del balance de agua en el suelo ..... 63

2. Método del flujo del vapor ..... 65

3. Método del balance de energía ..... 66

4. Fórmulas empíricas ..... 68

3. METODOS DE LABORATORIO ..... 75

1. Análisis de la calidad del agua empleada ..... 75

2. Análisis de las propiedades físicas del suelo ..... 76

1. Densidad aparente y humedad .....	76
2. Conductividad hidráulica .....	78
3. Humedad equivalente .....	79
4. Porcentaje a 15 atmósferas .....	80
5. Composición granulométrica .....	80
3. <u>Análisis de las propiedades químicas del suelo</u> ....	82
4. <u>Análisis químico sobre el producto cosechado</u> .....	85
1. Determinación del contenido en grasa .....	85
2. Determinación del contenido en proteína .....	86
<b>III. <u>RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION</u></b> .....	87
1. CLIMATOLOGIA Y SUELOS DE LAS ZONAS DE EXPERIENCIAS ...	90
1. <u>Climatología media de la provincia de Sevilla</u> .....	91
2. <u>Climatología media de la provincia de Córdoba</u> .....	95
3. <u>Descripción del perfil y análisis del suelo : Zona de Sevilla</u> .....	100
1. Descripción del perfil .....	101
2. Características Físicas .....	104
3. Características químicas .....	105
4. <u>Descripción del perfil y análisis del suelo : Zona de Córdoba</u> .....	106
1. Descripción del perfil .....	107
2. Características físicas .....	109
3. Características químicas .....	111
2. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA APLICADA .....	112
3. EXPERIENCIAS CON PLANTAS DE MAIZ .....	113
1. <u>Experiencias realizadas en la campaña de 1971</u> .....	113
1. Efectos de diferentes niveles de riego .....	113
1. Características climatológicas del periodo experimental .....	114
2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	116

	<u>Págs.</u>
3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	117
4. Análisis de la producción .....	122
2. <u>Experiencias realizadas en la campaña de 1973</u> .....	131
1. Efectos de diferentes niveles de riego y fecha de la aplicación dentro del ciclo biológico de la planta .....	131
1. Características climatológicas del periodo experimental .....	131
2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	134
3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	134
4. Análisis de la producción .....	138
3. <u>Experiencias realizadas en la campaña de 1974</u> .....	145
1. Efectos de diferentes niveles de riego y fecha de la aplicación dentro del ciclo biológico de la planta .....	145
1. Características climatológicas del periodo experimental .....	145
2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	148
3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	148
4. Análisis de la producción .....	154
2. Efectos de diferentes niveles de riego y de la variedad .....	160
1. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	160
2. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	161
3. Análisis de la producción .....	162
4. EXPERIENCIAS CON PLANTAS DE GIRASOL .....	173
1. <u>Experiencias realizadas en la campaña de 1973</u> .....	173
1. Efectos de diferentes niveles de riego .....	173

	<u>Págs.</u>
1. Características climatológicas del periodo experimental .....	174
2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	174
3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	175
4. Análisis de la producción .....	180
2. Experiencias sobre el efecto de riegos suministrados en periodos críticos del crecimiento .....	188
1. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	188
2. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	189
3. Análisis de la producción .....	193
2. <u>Experiencias realizadas en la campaña de 1974</u> , .....	201
1. Efectos de riegos suministrados en periodos críticos del crecimiento .....	201
1. Características climatológicas del periodo experimental .....	201
2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	202
3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	202
4. Análisis de la producción .....	208
2. Estudio del comportamiento de variedades .....	215
1. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas .....	215
2. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados .....	217
3. Análisis de la producción .....	220
5. SINTESIS DE COMPARACION ENTRE AMBAS ESPECIES .....	225
IV. <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u> .....	229
V. <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	239

## IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS DE MAIZ Y GIRASOL EN ESPAÑA

Las proteínas, junto con las materias grasas, constituyen una parte muy importante de la alimentación humana y animal. Es lógico pensar, pues, que su consumo en el mundo vaya en constante progreso.

El cultivo del maíz tiene en España un gran interés, ya que es imprescindible conseguir un fuerte aumento de su producción en los próximos años, dado que la demanda actual supera en mucho a la producción nacional.

En el campo de las importaciones de maíz, España, ocupó en 1.971 y 1.972 el sexto país del mundo, detrás de Japón, Italia, Alemania Federal, Reino Unido y Países Bajos, a pesar de que la superficie dedicada a su cultivo en nuestro país ha pasado de 368.600 hectáreas en 1.950 a 533.700 en 1.972.

Los rendimientos medios han aumentado también de la misma forma pasando, de los 1.454 kg/Ha en 1.950 a 3.602 kg/Ha en 1.972.

Pero unido a este incremento, de superficie y producción, debe también tenerse en cuenta que las exigencias, tanto en proteínas como hidratos de carbono procedentes del maíz, son cada vez mayores, como consecuencia del aumento que está experimentando el desarrollo de la ganadería (cerdos y aves, fundamentalmente).

Todo ello hace, pues, del maiz, un cultivo con posibilidad de aumento muy acusada siendo de enorme interés analizar el efecto del régimen de aplicación de agua sobre el ciclo vegetativo y la producción de esta planta en nuestra zona.

De igual o mayor trascendencia agrónomica es el problema de las oleaginosas.

En España, el aumento creciente de la población nacional, y el incremento del nivel de vida, han motivado, entre otras circunstancias, que seamos en la actualidad un país deficitario en grasas vegetales. La FAO (1.971) prevé una población española para 1.980 de -- 37,4 millones de habitantes, así como un nivel de demanda de 19,9 kg de aceites vegetales por habitante y año, lo que significa un consumo directo de 750.000 Tm/año.

Como la producción de aceite de oliva, prevista para 1.980 (Sindicato Nacional del Olivo, 1.973) será de unas 400.000 Tm, existirá un déficit de 350.000 Tm a cubrir con aceites vegetales procedentes de semillas oleaginosas. Todo ello, sin tener en cuenta la exportación de aceite de oliva.

Entre las plantas de semillas oleaginosas que se cultivan actualmente en nuestro país, deben citarse el girasol, algodón, soja cártamo y cacahuete, entre otras. Las producciones respectivas alcanzadas

por estos cultivos en la campaña de 1.974, quedan reflejadas en la tabla I (Boletín de Estadísticas Agrarias, 1.974).

TABLA I

Producciones alcanzadas en 1.974 por diferentes cultivos oleaginosos - (Tm).

PRODUCCION	GIRASOL	ALGODON	SOJA	CARTAMO	CACAHUE TE	TOTAL
SEMILLAS (Tm)	295.000	53.150	28.000	15.000	5.084	396.234
RIQUEZA GRA SA (%)	40	20	20	36	30	—
ACEITE (Tm)	118.000	10.630	5.600	5.400	1.525	141.155
PORCENTAJE	83,7	7,5	4,0	3,8	1,0	100,0

Como puede observarse, la producción obtenida, durante 1.974 de aceite de semillas oleaginosas, fué 141.155 Tm, lo que indica que en España estamos aún muy lejos de conseguir el autoconsumo, cifrado como hemos comentado, para 1.980, en 350.000 Tm, y que, por ello, el cultivo de plantas oleaginosas anuales no es competitivo con el cultivo del olivar.

Otra conclusión importante que se desprende de la tabla I, es que de todas las plantas oleaginosas cultivadas en España, la que alcanza mayor porcentaje es el girasol, (83,7%) siendo, por lo tanto, el cul

tivo más indicado para producir esas cantidades de aceite vegetal que demanda el consumo nacional, sin que, por supuesto, polarice él solo el deficit actual, dando margen más que suficiente para que puedan promocionarse, al mismo tiempo, los demás cultivos oleaginosos.

La superficie dedicada al cultivo del girasol en España, comenzó a tomar incremento a partir de 1.964, siendo los primeros años de la década de los 70 cuando cobre gran importancia, alcanzándose en la campaña de 1.974 la cifra de 437.000 hectáreas. En cuanto a los rendimientos obtenidos, es interesante señalar que se han duplicado en solo 15 años pasando de 310 kg/Ha en 1.960 a 675 kg/Ha en 1.974.

Este incremento del cultivo del girasol en España, ha situado a nuestro país, en el plano internacional, entre los grandes países productores, Rusia, Argentina y Rumania. (Commonwealth Secretariat, 1973) presentando aún en la actualidad, grandes posibilidades de expansión, si se tiene en cuenta, además, que este incremento de superficie ha tenido lugar principalmente en el secano, pues de las 344.357 hectáreas recolectadas en 1.972, solo 5.562 fueron de regadío, lo que supone un 1,6% del total nacional sembrado.

Hay que señalar, no obstante, que en la actualidad existe una tendencia muy marcada a aumentar este número de hectáreas dedi

cadras al cultivo de girasol en regadio.

De todo lo expuesto, se deduce la importancia que pueda derivarse igualmente de una investigación relacionada con las necesidades en agua del girasol, cultivado en regadio, o con un mejor aprovechamiento de la humedad del suelo con vistas al secano. Estos estudios son particularmente importantes en nuestra zona, dado que del total nacional sembrado, el 60% se localiza en Andalucía Occidental y principalmente en las provincias de Sevilla y Córdoba, donde los rendimientos alcanzados son los máximos nacionales: 804 kg/Ha en secano y 1.160 kg/Ha en regadio.

Existe todavía otro aspecto que hace interesante el estudio comparativo de las necesidades hídricas de estas dos plantas : el de conocer la rentabilidad del agua aplicada, es decir, el de la búsqueda de óptimos para un reparto racional de las disponibilidades hidrológicas.

En el caso del maíz, el efecto de la humedad del suelo sobre la producción del cultivo parece ser más patente que en el del girasol, pues mientras que el rendimiento nacional medio del primero en secano es de 2.195 kg/Ha, en regadio la cifra aumenta a 4.665kg/Ha.

Este efecto del riego es más acusado en nuestra zona, dadas sus características climatológicas de tipo árido, ya que, los rendimientos medios obtenidos en Andalucía Occidental varían de 900 kg/Ha en el secano a 5.686 kg/Ha bajo la modalidad de riego. En cambio, en el girasol la diferencia de secano a regadío es más reducida (804 kg/Ha y 1.160 kg/Ha, respectivamente).

OBJETO DEL TRABAJO

1 | El objeto de este trabajo de tesis fué el de encontrar, tanto para el maiz como para el girasol, las dosis y fechas óptimas de aplicación del agua de riego conducentes a una producción máxima en cantidad y calidad.

2 | Se pretendía, pues, cuantificar el efecto sobre la producción de regímenes de aplicación de agua diseñados en función de las necesidades hídricas de ambas especies, y de otros preestablecidos que se apartaban de la aplicación ideal, incluyendo como referencia extrema la situación de secano.

3 | También se perseguía valorar el efecto comparativo de aplicaciones realizadas en distintos periodos del ciclo biológico de la planta.

4 | Fué también objeto de ésta tesis, el estudio del comportamiento de diferentes variedades, tanto de maiz como de girasol, cultivadas bajo distintos niveles de humedad disponible en el suelo.

Finalmente, y teniendo en cuenta la importancia y aplicación agrícola -ya comentada- de cada uno de los cultivos elegidos, se hizo especial referencia al estudio del efecto de los diferentes regímenes hídricos y fechas de la aplicación del agua sobre la producción de proteínas en el caso del maíz, y sobre la elaboración de ácidos grasos en el del girasol.

## **I INTRODUCCION**

## I.1 CICLO HIDROLOGICO

El intercambio de agua y energía entre comunidades de plantas que crecen bajo condiciones naturales y su medio ambiente está determinado no solo por las características físicas del medio (clima y suelo), sino también por las características y funciones de las plantas mismas.

En particular, la relación agua-planta influye, y es influida a su vez, por estos intercambios, pero el grado en el cual el control de estas relaciones puede ser atribuido a factores ambientales varía ampliamente en diferentes situaciones específicas

Desde que el agua llega al suelo, como precipitación o riego, hasta que es sustraída por las plantas de la zona radicular o se pierde por drenaje y/o evaporación directa, están implicados un número considerable de distintos procesos, muy relacionados entre sí, que determinan una gran complejidad en el fenómeno del movimiento del agua desde el suelo a la atmósfera.

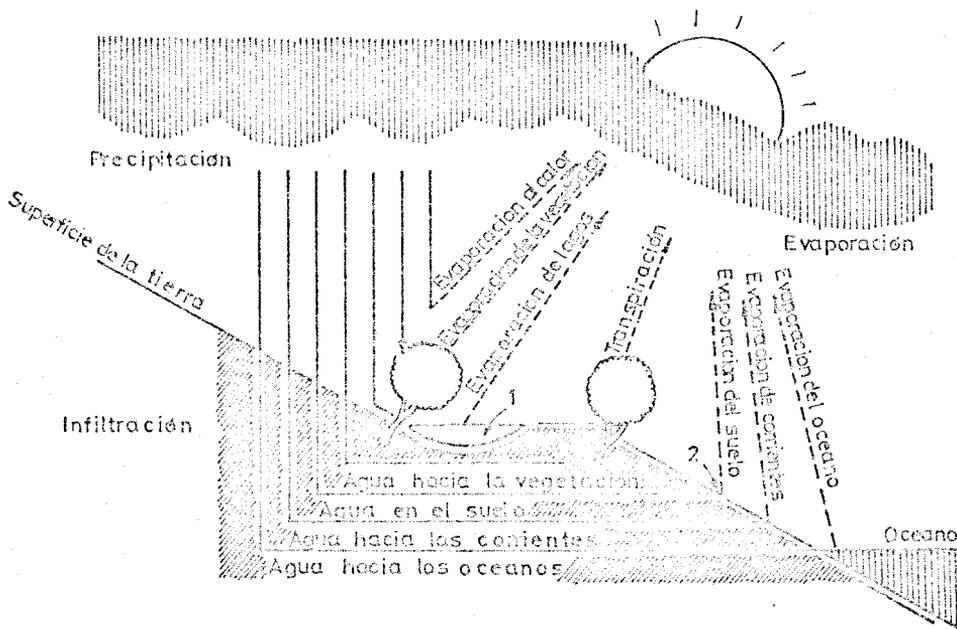
La evaporación del suelo y la transpiración de las plantas implican procesos básicamente similares, y ambos pueden ser -

considerados como caminos alternativos a través de los cuales el agua avanza hacia la superficie, y desde los que acaba por difundirse en la masa de aire libre. Lo heterogéneo de la superficie evaporante y la variabilidad biológicamente controlada de la resistencia al flujo interno modifican únicamente el movimiento del agua a través de la vegetación.

En consecuencia, es muy importante identificar y valorar estos procesos, inicialmente en términos de redistribución de humedad en el suelo, después de que su superficie haya sido mojada, y en términos de movimiento del agua subsecuente.

El agua que la planta va a utilizar durante su desarrollo será suministrada casi en su totalidad por el suelo que la soporta. El perfil del mismo es un sistema complejo y dinámico y su vitalidad es debida en gran parte a su situación dentro de ciclo hidrológico. Un diagrama esquemático de este ciclo aparece en la Fig. I.1.

Pero el suelo, aparte de ser el soporte mecánico de la vegetación, es un reservorio de nutrientes minerales y contiene además una población microbiológica activa que influyen íntimamente



- 1.. ALMACENAJE TEMPORAL
- 2.. ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Fig. I.1. Resumen del ciclo hidrológico.

te en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Desde el punto de vista de esta tesis, el aspecto más interesante del suelo está centrado en su función como "almacén" de agua y por consecuencia en su capacidad de retener y transmitir aquélla.

Las propiedades intrínsecas del suelo que inciden de una forma directa en su capacidad de retener el agua son sin duda la textura, que define también su densidad, la estructura, y porosidad, y el estado iónico.

Las clasificaciones de textura se basan, como es sabido, en las cantidades relativas de arenas, limo y arcilla que predominan en la fracción sólida del suelo. Debido a su estructura laminar, las partículas de arcilla tienen un área superficial muy extensa, lo que permite una mayor capacidad de retención de agua y elementos minerales. Day, Bolt y Anderson (1967) observaron que la superficie disponible para fijar el agua pasa de  $10^3 \text{ cm}^2/\text{g}$  en arenas gruesas a más de  $10^6 \text{ cm}^2/\text{g}$  en arcillas.

Es por lo tanto la fracción de arcilla la que controla

en gran parte las propiedades físicas y químicas de los suelos minerales.

La estructura de un suelo queda definida por la combinación y reordenación de las partículas fundamentales del mismo. El grado de estructura alcanzada afecta a la cantidad y dimensiones de los poros, y por lo tanto influye de una forma directa en la capacidad de retención y movimiento del agua, así como en la aireación del suelo.

La existencia de una buena estructura es esencial para la infiltración y retención del agua en el espacio poroso capilar, lo que contribuye al mantenimiento de condiciones favorables para el crecimiento de las raíces en la masa del suelo.

En cuanto al efecto del estado iónico del suelo sobre su capacidad de retener agua, es bien sabido que los campos eléctricos producidos por la presencia de iones, provocan la polarización y atracción de las moléculas de agua adyacentes. Como el grado de polarización es proporcional a la carga del ión e inversamente proporcional al cuadrado de su radio, un ión de pequeño tamaño pero con una elevada carga puede influir en moléculas de

agua distantes del mismo. De esta forma la cantidad y clase de iones presentes afectan de manera directa al estado del agua en el suelo.

En general, el agua del suelo está influida por todos los factores que afectan al agua pura -como la temperatura- y por factores que son únicos en el sistema suelo-agua. (Boersma et al, 1972). La composición de un volumen particular de agua del suelo depende no solo de las sustancias presentes que pueden posiblemente incluirse en el agua, sino también de otros factores más específicos como la existencia de gases disueltos, solutos y materiales en suspensión.

El desarrollo reciente de nuevas técnicas experimentales que permiten una medida más exacta de las relaciones entre la conductividad potencial, contenido de agua y flujo de la misma en suelos y plantas ha permitido abandonar el concepto clásico de las "constantes del sistema suelo-agua" como capacidad de campo, porcentaje permanente de marchitez, agua útil o disponible, reserva fácilmente utilizable o RFU, agua capilar etc., dándoles en la actualidad un verdadero carácter dinámico, pues, como se sabe, las situaciones estáticas son extremadamente raras en este sistema.

La cantidad de agua extraída por las plantas no depende solo del contenido en agua del suelo, sino también de la facultad de las raíces de absorberla y de la mayor o menor facilidad con que el suelo pueda transmitirla hacia las raíces, con la velocidad y cuantía suficientes para abastecer los requerimientos en la transpiración exigida, según las condiciones ambientales.

Este complejo fenómeno depende, según Hillel (1973), de las propiedades de la planta, propiedades del suelo, y de condiciones micrometeorológicas.

Desde un punto de vista físico, la evapotranspiración puede ser considerada como un flujo de agua desde una fuente limitada, la reserva del suelo, a un sumidero ilimitado, la atmósfera, a través de las plantas. En el momento que la extracción de agua por las raíces sea inferior a las necesidades, de la transpiración, la planta comienza a perder humedad, llegando, si estas condiciones permanecen, a la pérdida de turgor y marchitamiento final.

En la actualidad, se reconoce que el suelo, planta, y atmósfera forman un sistema físicamente unificado y dinámico (Gardner, 1960, 1974; Cowan 1965) y en el que varios procesos tienen -

lugar interdependientemente. Este sistema unificado ha sido llamado el "Continuum suelo-planta-atmósfera" (SPAC) por Philip (1966) y en él, los flujos se dirigen desde estados de alta energía potencial a más baja ; criterio éste unificado e igualmente válido y aplicable en el suelo, la planta, y la atmósfera.

El movimiento del agua a través de este sistema continuo (SPAC) está considerado como análogo al concepto de flujo de electrones a lo largo de un conductor. En ambos, el movimiento (de masa) es determinado por diferencias de potenciales y resistencias existentes en varias partes del sistema.

Estas resistencias, directamente proporcionales a las diferencias de potencial, son generalmente mayores en el suelo que en la planta y mucho más elevadas en la zona de transición de las hojas al aire libre (Philip, 1969), donde el agua cambia del estado líquido al de vapor y pasa a la atmósfera por lentos procesos de difusión.

La diferencia de potencial total entre el suelo y la atmósfera puede ser de varios centenares de bars y en climas áridos puede exceder incluso de los 1.000 bars. De éste total, la caída de

potencial en el suelo y planta es generalmente del orden de varios bars o varias decenas de bars, de modo que la mayor parte de la diferencia de potencial total en el SPAC tiene lugar entre las hojas y la atmósfera.

La resistencia  $R_e$  al flujo en cada sección del sistema queda definida por la ecuación:

$$R_e = \frac{\Delta \phi}{q}$$

donde  $\Delta \phi$  es la caída de potencial y  $q$  el flujo. Como ésta ecuación es idéntica a la expresión matemática de la ley de Ohm, es posible representar el flujo de agua en el SPAC análogo a una corriente eléctrica a través de una serie de resistores.

En el primer estadio del ciclo,  $R_e$  depende del contenido de humedad en el suelo, de su conductividad hidráulica y de las características del sistema radicular. Gardner y Ehlig (1963) ofrecieron una alternativa de la expresión anterior:

$$\phi_p = \phi_s - ER$$

donde  $\psi_p$  es el potencial del agua en la planta,  $\psi_s$  en el suelo,  $E$  la transpiración, y  $R$  es la resistencia en flujo del agua en el sistema suelo-planta.

Según Philip (1966), este modelo, resulta útil pero simplificado en exceso: primero, representa una situación de estado estable que realmente existe pocas veces en el SPAC; segundo, supone una resistencia constante al flujo del agua cuando realmente son variables en el suelo, raíces, y hojas según el coeficiente de flujo hídrico; y tercero, no existe un mismo estado del agua en todo el sistema, ya que se mueve como fase líquida dentro del suelo y la planta, pero en forma de vapor de la planta a la atmósfera.

A pesar de los inconvenientes expuestos, este tipo de enfoque ha estimulado el desarrollo de varios modelos interesantes, como el que aparece en la Figura I.2.

Slatyer (1967) resumió las conclusiones del ciclo hidrológico en el SPAC como sigue: 1) el flujo hídrico total es controlado fundamentalmente en la fase de vapor, entre las superficies evaporantes de la hoja y la atmósfera; 2) los estomas son los

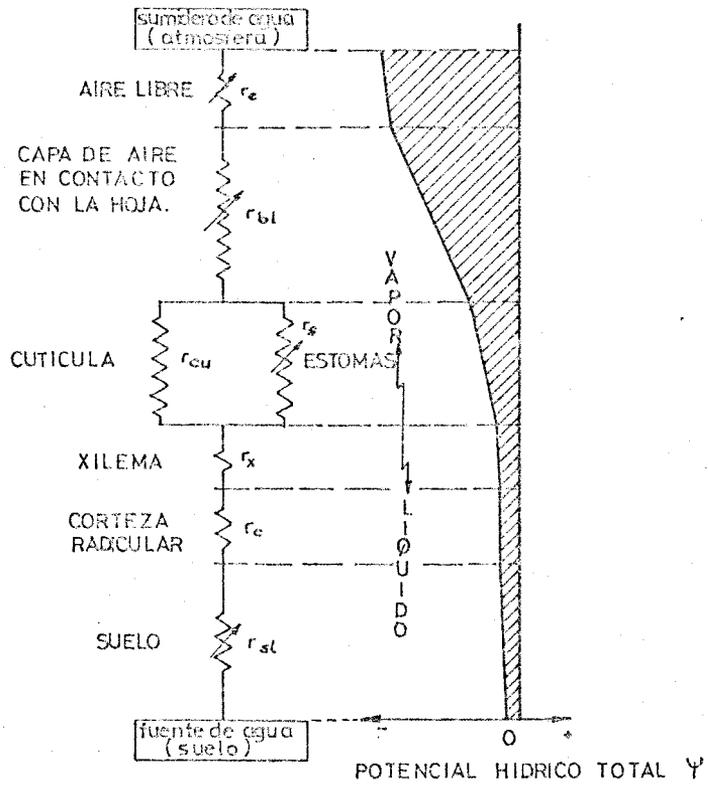


Fig.I.2 Símil que representa la analogía entre las resistencias al flujo de agua en el SPAC y una corriente eléctrica.

principales reguladores del flujo hídrico a través de la planta; y 3) al desarrollarse un aumento de la resistencia al flujo en cualquier otra parte del sistema (por ejemplo las raíces), se puede reducir la transpiración solo en forma indirecta, reduciendo la turgencia de las hojas lo suficiente como para provocar el cierre de los estomas.

El análisis físico de los procesos que intervienen en el ciclo del agua en el suelo está todavía en una fase preliminar y basado en premisas simplificadas las cuales no siempre representan las condiciones complejas que prevalecen en diferentes situaciones del sistema. Sin embargo ya parece posible formular físicamente, en términos cuantitativos, algunos procesos que recientemente eran descritos solo cualitativamente.

En resumen, el movimiento del agua desde el suelo hacia la planta y la atmósfera tiene lugar a lo largo de una ruta de energía potencial decreciente cuyo primer eslabón es el flujo del agua desde la parte no saturada de suelo que rodea a las raíces y que puede afectar al resto de los procesos.

Desde el punto de vista dinámico, los conceptos clási-

cos y a menudo mal usados de capacidad de campo y porcentaje permanente de marchitez pueden ser nuevamente definidos en términos de procesos no estáticos.

Un suelo puede considerarse a capacidad de campo cuando el drenaje interno desde la zona radicular es suficientemente pequeño como para despreciarlo, en un momento dado, y bajo una serie de circunstancias específicas. El porcentaje permanente de marchitamiento puede definirse como aquella humedad del suelo a la cual la extracción del agua por una planta determinada es insuficiente para reponer las pérdidas por transpiración en un ambiente climático concreto.

## I.2.- NECESIDADES HIDRICAS DE LAS PLANTAS

### I.2.1.- Generalidades

Para que una determinada planta desarrolle y cumpla se ciclo vegetativo de manera normal, es obligado suministrarle el agua que necesite en la cuantía y con la frecuencia convenientes, como tendremos ocasión de discutir en los párrafos que siguen.

Desde el nivel de humedad del suelo que puede considerarse óptimo para la fisiología del vegetal, hasta el que normalmente existe en la situación de secano, se encuentran estados intermedios que es conveniente estudiar, porque permiten conocer entre otros muchos aspectos, datos sobre la rentabilidad del agua aplicada, que es de la máxima importancia en todas las zonas semi-áridas.

Como luego mencionaremos, la relación entre agua aplicada y producción puede analizarse tomando a una u otra de estas dos variables como preferente, y según este distinto enfoque del problema, el planteamiento experimental puede ser muy diferente.

El agua que la planta va necesitando , en cada momento, es cuantitativamente equivalente a la pérdida por transpiración, principalmente a través de los estomas foliares. Transpiración, y crecimiento y desarro-

llo van íntimamente ligados.

Debido a la naturaleza del fenómeno de la transpiración, es lógico que dependa fundamentalmente de las condiciones ambientales, aunque esto no excluya el control del mismo por la propia planta, sobre todo en determinados momentos.

La relación entre transpiración y factores meteorológicos (especialmente temperatura, radiación y humedad relativa) ha sido un problema cuyo estudio se ha iniciado hace muchos años.

Normalmente, se encuentra con mayor frecuencia en la bibliografía el fenómeno de transpiración considerado conjuntamente con el de evaporación directa del suelo, que estudiado aisladamente, en particular cuando se trata de establecer relaciones entre gasto de agua y producción.

El fenómeno conjunto de transpiración más evaporación (denominado también evapotranspiración), en la que respecta a su íntima relación con el medio ambiente, ha ocupado una gran parte en la bibliografía de las relaciones agua-suelo-planta.

Por la aplicación de algunos de los métodos de medida de la evapotranspiración que se discutirán en el capítulo siguiente, se llega al conocimiento del volumen global aproximado que la planta ha de consumir du-

rante el periodo fundamental de su ciclo biológico, y teniendo en cuenta la capacidad de retención del suelo, puede entonces dosificarse en la forma apropiada.

Conviene, sin embargo, destacar dos aspectos importantes del problema: primero, la relación entre valores estimados y consumos por la planta sólo es válida para el periodo fundamental, pero no para el crecimiento inicial, a menos que se emplee una fórmula, como la de Blaney-Criddle (1962), que tiene en cuenta, "grosso modo", la situación del ciclo vegetativo, y segundo, la relación entre suministro potencial de agua a la planta y nivel de humedad en el suelo no es sencilla, sino que depende de una serie de factores, como analizaremos a continuación.

Durante mucho tiempo existió la controversia entre los que defendían la tesis de que la evapotranspiración, y con ello el suministro de agua a la planta, no descendía hasta que la humedad en el perfil del suelo había llegado a un nivel próximo ya al de marchitez permanente, y los que mantenían que dicha disponibilidad de agua seguía paralela al nivel decreciente de humedad en el perfil, desde la capacidad de campo hasta el límite inferior referido.

El dilema era muy importante, pues se trataba de dos enfoques muy distintos y que se traducían en la práctica en dos situaciones cuantita-

tivamente muy alejadas entre sí. En un suelo arcilloso, por ejemplo, que posee una gran capacidad para almacenar agua, la aceptación del primer punto de vista, con relación al segundo, permitiría espaciar el suministro de agua en periodos de doble longitud de tiempo.

La primera de estas tesis fué fundamentalmente mantenida por Veihmeyer y Hendrickson (1949) y la segunda por Richards (1949).

Sin embargo, el material experimental disponible (revisado entre otros, por Stanhill (1957)) favorecía cada vez más a la segunda de estas tesis.

La introducción de un nuevo criterio en el estudio de la capacidad de campo de los suelos, con la inclusión de un concepto dinámico en la solución del problema de la accesibilidad del agua a la planta (ahora dependiente de los factores ambientales), inició una nueva etapa sobre los conocimientos de este tema (Hallaire 1953).

Los trabajos de Hallaire en Francia (1960) y los de Denmead y Shaw (1962) en los Estados Unidos han mostrado sin lugar a dudas que la disponibilidad del agua no es solo dependiente del nivel de humedad del suelo, sino también, y de manera fundamental, del grado de demanda existente, según las condiciones del medio imperantes.

Estudios de Gardner y Ehlig (1962) demostraron que en momentos de fuerte demanda la resistencia al movimiento del agua en la interfase suelo-raíz es muy alta y , como consecuencia, los potenciales alrededor de la zona radicular aumentan más rápidamente que en el resto del perfil. -- Esto explica que, incluso en suelos bien provistos de humedad, en determinados momentos puedan aparecer en la planta síntomas de marchitez, especialmente al mediodía.

No hay que olvidar, sin embargo, que los gradientes mayores se ejercen en la interfase hoja-atmósfera, donde pueden alcanzar cifras de varios miles de bares, aunque el potencial del suelo también afecta, indirectamente, al cierre de estomas, y con ello, a elevar el gradiente mencionado.

Según Watson (1952), entre las razones que explican el efecto del aumento de tensión en el suelo sobre el fenómeno anterior, cabe considerar la reducción en el tamaño de las hojas, así como también el cierre de estomas y el retraso en las reacciones enzimáticas.

Como ya hemos mencionado, reducir el nivel de evapotranspiración -- significa reducir la producción, aunque la relación entre ambas no sea a veces sencilla de establecer.

Se considera, en general, que la máxima producción en materia verde, o en peso seco, se alcanza cuando los potenciales en la planta son altos, es decir, de baja succión (Kramer 1963). Ahora bien, según Bierhuizen - (1961), el efecto sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo no es igual que sobre la producción de materia seca.

Tampoco es similar, en todo momento, el efecto que sobre la producción ocasiona la existencia de un determinado déficit de humedad, ya que depende del periodo en que ocurra dentro del ciclo vegetativo. Es decir, que existen fases en que la escasez de agua puede afectar a la planta de una forma mucho más aguda que en otras.

El efecto de la humedad del suelo sobre la producción obliga pues a suministrar a la planta la cantidad de agua requerida y con la frecuencia conveniente. Sin embargo, cuando el agua escasea, es más importante conseguir el mejor aprovechamiento de la misma, o sea, el máximo de producto por unidad de agua aplicada.

Cuando, por el contrario, el agua es abundante, la meta ha de ser conseguir el máximo producto por unidad de área, sobre todo si el terreno de buena calidad no es muy abundante.

Según las consideraciones ya expuestas, el aporte de agua debe te-

ner lugar cuando el potencial en el perfil permite todavía suministrar a la planta el agua de acuerdo con la demanda exigida por las condiciones ambientales, sin situarla bajo una tensión que reduciría la calidad y/o cantidad del producto cosechado.

### I.2.2.- Necesidades hídricas de plantas de maiz

Conocer el volumen real del agua evapotranspirado por un cultivo y saber cuando debe ser aplicado, ha sido por mucho tiempo el problema de agricultores e investigadores dedicados a este tema. Durante los últimos años se han desarrollado una gran variedad de técnicas con el objeto de medir o estimar la cantidad de agua consumida por un cultivo. Estas técnicas revisadas por Haise y Hagan (1967), Holmes, Taylor y Richards -- (1967) y Tanner (1967) se basan en su generalidad en la medida de la evapotranspiración como criterio para establecer un regimen de riegos determinado.

El consumo de agua efectuado por un cultivo de maiz ha sido objeto de numerosos estudios en la bibliografía actual. Downey (1971a) hizo una revisión del tema, concluyendo que parece razonable admitir que el consumo por el cultivo desde siembra a madurez alcanza los  $500 \pm 100$  mm. La cantidad real del agua necesaria, variará con la localización y, más especialmente, con la evapotranspiración potencial de las plantas en aquel

lugar. En regiones áridas, el rango de aplicación de agua aumentaría a --  
750 <sup>±</sup> 150 mm. Estos límites pueden concretarse con un conocimiento exac-  
to de la climatología y los suelos de la región.

Los volúmenes de agua aplicados a cultivos de maíz en nuestro país, están dentro de los límites señalados. Gimenez (1968) estimó una necesidad teórica de 480 mm., pero la cantidad real aplicada oscila entre los 600 a 800 mm. dependiendo de las regiones.

Es interesante señalar que los valores de la transpiración están estrechamente relacionados con la cobertura vegetal y con la fenología propia del desarrollo del cultivo (Pueh et al, 1968). Los trabajos de Harold et al (1959) mostraron que el 60% del volumen total de agua aplicado al cultivo es evaporado por la superficie del suelo, mientras que solo el 40% restante es transpirado por las plantas. En un suelo húmedo y con escasa cobertura vegetal la evaporación desde la superficie del suelo es muy similar a la registrada en un evaporímetro Class A pan, mientras que en un suelo seco y con máxima cobertura vegetal la evaporación es entonces insignificante.

Los trabajos de Downey (1971 b) pusieron de manifiesto la relación existente entre consumo de agua, porcentaje de cobertura y altura de --  
planta.

Cuando el agua suministrada al cultivo se expresa como una fracción de la evaporación potencial, el ritmo de aumento del valor absoluto del cociente en una representación gráfica adquiere forma sigmoideidal, aproximándose al valor máximo de la unidad cuando se alcanza el máximo de cobertura vegetal (Wangati, Dagg y Ngugi, 1967).

Algunos autores, sin embargo, han obtenido valores que exceden de la unidad, lo que indica que el cultivo está perdiendo más agua que la estimada por su evapotranspiración potencial. Este fenómeno - puede ser atribuido a la advección debida a la mayor superficie en contacto con el aire que presenta la planta, o bien a las diferentes características de las superficies del cultivo y del evaporímetro.

El hecho observado por Peters y Russell (1959) de que un aumento de densidad en la población del cultivo supuso sólo un pequeño - aumento de la evapotranspiración (sólo 20 mm. más) hace pensar que la mayor parte de la energía disponible es utilizada en la evaporación del agua del suelo. En este sentido Downey (1970) no encontró diferencias significativas en el valor de la evapotranspiración total de un cultivo de maíz, utilizando distintas densidades de plantas.

El uso de densidades altas, según Genter y Camper (1973) elevan el rendimiento del cultivo, en materia seca, pero disminuye el peso de la ma

zorca, diámetro de tallo, altura de plantas y el porcentaje de plantas erectas.

Tampoco el empleo de fertilizantes y utilización de diferentes variedades influyen de modo apreciable sobre la evapotranspiración del cultivo (Colville et al, 1964). Barnes y Woolley (1969) encontraron una diferencia varietal sobre la extracción de agua solo del orden del 2%.

Moolani y Behl (1968) por su parte, concluyeron que el consumo de agua por plantas de maiz es más elevado cuando el agua no está limitada. Esta observación corrobora la existencia del denominado "consumo de lujo" en la mayoría de los cultivos, es decir, en condiciones de alta disponibilidad de agua, la planta va a utilizar más cantidad de la que fisiológicamente necesita.

Un aspecto de la máxima importancia en la extracción de agua por un cultivo, es su actividad radicular; su capacidad de exploración de zonas profundas y el propio fenómeno de la absorción del agua por las raíces. Según los trabajos de Moroghan y Tiedeman (1972), la humedad del suelo donde crecía un cultivo de maiz descendió visiblemente en los primeros 90 cm, mientras que, por ejemplo, la remolacha azucarera mantiene en sus raíces actividad metabólica de absorción de agua hasta los 200 cm.

Los estudios de Taylor y Klepper (1973) sobre la actividad radicular de las plantas de maiz mostraron cómo el contenido de agua en el suelo disminuía al aumentar la densidad de las raíces. La cantidad de agua extraída por centímetro de raíz dependía directamente del contenido en agua del suelo y de su conductividad hidráulica, y para un valor de ésta determinado, la absorción de agua era mayor a una baja densidad de raíces, lo cual hace suponer que las raíces jóvenes son más permeables a bajas densidades que a altas. Cuando el agua estaba retenida a menos de -0,3 bar de tensión, el ritmo de absorción de agua descendía igualmente.

Parece ser cierto que las raíces profundas extraen más cantidad de agua por unidad de longitud de raíz que las situadas en los primeros centímetros del suelo. Este hecho puede explicarse debido a que las raíces situadas en capas más interiores son más jóvenes y generalmente menos numerosas, y a menudo están localizadas en zonas más húmedas.

Cuando la humedad en la zona de raíces escasea, la actividad del sistema radicular de la planta no puede abastecer el agua con la cantidad y velocidad requeridas para la transpiración, lo que determina una serie de efectos negativos en el desarrollo y fisiología del vegetal.

La existencia de estas condiciones deficitarias en agua afectan adversa y distintamente a la calidad y cantidad del producto cosechado. Se

gún Taylor (1952) para obtener un máximo de producción, el agua debe aplicarse cuando la humedad en el perfil está retenida con una tensión de -0,5 a -1,0 bar.

En el caso concreto del maíz, las experiencias de Shinn y Lemon (1968) mostraron como se producía una reducción del crecimiento cuando la tensión del agua en la zona radicular estaba comprendida entre -0,75 y -1,50 bar. En éste mismo sentido hablan los trabajos de Rhoades y Stanley (1973), los cuales encontraron un rendimiento significativamente inferior si el agua se aplicaba cuando el potencial en el perfil era inferior a -0,6 bar. Las máximas producciones se obtenían cuando el agua contenida en la capa arable estaba retenida con una tensión superior a -1/3 bar.

Expresándonos en términos de "humedad disponible", el maíz debe ser regado cuando haya consumido el 20% de la humedad disponible en la zona radicular (Tripathi, Singh y Singh, 1970). Aunque según los trabajos de Nagy, Bianu y Budiu (1972) se obtienen producciones rentables cuando se mantiene en el perfil de un 50% a un 70% del valor de la referida humedad.

Es importante recordar aquí, que la cantidad de agua presente en el suelo no es el único factor que determina la accesibilidad de la misma para la planta. Así, los trabajos de Denmead y Shaw (1960) y Fleming (1966) mostraron, como ya mencionamos, que la disponibilidad del agua no

es solo dependiente del nivel de humedad del suelo, sino también, y de manera fundamental, del grado de demanda existente según las condiciones del medio imperantes, como se pone de manifiesto a continuación:

Refiriéndonos a las primeras de estas experiencias, en el caso del maiz, mientras que a un nivel de evaporación del orden de 6,4 mm/día, se conseguía que ésta se redujera del 100% al 0% de su valor -al disminuir la tensión en el suelo de -0,2 bar a -10 bar-, cuando la evapotranspiración era solo de 1,4 mm/día, con la misma variación de la tensión de humedad, la pérdida de agua descendía únicamente un 20% quedando en el 80% de su valor máximo.

Por otra parte, y en éste mismo sentido, hablan los trabajos de Bierhuizen y Voss (1958) en los que se describe una reducción de hasta un 30-40% de la máxima cuando la tensión disminuía de -0,2 bar a -2,5 bar, en condiciones de alta demanda, mientras que cuando la demanda era baja, sólo descendía a un 60%.

Experiencias más recientes efectuadas bajo condiciones controladas en un fitótrón (Slavik, 1973) han mostrado que las plantas de maiz aumentan el ritmo de transpiración en un medio con humedad relativa del aire elevada. La posible explicación de ello está en que en un medio húmedo, la cutícula ofrece menor resistencia a la difusión, y a que en estas con-

diciones se favorece la apertura máxima de los estomas.

Un aspecto muy importante de la falta de humedad sobre la fisiología de la planta, es su incidencia en el fenómeno de la fotosíntesis.

La relación entre fotosíntesis y déficit de agua fué revisada por Vaadia y Waisel (1967) quienes concluyeron que cuando la luz no es limitante, el ritmo fotosintético desciende al aumentar el déficit de humedad, y por lo tanto es de esperar que el máximo de productividad se obtenga en un cultivo que no haya estado sometido a ninguna deficiencia hídrica.

En el caso de plantas de maíz, las experiencias de Boyer (1970) mostraron cómo la fotosíntesis era inhibida cuando el potencial de agua en la hoja era inferior a  $-3,5$  bar. Este descenso en la actividad fotosintética, fué atribuido al cierre de estomas que ocurre de forma definitiva cuando la tensión del agua en la planta alcanza los  $-10$  bar de tensión.

Downey (1971, c) mostró como la fotosíntesis neta desciende cuando la turgidez relativa de la célula -término introducido por Weatherley - (1950), que hace referencia al estado del agua en el tejido vegetal- era inferior al 90%.

Si el ritmo diario de asimilación de anhídrido carbónico decrece de

40 mg de  $\text{CO}_2$  /  $\text{dm}^2$  / hr. a 20 mg de  $\text{CO}_2$  /  $\text{dm}^2$  / hr por un descenso en la turgidez relativa, se puede esperar entonces una reducción concomitante en la producción del cultivo (Barnes y Woolley, 1969). Efectivamente, los trabajos de Wesselius y Brouwer (1972) demostraron que un aumento en la tensión de anhídrido carbónico en el medio, no evitó la reducción de la actividad fotosintética producida por un déficit de humedad, lo que indica que las condiciones hídricas desfavorables producen una reducción de la actividad bioquímica aún cuando las demás características del medio sean óptimas.

Otros aspectos fisiológicos afectados por la falta de humedad son la elongación celular y la respiración. En este sentido, el déficit de agua mantenido a un cultivo de maíz, repercute con mayor efecto sobre la elongación de las hojas que sobre la fotosíntesis, y en menor grado sobre la respiración.

Acevedo et al (1971) mostraron que la elongación celular en las hojas de maíz se detiene cuando el potencial hídrico en el suelo es de -2,5 bar, existiendo en estas condiciones -7,0 bars de tensión sobre el agua retenida en las hojas. Ambos fenómenos -elongación celular y potencial de agua en el tejido- están afectados por la temperatura, apreciándose una reducción en el crecimiento del vegetal cuando la temperatura del aire y de la zona radicular son inferiores a 5° C (Watts, 1972).

En éste sentido, los trabajos de Sánchez-Díaz, Morey y González-Bernáldez (1969) señalaron que tanto la transpiración como el alargamiento foliar comienzan a reducirse para tensiones de humedad en el suelo inferiores a  $-0,3$  bar. Mientras que la reducción de la transpiración continua hasta el final del proceso de sequía (valores próximos a  $-15,0$  bar), el alargamiento foliar se detiene antes (a valores de  $-1,0$  a  $-3,0$  bar).

Los trabajos de Sánchez-Díaz y Kramer (1971) mostraron que con riego abundante el potencial de agua en la planta alcanzó un valor de  $-4,5$  bar, llegando a los  $-12,8$  cuando el riego escaseaba, lo que suponía un déficit de saturación del 45%.

De éstas experiencias se deduce, que el maíz pierde mucha agua antes de que todos los estomas se cierren, lo que hace que estas plantas sean poco aptas para su cultivo en regímenes deficitarios de agua. Por ello, el conocimiento del estado del agua en la planta serviría para detectar las necesidades hídricas del vegetal.

El valor de la turgidez relativa puede utilizarse para determinar estos niveles críticos de humedad en el suelo. Sin embargo, existe una fluctuación apreciable de su valor durante el día. La amplitud de esta variación depende del potencial de agua en el suelo y del grado de demanda según las condiciones atmosféricas. Namken y Lemon (1960) encontraron que

en un suelo seco el maiz puede experimentar unas variaciones hasta de un 30% en el valor de la turgidez relativa. Según Downey (1970) el valor óptimo de aquella era 95% lo que permite el máximo rendimiento del cultivo.

Las experiencias de Gatskey, Charter y Djavanchir (1973) pusieron de manifiesto que las hojas de maiz presentan dos máximos de déficit de saturación de agua: uno, a mediodía y un segundo, aún más pronunciado, que se produce alrededor de las dieciocho horas. La medida a la resistencia estomática mostró que éstos, están generalmente más abiertos durante la mañana que durante la tarde y en mayor número los del haz de la hoja que los del envés.

La demanda en agua de cualquier cultivo es máxima durante el periodo de floración o formación del fruto. Durante este periodo -normalmente el de más rápido crecimiento- una reducción en la humedad disponible del suelo afecta de forma directa al crecimiento y producción del mismo.

Denmead y Shaw (1960) observaron que en un cultivo de maiz, la existencia de un déficit de agua que ocurra después de la floración reduce un 25% el crecimiento vegetativo y un 21% el crecimiento del fruto. Robins y Domingo (1953) encontraron experimentalmente que dos días de déficit en el periodo crítico previo a la floración redujo un 22% la producción, y ocho días de déficit, un 50%.

También Howes y Rhoades (1955) y Dale y Shaw (1965) encontraron que el maiz es extraordinariamente sensible al déficit de humedad en el periodo que va de la emergencia del penacho al final de la polinización.

/Según Downey (1971,b ) el déficit de humedad mantenido durante la formación del fruto redujo la producción un 50%, apreciando así-mismo reducciones en el contenido de clorofila de las hojas y en el ritmo de asimilación. Mallet y De Jager (1971) registraron un consumo máximo en éste periodo de 10 mm/día, y la marchitez era apreciable, si la humedad disponible descendía del 75% de su valor.

Entre otros efectos detectados de la humedad sobre la producción de un cultivo de maiz, son muy importantes los que inciden en su calidad. Las experiencias de Tripathi (1971) demostraron que las máximas cantidades de proteína por hectárea se obtenían al regar cuando la humedad disponible en el suelo descendía al 40% y aplicando una dosis de fertilizante de 100 Kg N<sub>2</sub>/Ha. Esto indica que existe una mayor elaboración de proteínas en niveles deficitarios de humedad, aunque en muchos casos se compensa por las elevadas producciones que se alcanzan bajo niveles óptimos de riegos.

El nivel de actividad enzimática es consecuencia de un equilibrio entre los sistemas de síntesis y degradación. Una deshidratación progresiva de los tejidos, reduce ambos procesos. En el caso del maiz, Bardzik

Marsh y Havis (1971) detectaron que bajo un déficit de agua del orden del 10 al 20% se reducía marcadamente la actividad de la L -fenilalanina y de la nitrato reductasa. Si el déficit alcanzaba el 50% se llegaba a un nuevo estado de equilibrio.

Además de la importancia del suelo como "almacén" de agua, para el crecimiento de los cultivos, sus propiedades intrínsecas condicionan en definitiva la producción de aquéllos. Sopher y MacCraken (1973) encontraron que las propiedades del suelo con más alta correlación con la producción de un cultivo de maíz eran: capacidad de retención de agua, textura, cantidad de fósforo asimilable y ciertas propiedades relacionadas con el control del pH y capacidad de intercambio catiónico.

Según Geraldson y Duncan (1970), sin olvidar la importancia del clima, puede considerarse como factor limitante de la producción del maíz, el estado iónico del suelo en la zona radicular cuando se cultiva con óptimas técnicas culturales de agua y fertilidad mineral.

El agua almacenada en un suelo, la precipitación ocurrida durante el periodo de crecimiento de un cultivo de maíz, y el riego, tienen idéntico efecto sobre la producción, de forma que cualquiera de ellos puede sustituirse por otra (Power et al, 1973).

Algunas estrategias agronómicas pueden ensayarse con el objeto de paliar, al menos en parte, el efecto de la escasez de agua dentro del ciclo biológico de la planta. Las experiencias de Ratan Lal (1974) demostraron que, con la técnica del "mulching" -- del suelo, se consigue un aumento de la producción desde un 22 a un 56 % debido a que esta técnica mantiene una temperatura más elevada y mayor humedad en el suelo.

Otras técnicas pueden ser la de utilizar densidades y marco de siembras apropiadas, así como el sistema de cultivo entre líneas; pero su efecto no está suficientemente demostrado.

En resumen, las distintas variaciones que se producen en el consumo de agua por un cultivo de maíz son debidas a las diferentes condiciones de demanda, determinadas por las características climatológicas, según las localizaciones de su cultivo. Hay que tener presente, no obstante, que en muchas regiones la eficiencia del riego depende más de la producción alcanzada que del consumo de agua efectuado.

### I.2.3.- Necesidades hídricas de plantas de girasol

Por ser el girasol un cultivo más reciente y menos cosmopolita que el maíz, el estudio de su fisiología y más concretamente de sus necesidades hídricas, se ha realizado de una forma específica en aquellos países donde su producción incide de una manera directa y fundamental en la economía y política agraria.

Por este motivo, se ha creído conveniente realizar la presente revisión bibliográfica a modo de "revisión geográfica", es decir, haciendo especial referencia a los países donde los trabajos que a continuación se comentan fueron realizados.

En nuestro país, y más concretamente en Andalucía, el girasol crece bajo condiciones semiáridas y como las lluvias de verano son extremadamente limitadas o inexistentes en la mayoría de los años, y la precipitación de primavera tiene carácter errático, el cultivo depende para su abastecimiento en agua, de la humedad retenida en el suelo procedente de las lluvias de invierno.

Como, además, esta planta está normalmente expuesta a elevadas temperaturas durante el periodo de floración a madurez, es muy importante, desde todo punto de vista, conocer y evaluar el efecto de estas condiciones adversas sobre la cantidad y calidad del producto cosechado.

Una parte limitada del cultivo de girasol en España se realiza bajo la modalidad de riego, y como a veces no se dispone del agua suficiente para todos los cultivos en una misma zona, es necesario saber cuándo y en qué cantidades la planta de girasol debe ser regada. Trabajos de esta naturaleza han sido llevados a cabo en varios países europeos y en U.S.A., donde el cultivo del girasol está considerado de gran importancia y como fuente principal de aceites vegetales para el consumo humano.

Los trabajos de Robelin (1967) en Francia pusieron de manifiesto que todo déficit de alimentación hídrica que ocurra en el periodo de diferenciación de los órganos florales a madurez, disminuye la producción en semillas de un cultivo de girasol siendo la sensibilidad más acusada en el curso de 20 días antes - 20 días después de la floración. Durante este periodo, diez días de déficit hídrico pueden entrañar una disminución en la producción del 30 al 35%. De la misma forma se ve afectada la cantidad y calidad del aceite producido.

Los estudios sobre las necesidades en agua del girasol en Francia (Rollier, 1971; Eckard, 1971; Nicolás, Pierre y Rollier 1974), permitieron precisar la acción y reacción de la sequía so-

bre el comportamiento de la planta, ciertos efectos de las condiciones de suministro de agua y la utilización de la energía sobre la producción del cultivo.

Marty et al (1972) encontraron en experiencias de campo un valor superior a la unidad para el cociente ETR/ETP (evapotranspiración real/evapotranspiración potencial) para el periodo que va de la floración a madurez, lo que indica que durante este tiempo, la planta presenta necesidades hídricas muy importantes y superiores a la evapotranspiración potencial, medida en evapotranspirómetros clásicos. Según estos autores, el riego aumenta el contenido de lípidos de la semilla, pero disminuye la tasa de proteínas, desplazando así el equilibrio proteo-glicolipídico de aquéllas.

En Rumania, Albinet, Bulinaru y Vasiliu (1968) mostraron que la mayor producción y más alto contenido en aceite de la semilla se obtenía cuando la humedad del suelo no descendía nunca del 50 % del valor de su capacidad de campo. Por otra parte, Rodica (1974) ha realizado un estudio exhaustivo de 5 años sobre la evapotranspiración del girasol en este país, usando para ello lisímetros, el método de balance de agua en los suelos y cálculos basados en fórmulas climáticas. Los trabajos de Savulescu,

Milica y Vranceanu (1971, 1972), tanto en experiencias en macetas como en campo, pusieron de manifiesto el grado de resistencia a la sequía de plantas de girasol, así como el efecto que sobre la producción y contenido graso de la semilla ocasiona la falta de humedad durante los periodos críticos del crecimiento. Según estos autores, la existencia de 10 días de déficit hídrico en el periodo de formación de la semilla a madurez, redujeron en un 30% la producción y en un 20% la riqueza grasa de la semilla.

Así-mismo fueron detectadas reducciones de hasta un 50% en la concentración de pigmentos (clorofilas a y b y carotenos) cuando los periodos de sequía se mantenían en las fases de floración. También, la intensidad de la fotosíntesis se redujo en un 47%, y la productividad neta estaba fuertemente afectada por el régimen hídrico. La concentración de jugo celular, el ritmo de formación del sistema radicular, la actividad de la catalasa, y el contenido en ácido ascórbico, fueron de igual forma afectados por el estado de humedad del suelo.

- Trabajos posteriores de Savulescu ( 1974 ) han mostrado un efecto varietal en la resistencia a la sequía con especial referencia sobre los aspectos morfológicos, producción de semillas y materia seca y diferentes procesos fisiológicos y me-

tabólicos de la planta.

Renea y Olteanu (1960) encontraron que el girasol en Rusia proporciona producciones máximas cuando, cultivado con una densidad de 45.000 plantas/Ha., le eran suministrados del orden de 200 mm. de agua en dos o tres aplicaciones, efectuadas durante la formación del capítulo, floración y formación de semillas.

Los trabajos de Ikonikov (1973 a y b) también en Rusia, demostraron que cuando la humedad del suelo descendía del 70% de su capacidad de campo al 15% de aquélla, se apreciaba una notable disminución de la actividad fotosintética y enzimática. Este descenso en el contenido hídrico del suelo provocaba la supresión de los procesos de crecimiento y reducciones en la producción de semillas y contenido en aceite de las mismas. Las mayores reducciones aparecían cuando el periodo de déficit ocurría desde la formación del polen a la formación de la semilla.

Milic (1967) encontró que el volumen óptimo de riego para el girasol cultivado en Yugoslavia oscila de los 300 a 370 mm., de los cuales del 20% al 30% es evapotranspirado en la primera fase (vegetativa) del desarrollo de la planta, del 45% al 60% duran

te el periodo de floración a madurez y del 20% al 29% restante en la última estación de crecimiento, lo cual pone de manifiesto la existencia de un periodo de máxima demanda hídrica coincidente con la floración y formación del fruto, como ya se ha mencionado.

La relación entre el nivel de auxinas en el girasol y el contenido de humedad del suelo fué puesto de manifiesto en los trabajos de Hartung y Witt (1968). Según estos autores, la concentración máxima de aquellas coincidía con la humedad disponible en el suelo del 30% al 80%. Cuando el nivel de humedad se reducía o aumentaba en un 10%, la concentración de auxinas se modificaba dos o tres días más tarde, lo que explica en cierto modo la dependencia del fenómeno de crecimiento con el estado de humedad del suelo.

Según Sionit, Ghorashy y Rheradnah (1973) la producción en semillas de un cultivo de girasol está significativamente influida por el régimen de humedad existente en la zona radicular. Los datos obtenidos por estos autores indicaron que dicha producción decrecía rápidamente cuando el potencial de agua en el suelo disminuía de  $-0,32$  a  $-1,2$  bar. Un potencial de  $-4,3$  bar redujo el peso de semillas a la recolección en un 95%, comparado con la pro

ducción obtenida cuando se mantenían en el suelo solo 0,32 bar de tensión. Con potenciales inferiores a -6,80 bar se inhibía totalmente la formación del fruto. Estos resultados indican que a semejanza de otros cultivos, el girasol debe ser regado cuando el potencial del agua en el suelo supera un bar de tensión.

Los trabajos de Boyer (1970, 1971 a y b) y Boyer y Bowen (1970) en U.S.A., establecieron de forma definitiva la relación existente entre el fenómeno de la fotosíntesis y el potencial de agua en hojas de girasol. Refiriéndonos a las primeras de estas experiencias, Boyer estudió los fenómenos de alargamiento celular y síntesis de metabolitos a varios potenciales de agua en la célula, la recuperación del ritmo fotosintético en la planta después de haber estado sometida a bajos potenciales de agua y por último la inhibición estomática de la fotosíntesis a bajos potenciales de agua en la hoja y a altas intensidades de luz, respectivamente. En las segundas experiencias citadas se determinó que la evolución del oxígeno en cloroplastos aislados de hojas de girasol era inhibida a potenciales inferiores a -8 bar y el grado de inhibición por debajo de este potencial era proporcional a él. La fijación de  $\text{CO}_2$ , el ritmo de apertura de estomas y la transpiración eran también reducidos bajo estas condiciones.

El hecho de que en condiciones de baja intensidad luminosa, la planta de girasol requiere más cantidad de luz, por unidad de  $CO_2$  fijado, cuando la hoja presenta potenciales hidricos bajos, podría explicar la inhibición de la evolución del oxígeno mencionada, en cloroplastos aislados.

De esta experiencia podemos sacar en conclusión, que potenciales hídricos en la hoja suficientemente bajos afectan a la fotosíntesis al menos de dos formas: primero, a través de una inhibición en la evolución del oxígeno por cloroplastos, y segundo, - por el cierre de los estomas foliares que impiden la libre entrada del anhídrido carbónico.

En Italia, los estudios de Ronciarelli (1972) determinan los requerimientos ecológicos y técnicas culturales para plantas de girasol. Parecen ser suficientes de 320 a 350 mm. de precipitación durante el periodo vegetativo , consiguiendose con éstos, producciones satisfactorias. Además presentan mejor resistencia -- que las plantas de maiz a las bajas temperaturas, permitiendo así una germinación más rápida.

Por último los trabajos de Uziak (1973) en Polonia mostraron la relación existente entre la utilización por la planta -

del nitrógeno y el potasio con el agua suministrada a un cultivo de girasol: Bajo condiciones deficientes en humedad, las producciones fueron marcadamente superiores cuando se adicionaba potasio al medio. El porcentaje de utilización de nitrógeno y potasio era similar cuando se restringía la humedad disponible, pero con agua abundante, la utilización del nitrógeno era superior a la del potasio.

Parece razonable concluir a la vista de los trabajos comentados que las plantas de girasol presentan un periodo crítico coincidente con la floración, durante el cual la existencia de condiciones que dificulten el abastecimiento de agua, pueden ocasionar reducciones muy significativas en la producción final, afectando adversamente a la cantidad y calidad del producto cosechado.

Durante el resto del ciclo, la planta se presenta como tolerante a la falta de humedad, pero nunca puede ser considerada como resistente, puesto que condiciones de sequía afectan en mayor o menor grado -dependiendo del momento en que ocurran- a la producción del cultivo.

En condiciones semi-áridas, los distintos efectos de la carencia de humedad pueden ser evitados o minimizados por medios agronómicos, si la especie es cultivada cuando la reserva de humedad del suelo es adecuada y/o se esperan precipitaciones. Condiciones climáticas frías y marcos de siembra apropiados pueden determinar una menor pérdida de agua.

También, la selección vegetal tiene un importante papel a la hora de conseguir nuevos tipos genéticos que presenten una mayor tolerancia a la falta de agua, así, en el campo de mejora de plantas, se intentan seleccionar genotipos más adaptados a condiciones secas, o desarrollar tipos que eviten esta carencia hídrica. Otra estrategia sería utilizar genotipos de maduración temprana cuando se prevé aridez en el periodo normal del cultivo. Por otra parte, efectos combinados de altas temperaturas y falta de humedad hacen más dificultosa la selección de genotipos resistentes.

Hemos de tener muy en cuenta finalmente que los datos experimentales encontrados en la bibliografía, si bien son muy importantes como punto de partida en un estudio de esta naturaleza, no pueden considerarse trasladables a nuestras condiciones, dada la gran influencia, ya discutida, del medio ambiente sobre muchos de los factores determinantes en la producción del cultivo.

En España se han realizado muy escasos estudios sobre la adaptación del girasol a nuestras condiciones y más concretamente sobre sus necesidades hídricas (Gimenez y Berenjena, 1972; de León, 1972 y 1974 y Downes, 1974) y es por lo que esta tesis pretende suministrar además un mejor conocimiento de la necesidad y uso del agua por este cultivo en nuestro país.

## II MATERIAL Y METODOS

## II.1.- MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

En las experiencias con plantas de maiz se utilizaron las variedades:

- PIONEER 309 B
- FUNK 'SG' - 4680
- E - 10
- E - 22

En lo concerniente al girasol se utilizaron las variedades:

- PEREDOVICK
- KARLIK
- MORDEN
- ISSANKA
- 321 de SEMILLAS PACIFICO

## II.2.- METODOS DE CAMPO

### II.2.1.- Observaciones y medidas agronómicas y fenológicas

Durante el ciclo vegetativo en cada cultivo se hicieron las observaciones correspondientes a:

- Fecha de emergencia
- Aparición de flores y frutos
- Ritmo de crecimiento
- Conteo de plantas

y al finalizar las experiencias:

- Peso total del producto cosechado
- Peso unitario del fruto

### II.2.2.- Conducción, aplicación y medida del agua de riego

El procedimiento de aplicación del agua fué el de inundación temporal, a partir de las regueras de distribución, por las que se conducía a través de un tubo metálico de los utiliza-

dos en riego por aspersión. Estas tuberías se alimentaban de la principal, que nacía en la boca de riego. De esta forma se conseguía evitar el máximo de pérdidas por evaporación o/e infiltración, ya que el agua no salía al exterior hasta llegar a pié de parcela.

Para la medida del volumen de agua aplicada, se hizo uso de un contador de molinete capaz de apreciar un mínimo de un litro, inserto entre la toma exterior de la conducción subterránea de la red de riego y las tuberías de conducción mencionadas en el párrafo anterior.

En aquellas experiencias cuya situación y disposición en el campo hacía imposible el uso de tuberías para la aplicación del riego, se dispuso de instalaciones permanentes y convencionales de canales de cemento de conducción de agua de los que partían regueras -de poca longitud- hasta la entrada de parcelas. En estos casos, el volumen de agua aplicado era medido por un vertedero rectangular de pared delgada situado en cabeza de la acequia principal y regulado para un caudal de 12 litros por segundo, por lo que los distintos tratamientos eran diferenciados entonces en función del tiempo, principalmente.

El agua utilizada en las experiencias procedía en todos los casos de pozos artesianos situados cerca de los campos experimentales y sus características analíticas se mencionarán en el apartado correspondiente.

### II.2.3.- Medida de la humedad del suelo

El reconocimiento de la importancia del contenido hídrico del suelo en relación con el crecimiento de las plantas ha tenido por resultado la creación de muchos métodos para medir el agua del suelo. Sin embargo, es difícil obtener estimaciones confiables de los cambios en el contenido hídrico del suelo en toda la zona de raíces debido a la gran variabilidad vertical y horizontal en la distribución espacial del agua del suelo (Nielsen, Biggar y Erh, 1973).

El contenido hídrico varía a menudo drásticamente sobre distancias cortas. Esto se debe en gran parte a irregularidades en la distribución de las raíces a las cuales se debe a que algunas áreas se queden privadas de agua antes que otras, y en parte a variaciones de las características físicas del suelo, en particular a su contenido en arcilla que influye en su aptitud para retener agua.

Además, hay que hacer notar que con un potencial hídrico similar, el contenido hídrico de muestras que se hayan obtenido a pocos centímetros de distancia puede variar mucho.

La elección de un método u otro para estudiar el estado de humedad del suelo depende en parte de los fines que con esa medida se persigan. El objetivo usual, cuando se mide el contenido hídrico del suelo es determinar qué cantidad de agua se encuentra presente y disponible para el crecimiento de las plantas en un momento y lugar determinados.

A continuación se relacionan los métodos utilizados en este trabajo para la medición directa e indirecta del contenido hídrico del suelo en el campo, así como las técnicas empleadas para calcular el potencial matricial del mismo.

Los métodos de medida de humedad del suelo en el laboratorio se describen en el apartado correspondiente al análisis de las propiedades físicas del suelo.

II.2.3.1. Medida directa del contenido hídrico del suelo:  
Método gravimétrico

Las mediciones básicas de la humedad del suelo se efectúan sobre muestras de peso o volúmen conocidos, el contenido hídrico se expresa en gramos de agua por gramos de suelo seco o en gramos de agua por centímetros cúbicos de suelo. El agua se extrae de la muestra mediante desecación en estufa a 105° C hasta pesada constante.

Un muestreo directo e intensivo trastorna a menudo a la vegetación y al propio suelo. Por consiguiente, se tiende cada día más a emplear métodos directos que permitan la instalación de ciertos números de elementos sensibles en un área de estudio determinada, de modo que puedan tomarse medidas repetidas en un mismo punto.

II.2.3.2.- Medida indirecta del contenido hídrico del suelo:  
Método de la atenuación de neutrones.

En la actualidad, el método más comúnmente usado para medir el contenido hídrico del suelo es probablemente el de la dis-

persión de neutrones.

Este método se basa en el hecho de que los átomos de hidrógeno tienen una capacidad mucho mayor para frenar y dispersar neutrones rápidos que la mayoría de los demás átomos, de modo que el número de neutrones "lentos" a proximidad de una fuente de neutrones "rápidos" proporciona un medio eficaz para calcular el contenido en hidrógeno. Puesto que la única fuente significativa de hidrógeno en los suelos son los átomos que forman las moléculas de agua, la técnica proporciona un medio conveniente para calcular el contenido hídrico del suelo.

En suelos con elevada densidad de raíces o altos niveles de residuos orgánicos, la cantidad de hidrógeno de éstos puede afectar los cálculos. Sin embargo, esta cantidad suele ser suficientemente baja -comparada con el hidrógeno del agua del suelo- para omitirse.

Han sido publicadas varias descripciones del método de dispersión de neutrones (Belcher, Cuykendall y Sack, 1950; Stone, Kirkman y Read, 1956; Holmes 1956; van Bavel, Nixon y Hauser, - 1963; y Bell, 1973) en los cuales se pone de manifiesto las ventaj

jas e inconvenientes de esta técnica haciendo especial referencia a problemas de muestreo.

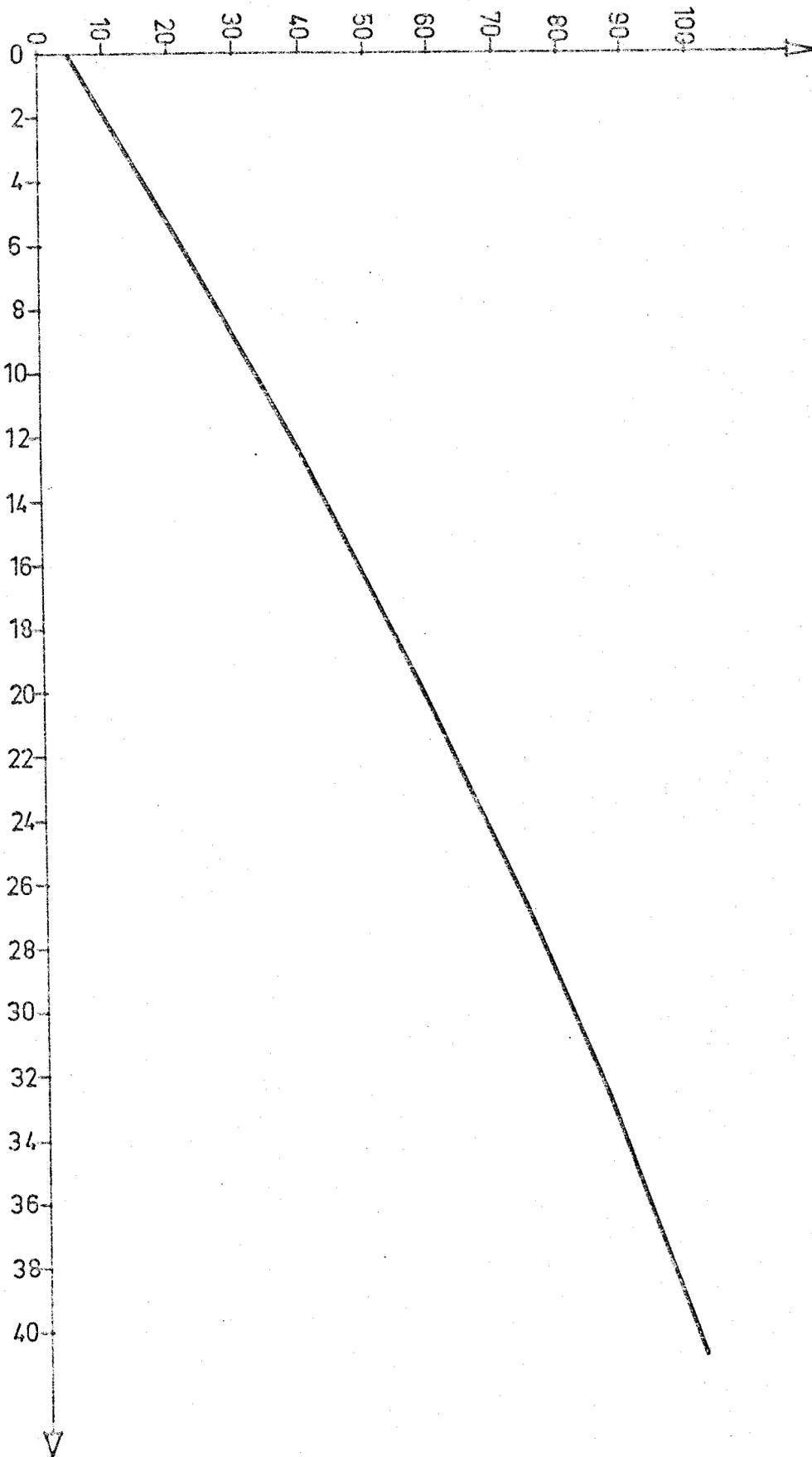
Nosotros usamos una sonda de neutrones marca Berthold LFS/C. El instrumento comprende una sonda que contiene la fuente de neutrones rápidos y un tubo contador para detectar neutrones lentos, conectados por medio de un amplificador a un medidor portátil.

Durante su empleo, la sonda desciende por un tubo de acceso de aluminio anodizado instalado según las normas del Institute of Hydrology de Inglaterra (Eeles, 1969), y se determinan entonces las cantidades de conteo a las profundidades deseadas.

El uso de esta técnica, requiere una calibración previa del aparato que se realiza comparando las lecturas de conteo con determinaciones volumétricas directas del contenido hídrico del suelo.

En la Fig.II.1 aparece la curva de calibrado para la sonda utilizada en nuestras experiencias.

LECTURA DE LA ESCALA (imp/seg)



HUMEDAD EN VOLUMEN (%)

El método presenta varias ventajas importantes sobre la mayoría de las otras técnicas, entre las cuales está la ausencia de un periodo de retraso mientras el agua del suelo se equilibra con un instrumento sensible, y el hecho de que un amplio volumen de suelo (de 20 a 30 cm.) está sometido a prueba, disminuyendo así la variabilidad local.

Sin embargo, implica la influencia perturbadora de un tubo de acceso, y el amplio volumen de la muestra impide el muestreo en un punto sobre la superficie o cerca de ella, a menos que se tomen precauciones especiales. Además, los resultados pueden estar influidos por otras fuentes de átomos de hidrógeno tales como materia orgánica y otros elementos, en particular cloro, hierro y boro (Holmes y Robertson, 1963). Esos factores y distintas formas de dilatación y contracción impiden que exista una curva única de calibrado universal para todos los suelos.

#### II.2.4.- Medida del potencial matricial del suelo

Varias técnicas empleadas para calcular el contenido hídrico del suelo, miden realmente el potencial matricial, en forma directa o indirecta. Las dos más importantes y utilizadas en esta

tesis son las unidades de resistencia eléctrica y los tensiómetros.

#### II.2.4.1.- Bloques de resistencia eléctrica

El método se basa en detectar los cambios de humedad del suelo mediante cambios de resistencia eléctrica en elementos sensibles en íntimo contacto con él.

El elemento sensible es en este caso un bloque de yeso - (Bouyoucos y Mick, 1940) de medidas 40 x 30 x 15 mm. en cuyo interior están incrustados dos electrodos y sus extremos libres se conectan por cables aislados a un puente de medida de resistencia. El contenido hídrico de los bloques cambia con el del suelo, lo que produce alteraciones medibles en la conductividad eléctrica de la solución entre los electrodos.

Los bloques de yeso son sensibles a unos límites aproximados de -0,5 a -15 bar de potencial matricial, de aquí que su uso sea más satisfactorio en un suelo seco que en uno muy mojado.

Hay que hacer notar que las medidas de resistencia cambian con la temperatura y con el contenido salino de los suelos. Además

todos los métodos de bloques porosos muestran efectos de histéresis y son más exactos en ciclos de secado, al ser éste un proceso lento, lo que da lugar a un mejor equilibrio entre el suelo y el bloque.

Los bloques de yeso, se calibran colocándolos en un aparato de membrana de presión y midiendo así sus resistencias bajo distintas presiones. Esta calibración permite conocer el potencial mátrico del suelo partiendo de lecturas de resistencia de los bloques. También pueden calibrarse en relación con el contenido hídrico del suelo en el campo tomando muestras para determinaciones gravimétricas en las proximidades del bloque. Ambos métodos han sido utilizados en la presente tesis.

A pesar de las deficiencias señaladas, los bloques de yeso son especialmente útiles para observar los cambios fuertes en el contenido hídrico del suelo entre riegos. Además, el progreso del frente de mojadura a través del suelo puede seguirse al comprobar la reducción repentina de la resistencia de un bloque en una serie de ellos colocados a distintas profundidades del suelo.

#### II.2.4.2.- Tensiómetros:

Las medidas directas en el campo del potencial matricial o capilar del suelo pueden efectuarse únicamente con tensiómetros. Se componen esencialmente de una cápsula de porcelana porosa saturada de agua y enterrada en el suelo a la profundidad que se desee y conectada por un tubo lleno de agua a un manómetro o vacuómetro. El manómetro indica la variación de la presión sobre el agua que hay en la cápsula porosa, y que está en equilibrio con el potencial matricial del agua del suelo.

El tensiómetro es un excelente instrumento de medida en un suelo húmedo, pero cuando el potencial matricial alcanza cerca de  $-0,8$  bar de tensión, el aire penetra en la cápsula inutilizándola. El manejo de tensiómetros presenta otras limitaciones relativamente secundarias como la necesidad de recargarlos después de que ha entrado aire, la tendencia que muestran las raíces a concentrarse alrededor de la cápsula porosa, y las fluctuaciones diversas y ocasionales de la lectura que son el resultado de la conducción del calor a lo largo del tubo lleno de agua.

Aún cuando los tensiómetros se leen por unidades negativas de presión, pueden calibrarse para el contenido de humedad del suelo, de modo que las lecturas puedan convertirse a porcentaje de

contenido hídrico.

#### II.2.5.- Medida de la evapotranspiración

La medida de la cantidad de agua perdida por evapotranspiración presenta un enorme interés en los estudios del uso del agua por diversos tipos de cubierta vegetal, en los de predicción del rendimiento del cultivo y en la oportunidad del riego.

Existen cuatro métodos generales para medir la pérdida de agua desde la superficie de la tierra: 1) determinación del término de evaporación en la ecuación de balance hídrico; 2) determinación del flujo ascendente neto de vapor de agua en las capas de aire próximas al suelo; 3) determinación de la energía consumida al evaporar el agua; y 4) utilización de fórmulas empíricas basadas fundamentalmente en los datos meteorológicos. Cada uno de ellos será brevemente discutido en este apartado. Tanner (1967) realizó una revisión exhaustiva de las ventajas e inconvenientes de los diversos métodos.

II.2.5.1.- Método del balance de agua en el suelo

La ecuación del equilibrio hídrico es:

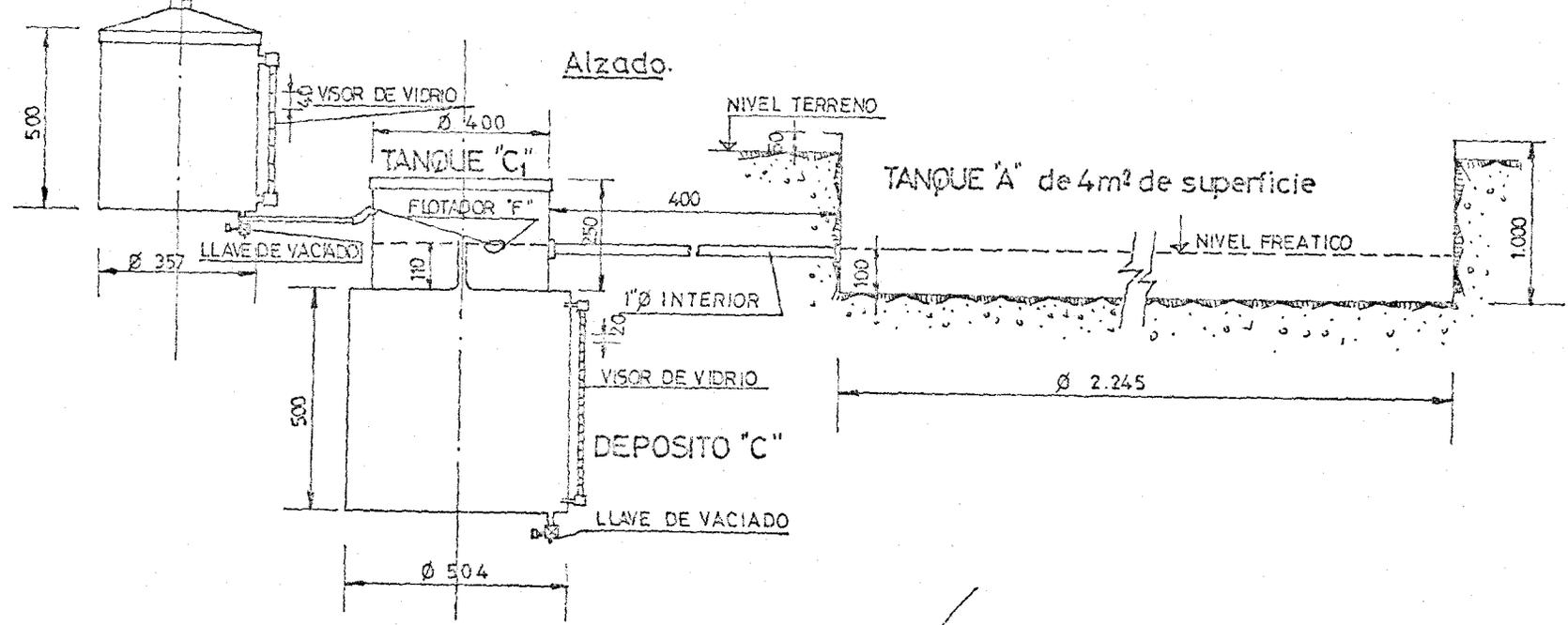
$$P + R = E + T + D + \Delta W \quad (2.1)$$

en la que P es la precipitación, R el riego, E la evaporación, T - la transpiración, D asume las pérdidas por drenaje, y  $\Delta W$  es la variación de la reserva de la humedad del suelo. Este método implica pues la determinación del término E + T en la referida ecuación.

Los balances hídricos anuales proporcionan bases conve-nientes para analizar las reservas de agua de una región. Este método volumétrico, sin embargo, no es apropiado para el cálculo de la evapotranspiración en áreas pequeñas o para periodos más cortos de un año, tales como un mes o una semana, cuando cambios importantes en la humedad almacenada en el suelo no pueden ser detectados.

Los resultados más precisos se obtienen con lisímetros, o evapotranspirómetros en los que un volumen de suelo queda ence-rrado en un recipiente permitiendo la medida del agua ganada y per-dida, bien por un sistema de control del peso del mismo o por medi-ción exacta del volumen de agua consumido y/o percolado. Este método, permite medidas directas de la evapotranspiración tanto actual como potencial

DEPOSITO "B" ORIFICIO  $\phi$  50



Alzado.

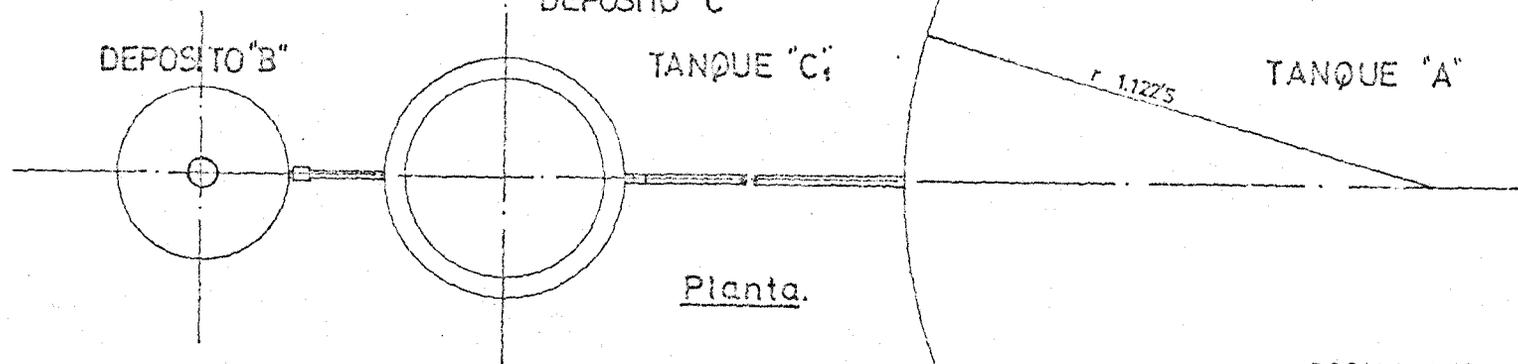
TANQUE "A" de 4m<sup>2</sup> de superficie

DEPOSITO "B"

DEPOSITO "C"

TANQUE "C"

TANQUE "A"



Planta.

ESCALA 1:10

COTAS EN m.m.

Los lisímetros proporcionan datos útiles sobre la evapotranspiración cuando están correctamente diseñados, instalados y entretenidos. Es esencial asegurarse que la tierra que contiene el lisímetro es representativa de la zona que lo rodea. Una extrapolación de los datos suministrados por lisímetros al campo no es aconsejable en algunos casos, y en particular cuando no existe una igualdad entre el tipo de cultivo y el estado de humedad y temperatura del suelo, dentro y fuera del lisímetro.

En nuestras experiencias se dispuso de una batería de cinco lisímetros tipo Thornthwaite (1954) -cuyo esquema aparece en la Fig. II.2 instalados en las inmediaciones de las parcelas experimentales.

Son numerosos los estudios existentes en la bibliografía sobre el uso y conveniencia de la aplicación de estos evapotranspirímetros como los de Tanner (1967), Baier (1962), Mc Ilroy y Angus (1964) y los de Thornthwaite y Hare (1965) entre otros.

#### II.2.5.2.- Método del flujo del vapor

La evaporación proporciona una medida de los flujos ver-

ticales de calor y de vapor de agua (Dyer y Maher, 1965).

La última versión del instrumento desarrollado para medida de la evapotranspiración por este método se denomina "fluxatron" porque se ha usado solamente para la medida de la transferencia -- del calor sensible (Dyer, Hicks y King, 1967). Ha sido propuesta -- una extensión de la técnica de fluxatron para medida del vapor de agua transferible; sin embargo, existen todavía dificultades teóri-- cas e instrumentales que han de salvarse antes de su aplicación de -- finitiva en estudios de campo. Indudablemente, la medida automáti-- ca del flujo turbulento con el "evapotrón" es la mejor promesa de aproximación a medidas directas de la evapotranspiración (Swinbank, 1965).

#### II.2.5.3.- Método del balance de energía

El método del balance de energía descrito por Tanner -- (1963) implica la medida o estimación de la energía radiante que -- entra y sale de la comunidad vegetal, y la medida o estimación de las proporciones de la radiación neta absorbida, que se encuentran implicadas en la transferencia de calor sensible y latente (evapo-- transpiración) entre la comunidad y el aire. Estas relaciones pue--

den expresarse según la ecuación

$$R_n = H + E + G + aA \quad (2.2)$$

en la que  $R_n$  representa la radiación neta o diferencia entre la radiación absorbida y la emitida por la superficie evaporante, H es el intercambio de calor sensible con la atmosfera, E es el calor latente empleado en la evapotranspiración, G es el intercambio de calor entre el suelo y la vegetación, y aA es la energía empleada en la fotosíntesis y desprendida por la respiración.  $R_n$  y G pueden medirse con suficiente exactitud, y aA usualmente es despreciado por su pequeño valor (menos del 5%) (Lemon 1963).

La relación de H a E es conocida como la razón de Bowen ( $\beta$ ), y su valor es aproximadamente 0.10 en suelo muy húmedo. En periodos de tiempo más largos de un día, el término que incluye al estado del calor en el suelo (G) puede despreciarse (Rijtema, 1966) y los únicos cambios importantes ocurren en H y en E, y si se estima H convenientemente, la cantidad de evapotranspiración, E, puede ser calculada entonces.

Este método se emplea ampliamente aún cuando se encuentra

limitado a zonas de vegetación relativamente homogéneas, tales como cultivos y bosques. La advección no invalida al método, pero hace que la medida resulte considerablemente más compleja.

#### II.2.5.4.- Fórmulas empíricas

Varios métodos han sido propuestos para proporcionar estimaciones de la evapotranspiración a partir de datos meteorológicos medidos comunmente, tales como la temperatura y humedad relativa -- del aire, velocidad del viento, radiación y duración del día.

Son ya clásicos en este sentido los trabajos de Penman - (1948), Thornthwaite (1948), Blaney y Cridle (1950), Papadakis --- (1966) y Turc (1961).

Hemos creído conveniente, por ser los de mayor utilización en esta tesis mencionar con más detalle los métodos de Penman y Thornthwaite. Durante los periodos de realización de cada experiencia se dispuso pues del material necesario para la observación y registro de las características climatológicas mencionadas.

Según Penman (1966) tres enfoques pueden aplicarse al a-

bordar el estudio de dichas relaciones: considerar el fenómeno como puramente energético, estudiarlo desde un punto de vista fundamentalmente aerodinámico y analizarlo como un fenómeno que participa de ambos aspectos.

En el primer caso, el estudio requiere el conocimiento de cada uno de los factores que componen el ciclo energético y la medida de los mismos. En el segundo hay que considerar la medida del transporte de vapor a través de la atmósfera desde el suelo a la planta. La bibliografía correspondiente a cada uno de estos estudios es muy abundante, siendo de gran importancia los trabajos de Tanner y Lemon (1962).

La consideración del fenómeno como de naturaleza mixta, permitió a Penman (1948) llegar al establecimiento de una fórmula práctica, que no exigía el conocimiento de parámetros especiales como en el caso de los enfoques energético o aerodinámico.

La relación propuesta entre evaporación de agua y factores meteorológicos, presentaba inicialmente esta forma:

$$E = \frac{\Delta H_0 + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (2.3)$$

en la que:

$E$  = evaporación (mm. día<sup>-1</sup>)

$\Delta$  = gradiente de la curva tensión de vapor/temperatura  
(mm./° C)

$H_0$  = energía neta (mm.)

$\gamma$  = constante psicrométrica (= 0,49)

En la citada expresión,  $H_0$  se deducía de una relación propuesta, de la siguiente forma:

$$H_0 = 0,95 R_a - R_B$$

siendo:

$R_a$  = radiación incidente (mm.)

$R_B$  = rerrradiación de onda larga (mm.)

Para la medida de  $R_a$  podía recurrirse al uso de solarímetros o al empleo de ecuaciones, ya propuestas, que relacionan  $R_a$  con el número de horas de sol, como la de Black (1954), en la que:

$$R_a = R_i \left( 0,10 + 0,55 \frac{n}{N} \right) \quad (2.5)$$

$R_B$ , puede igualmente calcularse por fórmulas empíricas como:

$$R_B = \sigma (273 + T_a)^4 (0,56 - 0,09\sqrt{e_a}) (0,1 + 0,9 n/N)$$

En las que:

$R_i$  = Radiación teórica incidente (mm)

$n$  = Nº de horas de sol reales

$N$  = Nº de horas de sol astronómicas

$\sigma$  = Constante de Boltzman

$T_a$  = Temperatura del aire (°C)

$e_a$  = Tensión de vapor saturante (mm)

Para el factor aerodinámico, la relación es de este tipo:

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{u}{160}\right) (e_a - e_d) \quad (\text{mm}) \quad (2.6)$$

siendo:

$u$  = Velocidad del viento (km/día)

$e_a$  = Tensión de vapor saturante (mm)

$e_d$  = Tensión de vapor actual (mm)

La fórmula anterior se refiere a la evaporación de agua desde una superficie libre de la misma, pero puede transformarse en evapotranspiración mediante unos factores correctores que oscilan entre 0,8 (verano) y 0,6 (invierno).

La fórmula propuesta por Thornthwaite es más simple, al depender en la práctica, únicamente de la variable temperatura media del aire. Presenta las formas siguientes:

$$E \text{ (cm./mes)} = 1,6 \left( \frac{1,0t}{I} \right)^a$$

en la que:

$I$  = índice de calor anual

$a$  = Constante, función de  $I$

El índice de calor  $I$  es la suma de 12 índices mensuales  $i$ , obtenidos de esta forma:

$t$  = temperatura media anual

$$i = \left( \frac{t}{5} \right) 1,514 \quad (2.8)$$

$$a = 0,000000675I^3 - 0,0000771I^2 + 0,01792I + 0,49239 \quad (2.9)$$

Los datos obtenidos, corregidos por un factor mensual de latitud o iluminación, dan directamente valores de evapotranspiración.

Muchas fórmulas, similares a las anteriores, se han propuesto por otros autores.

Otro método de medida de la evaporación es por observación directa de la pérdida sufrida en un tanque evaporímetro de di

mensiones standard. De entre los diversos tipos propuestos, el más universalmente empleado en la actualidad y en nuestras experiencias es el del U.S. Weather Bureau, denominado class A pan. Este evaporímetro tiene un diámetro interior de 122 cm. y una altura de 25 cm., manteniéndose el nivel evaporante 5 cm. por debajo del borde.

Los valores arrojados por el evaporímetro exigen también la aplicación de un factor para ser transformados en evapotranspiración. Este factor no es constante, pues varía, según la forma de encontrarse emplazado el aparato, hasta un 30%. Las cifras encontradas experimentalmente lo sitúan entre 0,6 y 1,1.

Stanhill (1962, y 1965) y Fuchs y Stanhill (1963) proporcionaron evidencias suficientes para su utilización como control en las medidas de evaporación y en la estimación de los requerimientos hídricos de algunas especies usando como base los datos suministrados por este tipo de evaporímetros.

Todos los métodos anteriores dan lugar a resultados satisfactorios siempre que las medidas se efectúen convenientemente y no exista el fenómeno de advección. Si éste es de importancia, los factores de transformación pueden afectarse grandemente.

También es necesario que el perfil del suelo no presenta anomalías que impidan una libre circulación del agua, tanto por infiltración en sentido vertical, como lateralmente y en sentido ascendente. El impedimento que supone una demora en el suministro de agua a la planta pone en desacuerdo los resultados estimados con los encontrados experimentalmente. Por tanto el conocimiento de la granulometría del suelo, así como su conductividad hidráulica y su capacidad de retención de agua son características a analizar previamente.

### II.3.- METODOS DE LABORATORIO

#### II.3.1.- Análisis de la calidad del agua empleada

No existiendo todavía en España métodos oficiales, ni obligatorios, ni recomendados, para el análisis de las aguas; aquí hemos seguido los métodos normalizados por el Instituto de Hidrología del C.S.I.C. (Oliver y Oliver, 1970).

Se realizaron los siguientes análisis:

Dureza total: (Ca + Mg) Determinación volumétrica por -- complexometría. Se empleó EDTA III 0,02 M, (sal dizódica del ácido etilendiamino tetracético) y negro de eriocromo como indicador.

Calcio: Determinación volumétrica, método complexométrico. Se empleó EDTA III 0,02 M y murexida como indicador.

Magnesio: Por diferencia entre las determinaciones de la dureza total y la del Calcio.

Sodio y Potasio: Determinación por fotometría de llama -

en fotómetro Lange con gas butano y compresor de aire. Reactivos - patrón: Soluciones de cloruro sódico y potásico.

Cloruros : Determinación volumétrica por el método de - Mohr: Valoración con nitrato de plata 0,1 N y naranja de metilo - (0,01% en agua) como indicador.

Bicarbonatos: Determinación volumétrica. Valoración con ácido sulfúrico 0,01 N y naranja de metilo (0,01% en agua) como in- dicador.

Conductividad: Determinación electrométrica realizada - por un conductímetro Philips GN 4249. Las determinaciones fueron co- rregidas para la temperatura de 20° C.

### II.3.2.- Análisis de las propiedades físicas del suelo

#### II.3.2.1.- Densidad aparente y humedad

Para la determinación de la densidad aparente se tomaron

muestras de suelo en cilindros de 300 cc. de volumen con arista inferior cortante, y teniendo presente las precauciones siguientes:

- a) Conservar la estructura sin alterar.
- b) Mantener en la muestra un cierto grado de humedad para evitar su fragmentación, para lo que los cilindros disponían de tapas herméticas.
- c) Enrasar la superficie del suelo con el borde cortante del cilindro por medio de un cuchillo bien afilado con el objeto de obtener un corte limpio.

Los cilindros así obtenidos, se introducían durante 24 horas en la estufa a 105° C.

La densidad aparente ( $D_a$ ) viene dada por la fórmula:

$$D_a = \frac{P_1 - P_2}{V} \quad (2.10)$$

donde:

$P_1$  = Peso del cilindro más el suelo seco a la estufa

$P_2$  = Peso del cilindro vacío

$V$  = Volumen interno del cilindro

Con esta misma técnica se obtiene el contenido de humedad, deducido de la siguiente fórmula:

$$\text{Hdad.} = \frac{P_{\text{húmedo}} - P_{\text{seco}}}{P_{\text{suelo}}} \cdot 100 \quad (2.11)$$

Para la determinación de ésta característica, también se utilizó una balanza termogravimétrica Brabender capaz para diez - muestras simultáneas.

#### II.3.2.2.- Conductividad hidráulica

Su determinación se efectuó sobre muestras naturales de suelo tomadas en cilindros metálicos de 300 cc. de capacidad.

Las muestras se humectaron convenientemente, tras lo cual se colocaron en el permeámetro para someterlas a un paso continuo de agua.

El agua percolada se midió en periodos regulares de 60 - minutos durante 3 horas consecutivas. A las 24 horas de iniciarse la determinación, se volvió a medir el agua percolada en un periodo de una hora y se procedió a la misma operación a las 48 horas.

Los resultados se expresan en mm/hora.

### II.3.2.3.- Humedad equivalente

Para su determinación se hizo uso de una centrífuga de suelos M.S.E. con cabeza giratoria de 15 cm. de radio y capaz para 16 muestras simultáneas.

Las muestras fueron humectadas en las cajas de centrifugación por capilaridad durante 24 horas, y a continuación fueron sometidas durante 30 minutos a 2.440 rpm. (De Boodt, 1967).

Después de desecadas en la estufa a 105° C, el porcentaje de humedad equivalente se calculó por la fórmula:

$$He = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \cdot 100 \quad (2.12)$$

en la que:

$P_1$  = Peso de la muestra después de centrifugada

$P_2$  = Peso de la muestra desecada

$P_3$  = Peso de la caja de centrifugación

#### II.3.3.4.- Porcentaje a 15 atmósferas (marchitez permanente)

El coeficiente de marchitez permanente viene sustituido en la práctica por el porcentaje de humedad a 15 atmósferas, y para su determinación se usó el aparato de "Presión-membrana de Richards" (Richards 1967). El método se basa en el equilibrio de la muestra de suelo con la presión referida. Alcanzados este equilibrio se determinó el contenido por desecación a 105° C.

Se llega al conocimiento del valor de este coeficiente de marchitez permanente por la fórmula:

$$\text{Porcentaje a 15 atm.} = \frac{P_1 - P_2 - P_3}{P_3} \cdot 100 \quad (2.13)$$

siendo:

$P_1$  = Peso de la muestra de suelo en equilibrio a 15 atm.

$P_2$  = Peso del anillo de goma que contiene la muestra

$P_3$  = Peso de la muestra en equilibrio a 15 atm., después de haber sido desecada en la estufa a 105° C.

#### II.3.2.5.- Composición granulométrica

Se empleó la recomendación del Método Internacional con las siguientes características:

a) Arena gruesa

Una vez desecadas las muestras, se procedió a la eliminación de la materia orgánica y a continuación se tamizó por el tamiz de 0,2 mm. de luz. La fracción recogida se secó en la estufa a 105° C hasta pasada constante.

b) Arena fina

Una vez obtenidas las fracciones Limo y Arcilla, se decantó la muestra durante cuatro minutos -- (tiempo necesario para que sedimente esta fracción).

El producto decantado, se secó en la estufa a 105° C hasta pasada constante.

c) Limo y arcilla

Para la determinación de estas fracciones, se usó el método de De Leenheer (1967) del Hidrómetro de cadena.

Se basa el método en determinar la densidad de

una suspensión de suelo (20 gr. de muestra en un litro de agua) con ayuda del hidrómetro, conociendo el tiempo que tardan en sedimentar cada una de estas fracciones, que se calcula por la aplicación de la ley de Stokes.

El hidrómetro está sostenido por una cadena de peso y longitud perfectamente conocidos, que supone una perfección sobre el hidrómetro ordinario de Bouyoucos.

Para evitar la influencia de la temperatura durante la determinación, se mantiene la probeta que contiene la suspensión en un baño termostático a 20° C.

#### II.3.4.- Análisis de las propiedades químicas del suelo

Fueron realizadas sobre muestras de suelo seco al aire y tamizado por tamiz de 2 mm. de luz.

Se efectuaron los siguientes análisis:

pH

Se determinó en pasta de suelo, siguiendo las normas - del United States Salinity Laboratory Staff del USDA en pH-metro E 350 B.

Carbono

Su determinación se llevó a cabo siguiendo el método de Walkley, mediante el cual, la materia orgánica presente en la muestra es oxidada por el dicromato potásico, que se valora por diferencia con la sal de Mhor (Piper 1950).

El porcentaje de carbono total, se obtiene al multiplicar el resultado de la valoración anterior por el factor 3,9.

Materia orgánica

Se obtuvo por multiplicación del contenido de carbono - por el factor empírico 1,724.

Nitrógeno

Se valoró por el método de Kjeldhal, usando como indicador verde de bromocresol, (Bouat y Crouzet, 1965).

Calcio y Magnesio asimilables

Se determinaron por complexometría, (Schwarzenbach, - 1959), utilizando como solución extractora acetato amónico a pH 7,1 (75 cc. de solución y 25 g. de suelo).

Se empleó EDTA III 0,2 N y negro de eriocromo como indicador.

Para determinar el calcio se tomó una alícuota de 10 cc y se valoró con EDTA III 0,2 N y murexida como indicador.

El Mg se obtuvo por diferencia.

#### Potasio asimilable ( $K_2O$ )

Se determinó por espectrofotometría de llama, en fotómetro Lange, empleando solución extractora de Morgan.

#### Fósforo asimilable ( $P_2O_5$ )

Se determinó por colorimetría a 700 m  $\mu$  una vez extraído con una solución de 0,1g. de carbonato cálcico, 0,088 g. de carbonato magnésico, 0,5 cc. de ácido sulfúrico al 20% y 2,4 cc. de ácido acético al 98% y a pH 3,2 (Burriel y Hernando, 1950).

### Carbonatos alcalinotérreos

Se determinaron en calcímetro de Bernard, tratando la muestra con ácido clorhídrico.

#### II.3.5.- Análisis químico sobre el producto cosechado

##### II.3.5.1.- Determinación del contenido en grasa

El contenido en grasa se determinó por extracción con éter sulfúrico, en aparato de Soxhlet, por el método clásico, utilizando 10 g. de grano seco, previamente molido y tamizado por tamiz de 3 mm. de luz.

El calentamiento se efectuó con lámpara de infrarrojo y se mantuvo durante cuatro ciclos completos.

El porcentaje se dedujo teniendo en cuenta el peso de grasa extraída.

Para el producto cosechado en las experiencias de 1974 se utilizó un aparato automático de determinación cuantitativa de grasas marca Newport Quantity Analyzer Type 10 basado en la reso-

nancia nuclear magnética (N.M.R.).

#### II.3.5.2.- Determinación del contenido en proteínas

La proteína se determinó a partir del contenido en Nitrógeno, utilizando una semimicrodeterminación de Kjeldhal con 0,2 g de muestra y catalizador de selenio (Selenio 1 g. + sulfato cúprico 20 g. + sulfato potásico 100 g.) en medio ácido con ácido sulfúrico.

La destilación y valoración se efectuaron en un aparato que permite realizar conjuntamente ambas operaciones, empleando ClH N/70 o indicador Tashiro.

El contenido en proteína se obtuvo al multiplicar el porcentaje total del Nitrógeno por el factor 6,25.

También en éste caso y para las experiencias de 1974 se dispuso de un digestor automático, con capacidad de medida de 20 muestras/hora marca KJEL-FOSS AUTOMATIC 16200 el cual determinaba de forma directa el contenido en proteínas de la muestra.

### III RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### Y DISCUSION

Como ya se ha indicado, el objeto de este trabajo de tesis fué el de encontrar, tanto para el maiz como para el girasol, las dosis y fechas óptimas de aplicación del agua de riego conducentes a una producción máxima en cantidad y calidad.

El trabajo que aquí se expone corresponde al llevado a cabo durante una serie de campañas, iniciadas con la de 1.971. Previamente se realizaron algunas experiencias preliminares, concernientes al maiz, por las que pudieron ya eliminarse aplicaciones de agua extremas que no aportaban datos de utilidad en el estudio comparativo que se perseguía. Esta labor preliminar no se ha considerado de interés incluirla aquí.

Basados en los datos previos mencionados se plantearon ya diseños dentro de los márgenes de utilidad teórica y práctica.

En un principio, la aplicación del agua se basaba en dosificar ésta en diversos niveles de riego. Pero posteriormente se dedicó prioridad a la aplicación del agua basada en los diversos estados de humedad del perfil, medidos éstos por una combinación de métodos gravimétricos, de resistencia de bloques de yeso, de tensiómetros y dispersión de neutrones.

Se incluyó también, en el estudio comparativo, la situación de secano, como referencia extrema y, desde 1973, a los estudios realizados sobre el efecto del distinto régimen de aplicación, por cuanto a volúmen de agua aplicada o humedad en el perfil se refiere, se añadieron los relativos al efecto debido a la fecha de aplicación, dentro de los periodos críticos del ciclo biológico de la planta.

Los estudios anteriores, todos ellos fueron realizados en condiciones agronómicas normales a campo abierto.

Finalmente, y a partir de 1974, se ha incluido también el efecto debido a la variedad utilizada.

Las experiencias sobre girasol, llevadas a cabo paralelamente a los de maiz, pero iniciadas a partir de 1973, han tenido una evolución similar, si bien, y debido al conocimiento alcanzado con las de maiz, ha podido reducirse el número de tratamientos a los de mayor utilidad, habiéndose, en cambio, desde el principio, dedicado una mayor atención al efecto varietal, por no existir para esta planta, a diferencia de la del maiz, ningún estudio previo que aconsejara la utilización concreta de ninguna de las -

comercialmente disponibles.

Después de analizados detenidamente, en las páginas que siguen, los resultados encontrados tanto en plantas de maíz como de girasol, se hará una síntesis recapitulativa y de comparación entre ambas especies incluyendo también el punto de vista de la utilización óptima del agua aplicada.

Las distintas experiencias han tenido lugar en diversas parcelas de terrenos pertenecientes a suelos de regadío de vega de las provincias de Sevilla y Córdoba. El detalle de situación y características del medio de cada una se incluye en los apartados respectivos previos al análisis de resultados.

### III.1. CLIMATOLOGIA Y SUELOS DE LAS ZONAS DE EXPERIENCIAS

Las experiencias se realizaron en las provincias de Sevilla y Córdoba por ser las más representativas de Andalucía Occidental en cuanto al número de hectáreas dedicadas en la actualidad al cultivo del maíz, así como al del girasol.

La zona experimental en la provincia de Sevilla se encuentra situada en Coria del Rio, en la granja experimental "El Aljarafe", perteneciente al Centro de Edafología y Biología Aplicada de Cuarto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. En la provincia de Córdoba se dispuso a su vez de parcelas experimentales de riego en la finca "Alameda del Ovispo" del Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario Nº 10 del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

En cuanto a las condiciones climáticas, y dada la variación existente de año a año, se ha creído conveniente presentar tanto las normales o medias correspondientes a diversos puntos de ambas provincias, como las específicas encontradas en cada campaña y zona experimental utilizada.

De las condiciones medias, así como de las característi-

cas de los suelos manejados, se da cuenta seguidamente, reservando la presentación de los datos climáticos específicos para enlucirla con la descripción de cada experiencia concreta.

### III.1.1. Climatología media de la provincia de Sevilla.

En conjunto, la provincia de Sevilla puede clasificarse como zona semihúmeda; concretamente en la región de la capital y campiña sería "seca subhúmeda" en la clasificación de Thornthwaite (1948), mientras que las regiones de la sierra cercana podría considerarse como "subhúmeda" (Tabla II). Los índices pluviométricos de esta provincia están, por consiguiente, alejados de los de las provincias del Norte de España, pero también notablemente de las secas provincias del S.E..

La distribución de las lluvias a lo largo del año es bastante irregular. En general, la mayor pluviosidad media corresponde a febrero (65 mm), noviembre (100 mm) y diciembre (67 mm).

Por otra parte, la distribución e intensidad de lluvia también varían bastante. Muriel y Martín (1974) detectaron diferencias en cuanto a intensidad que oscilaron de 4 mm/h a 10 mm/h, y diferencias de un 5-10% entre las cantidades de precipitación recogida por pluviómetros situados entre sí a sólo unos centenares de metros.

TABLA II

Resumen del ciclo hidrológico de algunos puntos de la provincia de Sevilla.

	Sevilla (C. Cuarto)	Morón de la Frontera	Algámitas	Ecija
Lluvia anual (mm)	530,4	700,4	847,6	534,4
Evapotranspi- ración poten- cial (mm)	927,9	881,3	940,5	984,6
Exceso de agua (en invierno) (mm)	211,0	289,5	456,1	197,3
Falta de agua (en verano) (mm)	578,9	536,0	559,5	637,6
Indice de ari- dez	62,3	61,1	59,5	64,7
Tipo climático	Seco sub- húmedo	Seco sub- húmedo	Subhúmedo	Seco sub- húmedo
Símbolo climá- tico	C <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 's b' <sub>2 4</sub>	C <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 's b' <sub>2 4</sub>	C <sub>2</sub> B <sub>2</sub> 's b' <sub>3 2 4</sub>	C <sub>1</sub> B <sub>1</sub> 'sb <sub>3 4</sub>

Según C.E.B.A.C. (1962).

Los dos periodos lluviosos de febrero-marzo y octubre-noviembre están separados por una prolongada estación seca que dura de mayo o junio a septiembre. Este hecho es de la mayor importancia desde el punto de vista agronómico y del de utilización del suelo, ya que,

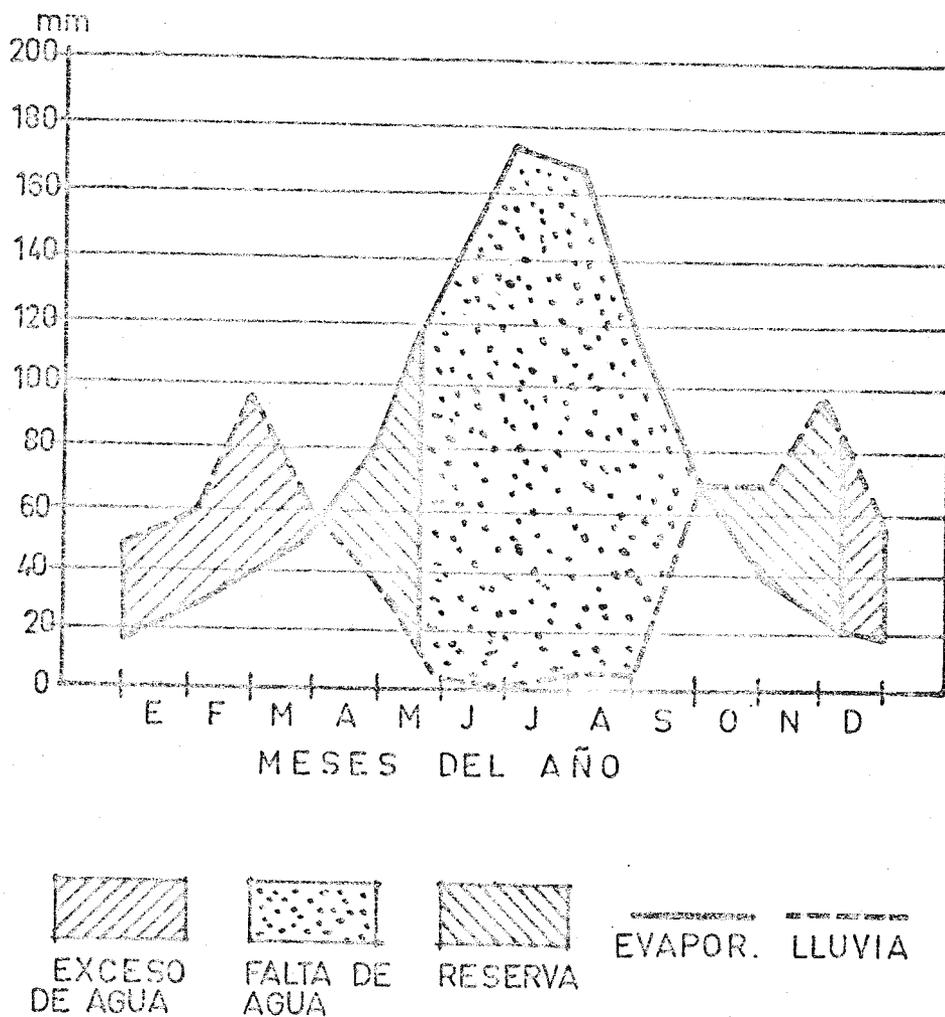


Fig. III. 1 Balance de agua en Sevilla capital (Cº Cuarto).

como ilustra la Fig.III.1, la ausencia de lluvias durante dicho periodo ocasiona en toda la provincia, y particularmente en el valle fértil una gran falta de agua, que oscila de unos 400 mm en las zonas frescas de la sierra a más de 600 mm en la región más seca del valle (Ecija).

La Fig.III.2 representa la evolución de las temperaturas medias a lo largo del año en Sevilla capital. La máxima o la mínima absoluta de un mes determinado pueden logicamente apartarse de los valores medios representados, pero esta oscilación rara vez excede de los 6° C.

La temperatura máxima media normal asciende de un modo bastante regular, desde unos 14° C a comienzos de enero hasta los 39° C en los primeros días de agosto, descendiendo luego con mayor rapidez hasta fin de año.

Las mínimas medias varían entre los 5° C a comienzos de enero y 20° C a primeros de agosto, para descender desde esta fecha a fin de año.

Finalmente, la tabla III recoge los valores de las -

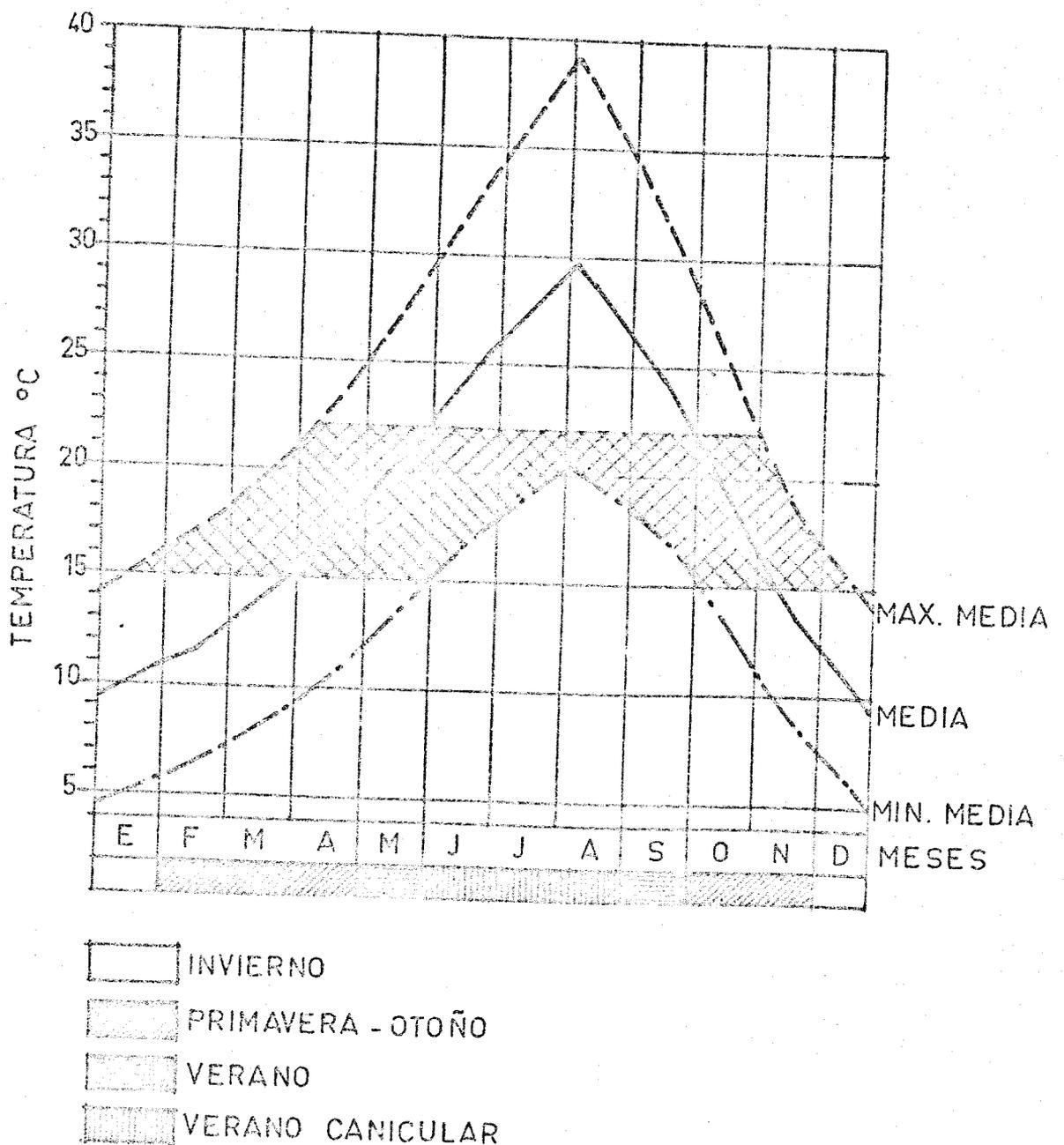


Fig.III.2 Evolución de las temperaturas medias en Sevilla capital.

TABLA III

Datos climatológicos de Sevilla capital (media de 25 años)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Ta. Máxima media (°C)	15,2	17,0	19,6	22,8	27,3	31,9	36,4	37,2	32,0	25,3	19,1	15,6	25,0
Ta. Mínima media (°C)	5,0	6,3	8,1	10,2	13,2	16,6	19,0	19,6	17,3	13,5	9,1	6,2	12,0
Ta. Media (°C)	10,1	11,6	13,8	16,5	20,2	24,3	27,7	28,4	24,6	19,4	14,1	10,9	18,5
Ta. Máxima abs. (°C)	22,0	28,2	32,4	37,2	41,6	44,8	46,6	46,6	45,6	44,0	29,4	22,4	46,6
Ta. Mínima abs. (°C)	-3,0	-5,0	-1,0	2,8	6,2	8,4	12,2	12,8	9,8	6,0	0,6	-2,0	-5,0
Precip. (mm)	44	65	70	50	36	27	2	2	27	70	99	67	559
Días de Lluvia	7	9	9	7	6	3	1	1	3	6	9	9	69
Humedad relativa (%)	76	72	67	61	54	50	44	43	52	64	73	78	61
Días despejados	12	8	9	8	10	10	24	24	14	10	8	10	147
Días nublados	11	12	14	16	16	15	7	7	13	14	15	12	152
Días cubiertos	8	8	8	6	5	5	0	0	3	7	7	9	66

Según C.E.B.A.C. (1962)

características climatológicas más importantes para Sevilla capital.

### III.1.2. Climatología media de la provincia de Córdoba

En comparación con la de Sevilla, la provincia de Córdoba acusa una menor influencia marítima como corresponde a su situación más adentrada en la Península. Su clima muestra por ello un mayor grado de continentalidad, con inviernos más fríos y veranos más secos y calurosos.

La tabla IV muestra el resumen del ciclo hidrológico y las diferencias climáticas de algunos puntos de la provincia.

Aunque la pluviosidad media de ambas campiñas es semejante, lo que permite el mismo tipo de cultivos agrícolas, la provincia de Córdoba es, en general, más lluviosa que la de Sevilla, advirtiéndose esta diferencia de un modo notable en las áreas situadas en las proximidades al cauce del río: (Sevilla, 559 mm; — Córdoba 728 mm).

Existen en toda la provincia de Córdoba dos periodos llu

TABLA IV

Resumen del ciclo hidrológico de algunos puntos de la provincia de Córdoba.

	Córdoba	Montoro	Posadas	Lucena
Lluvia anual (mm)	728,2	659,6	745,1	753,9
Evapotranspiración potencial (mm)	927,8	941,5	951,3	900,5
Exceso de agua (en invierno) (mm)	321,8	225,8	319,8	306,5
Falta de agua (en verano) (mm)	521,4	507,7	526,0	453,1
Índice de aridez	56,2	53,9	55,3	50,3
Tipo Climático	Subhúmedo seco Subhúmedo	Seco Subhúmedo	Subhúmedo seco Subhúmedo	Subhúmedo
Símbolo climático	C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 's <sub>2</sub> b <sub>3</sub> '	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> 's <sub>2</sub> b <sub>4</sub> '	C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 's <sub>2</sub> b <sub>4</sub> '	C <sub>2</sub> B <sub>3</sub> 's <sub>2</sub> b <sub>4</sub> '

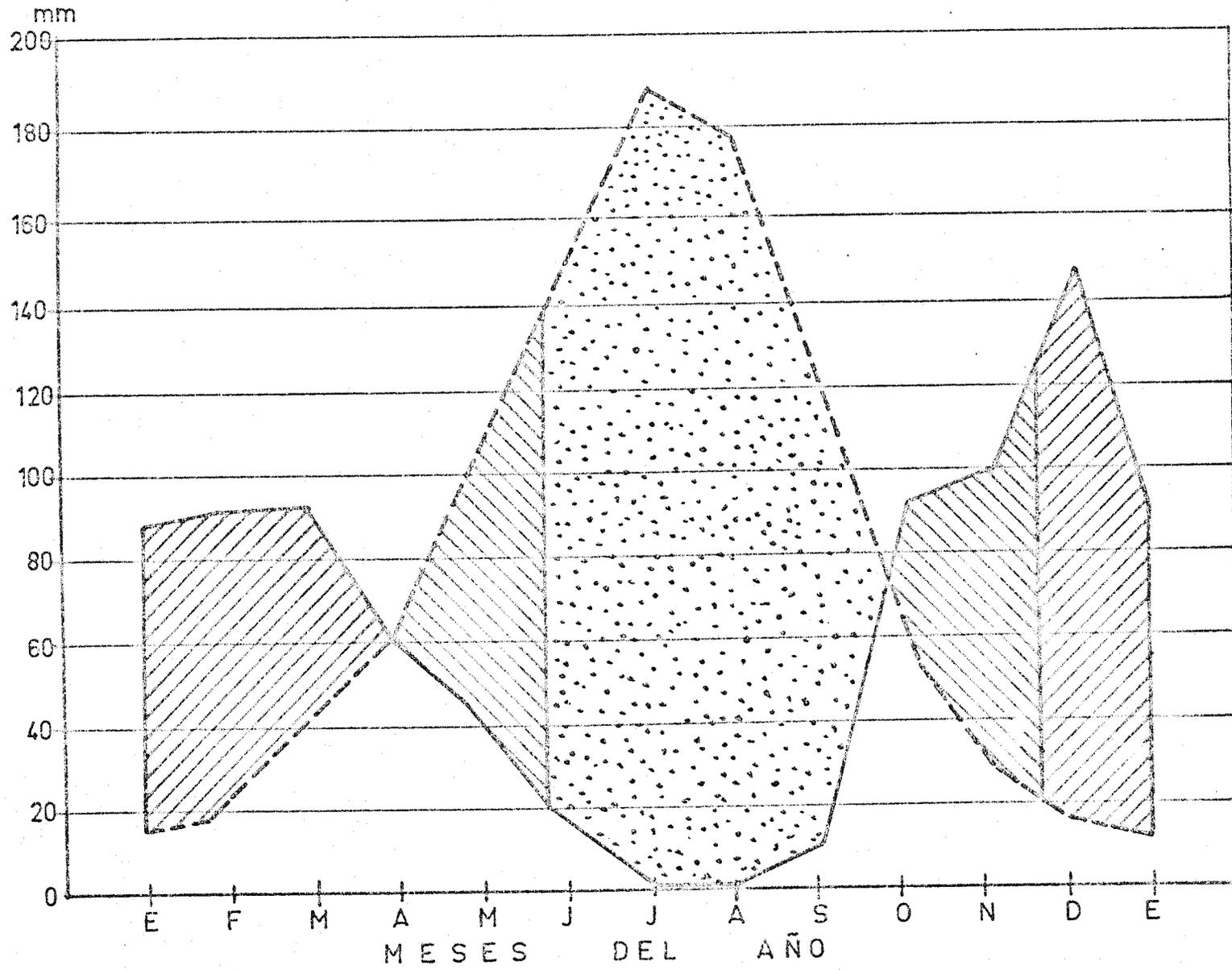
Según C.E.B.A.C. (1962)

viosos que coinciden con los meses de noviembre-diciembre el primero y de febrero-marzo el segundo; mientras que de junio a septiembre se extiende un prolongado periodo seco, con ausencia total de lluvias, y que es común en toda Andalucía Occidental. Es de notar, sin embargo, una cierta diferencia entre los periodos de máxima pluviosidad de Sevilla y Córdoba, en especial por lo que a la región del Valle se refiere, ya que mientras en la primera el máximo de otoño es más acentuado que el de la primavera, en la de Córdoba ambos son de intensidad similar. ( tabla V ).

Las temperaturas elevadas y la larga y pronunciada sequía de los meses de verano dan lugar a un notable déficit anual en el balance hidrológico de la provincia como se ilustra en la Fig. III.3 . Las regiones del valle y la campiña acusan el más acentuado déficit de agua durante el verano, del orden de los 500 mm.

La provincia de Córdoba presenta así, durante el verano, una situación hidrológica muy análoga a la de Sevilla, lo que determina para los cultivos más extendidos necesidades generales del mismo orden en lo que al riego se refiere, mientras que existen diferencias apreciables en el invierno, lo que da lugar a que las

Fig. III. 3 Balance de agua en Córdoba capital.



EXCESO DE RESERVA

FALTA DE RESERVA

RESERVA

EVAPORACION

LLUVIA

TABLA V

Datos climatológicos de Córdoba capital (media de 25 años)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Ta. Máxima media (°C)	13,5	15,6	17,7	20,6	26,2	31,4	35,4	36,0	30,8	24,4	17,6	14,0	23,6
Ta. Mínima media (°C)	3,7	5,3	7,1	8,8	12,5	17,0	19,3	19,7	16,9	12,3	7,5	4,5	11,2
Ta. Media (°C)	8,6	10,5	12,4	14,7	19,4	24,2	27,4	27,9	23,9	18,4	12,6	9,3	17,4
Ta. Máxima abs. (°C)	21,8	24,6	31,0	32,2	38,2	42,4	44,0	43,6	43,8	36,2	29,0	21,2	44,0
Ta. Mínima abs. (°C)	-4,6	-2,0	-1,0	0,8	3,4	8,8	12,0	10,6	9,0	2,8	-0,8	-4,8	-4,8
Precip. (mm)	53	86	91	65	46	22	2	2	20	77	89	78	631
Días de Lluvia	7	10	11	8	6	3	1	0	3	7	9	9	74
Humedad relativa (%)	76	72	68	63	53	43	36	34	46	59	70	77	58
Días despejados.	11	7	7	7	9	15	23	23	13	10	8	10	143
Días nublados	15	15	16	17	19	14	8	8	15	16	17	15	175
Días cubiertos	5	6	8	6	3	1	0	0	2	5	5	6	47

Según C.E.B.A.C. (1962)

distintas comarcas de ambas provincias encajadas en el clima seco - subhúmedo general, ocupen extremos opuestos dentro de esta clasificación: Las de Sevilla en la frontera del semiárido y las de Córdoba en el límite del subhúmedo.

La Fig. III.4 representa la evolución de las temperaturas medias y absolutas a lo largo del año en Córdoba capital. Las máximas medias varían desde 13,5° C en el mes de enero hasta 36,0° C en el de agosto, y las mínimas medias entre 3,7° C en enero y 19,7° C en agosto. Las máximas y mínimas absolutas registradas han sido de 44,0° C en julio y de -4,8° C en diciembre respectivamente para el periodo considerado.

Temperaturas medias en Córdoba capital oscilan paulatinamente a lo largo del año desde 8,6° C en el mes de enero hasta 27,9° C en el mes de agosto, descendiendo luego con mayor rapidez a partir de este último mes.

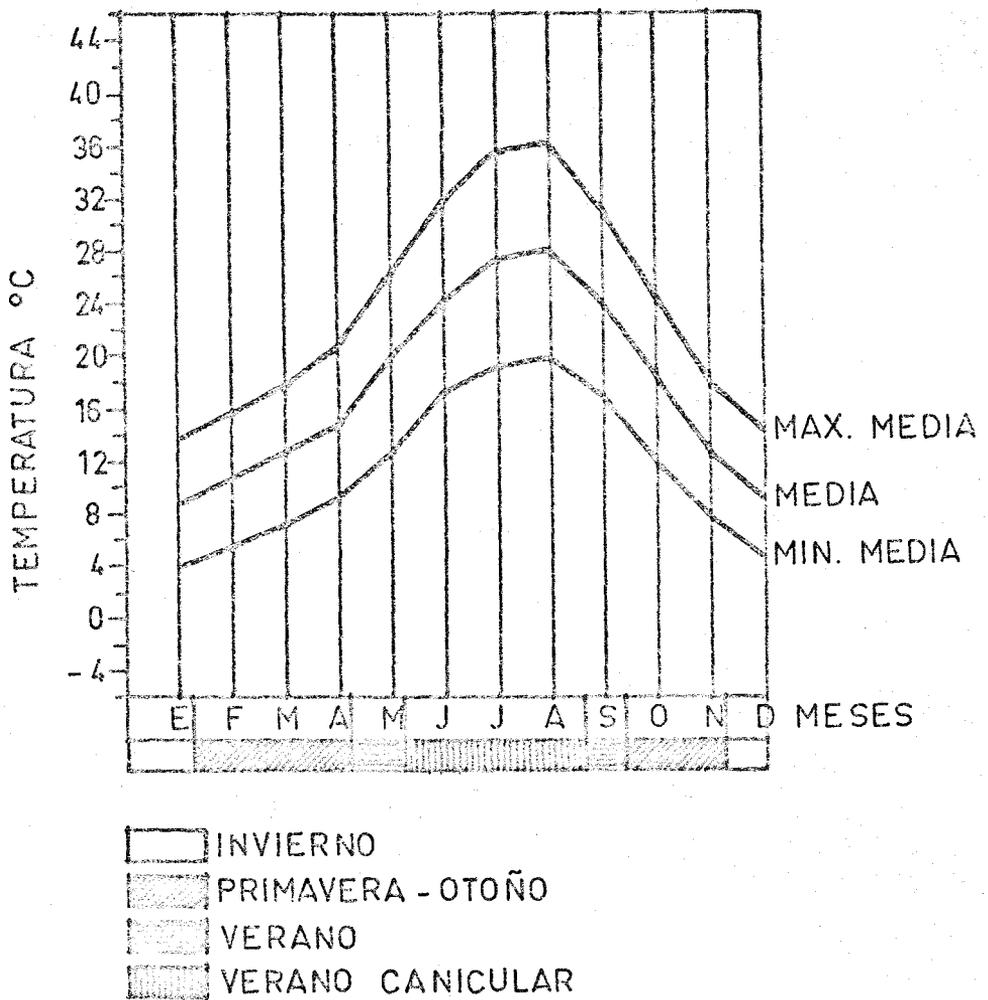


Fig. III. 4 Evolución de las temperaturas medias en Córdoba capital.

III.1.3. Descripción del perfil y análisis del suelo: Zona de Sevilla.

La zona de experiencias en Sevilla se encuentra situada como ya mencionamos en Coria del Rio, la granja experimental " El Aljarafe".

Esta zona es una vega: caliza con un suelo clasificado como de aportes aluviales con caracter vértico. Carece de pedregosidad y afloramiento rocosos y su material originario son sedimentos margosos. Es un suelo con drenaje mediano y salinidad visible, su posición fisiográfica es una depresión con pendiente del 1 al 2% y con orientación Sur-Este.

La descripción detallada del perfil y los resultados de los análisis practicados, se expresan a continuación:

III.1.3.1 Descripción del perfil

<u>Prof. cm.</u>	<u>Hori- zonte</u>	<u>Muestra nº</u>	<u>Descripción</u>
0-25	Ap	1-S	(10 YR 4/2 a 4/3) Pardo gris oscuro a pardo-pardo oscuro; arcilloso; grumosa media-fina, moderadamente desarrollada, que se deshace con una tendencia a poliédrica subangular; duro en seco, firme, plástico y adhesivo; abundantes poros finos-finos y medianos, caóticos, continuos ex-imped; abundantes raíces muy finas a medianas verticales; buena actividad biológica; calizo; plano y gradual.

<u>Prof. cm.</u>	<u>Hori- zonte</u>	<u>Muestra nº</u>	<u>Descripción</u>
25-75	(B)	2-5	(10 YR 4/2) pardo gris oscuro; arcillo- so; poliédrica angular, que en estado seco tiende a prismática, gruesa a me- diana, fuertemente desarrollada, masi- vo en el perfil; duro en seco, firme, plástico y adhesivo; poros comunes muy finos a medianos continuos, oblicuos, que disminuye su abundancia en la base del horizonte; raíces comunes, muy fi- nas y medianas, verticales; moderada - actividad biológica; aislada gravillas pequeñas, irregulares, silíceas; esca- sos nódulos ferruginosos negros; plano gradual; calizo.

<u>Prof.</u> <u>cm.</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Muestra</u> <u>nº</u>	<u>Descripción</u>
75-120	II C	3-S	(10 YR 6/4) pardo amarillento suave; - areno arcilloso; masivo en el perfil, poliédrica angular fina a mediana, de- bilmente desarrollada, que se de hace en migajosa particular; friable, no plásti- co y no adhesivo; abundantes poros muy finos a finos continuos, ex-imped; ais- ladas raices muy finas-finas verticales y oblicuas; aisladas gravillas pequeñas, irregulares silíceas; calizo.

A partir de los 130 cm. aparecen -  
los sedimentos margosos, de color gris  
oscuro, que este momento estaban total-  
mente mojados.

Para la descripción anterior, se hizo uso del Soil Survey  
Manual (1951).

III.1.3.2 Características físicas.

Las características físicas y composición granulométrica del suelo, determinadas inmediatamente antes de la iniciación de la experiencia, quedan reflejadas en las tablas VI y VII.

TABLA VI  
Características físicas

Prof. cm.	Reserva - Útil mm/cm.	Conductividad hidráulica mm/h.	Humedad - equivalente %	Porcentaje de marchitez	Densidad aparente
0-10	1,33	1,1	24,2	15,1	1,46
10-20	1,37	1,2	24,3	15,3	1,52
20-30	1,29	0,5	24,9	16,6	1,55
20-40	1,34	0,7	24,8	16,4	1,60
40-50	1,60	0,7	24,0	13,7	1,56
50-60	1,70	2,0	22,2	11,6	1,60
60-70	1,62	5,8	19,5	9,7	1,65
70-80	1,97	4,5	17,9	6,2	1,68
80-90	1,67	4,5	15,5	5,6	1,69
90-100	1,64	26,0	14,9	5,1	1,67

TABLA VII

Composición granulométrica

Prof. cm.	Arena gruesa %	Arena fina %	Limo %	Arcilla %
0-10	1	32	25	38
10-20	1	31	25	37
20-30	1	28	25	41
30-40	1	30	24	39
40-50	1	43	23	28
50-60	1	57	13	23
60-70	1	65	8	20
70-80	1	70	10	17
80-90	3	68	4	18
90-100	8	67	5	13

Como se observa, la conductividad hidráulica es moderada en los horizontes superiores pero el drenaje interior es medio, como corresponde a una textura de franca a arenosa (véase tabla VI ). La reserva útil aumenta en profundidad.

### III. 1.3.3 Características químicas

Al igual que las físicas, éstas fueron determinadas anteriormente a la siembra, con objeto de conocer el nivel de nutrien-

tes en el perfil.

TABLA VIII  
Características químicas

Horizonte	pH	M.O. %	C. %	N. %	C/N	mg/100 g			
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Ap	7,9	1,71	0,99	0,09	11,0	33	15	117	266
(B)	8,1	1,19	0,69	0,07	9,8	4	4	33	263
IIC	8,0	0,98	0,57	0,06	9,5	4	4	82	146

Como se deduce de la observación de la tabla, el nivel de nutrientes era adecuado para los cultivos objeto de estudio.

III.1.4. Descripción del perfil y análisis del suelo : Zona de Córdoba.

La zona de experiencia de Córdoba, se encuentra situada en la finca denominada " Alameda del Obispo".

El suelo es igualmente de tipo aluvial, similar al utilizado en la provincia de Sevilla, pero algo más ligero en su textura.

La descripción detallada del perfil y los resultados de los análisis practicados, se exponen a continuación.

III.1.4.1 Descripción del perfil

<u>Prof. cm.</u>	<u>Hori- zonte</u>	<u>Muestra nº</u>	<u>Descripción</u>
0-20	Ap	1-C	(10 YR 6/4) pardo amarillento; franco arcilloso; límite difuso plano poco diferenciado en profundidad; estructura migajosa que se deshace con facilidad, fina moderadamente desarrollada, poliédrica sub-angular. Duro en seco plástico y ligeramente adhesivo, abundantes poros medianos-grandes; raíces muy abundantes horizontales; buena actividad biológica. Roturado. Concreciones de hierro bien definidas; reacción caliza positiva.

<u>Prof.</u> <u>cm.</u>	<u>Hori-</u> <u>zonte</u>	<u>Muestra</u> <u>nº</u>	<u>Descripción</u>
20-90	(B)	2-C	(10 YR 4/2) pardo oscuro, franco a franco arcilloso. Estructura poliédrica angular muy definida que en estado seco tiende a prismática, fuertemente desarrollado y muy compacto (masivo). Medianamente plástico y medianamente adhesivo. Abundantes poros finos a medianos, caóticos, que disminuyen en profundidad; pocas raíces de finas a muy finas, restos de actividad biológica. Calizo. Escasos nódulos ferruginosos.
90-120	IIC	3-C	(10 YR 7/4) pardo amarillento. Franco arenoso, estructura poliédrica fuertemente desarrollada que se deshace en migajosa; muy poco plástico y muy poco adhesivo; poros grandes a medianos poco numerosos. Pocas raíces finas a muy finas horizontales; masivo en el perfil, calizo.

III.1.4.2 Características físicas

Las características físicas y composición granulométrica del suelo, determinadas inmediatamente antes de la iniciación de las experiencias, quedan reflejadas en las tablas IX y X.

TABLA IX

Características físicas

Prof. cm.	Reserva Útil mm/cm.	Conductividad hidráulica. mm/h	Humedad equivalente. %	Porcentaje de marchitez.	Densidad aparente
0-10	1,41	2,7	17,5	7,2	1,37
10-20	1,33	2,7	17,7	6,8	1,22
20-30	1,43	0,1	17,8	7,2	1,35
30-40	1,30	0,1	16,6	7,2	1,38
40-50	1,17	5,4	16,8	7,4	1,24
50-60	1,27	6,2	17,2	7,1	1,26
60-70	1,28	5,4	17,1	7,4	1,32
70-80	1,09	2,7	16,5	7,5	1,21
80-90	0,81	10,8	14,6	7,7	1,18
90-100	1,10	16,2	14,4	6,1	1,33

TABLA X  
Composición granulométrica

Prof. cm.	Arena gruesa %	Arena fina %	Limo %	Arcilla %
0-10	2	54	37	8
10-20	2	53	37	8
20-30	1	45	43	11
30-40	1	47	44	8
40-50	1	47	38	14
50-60	1	44	41	14
60-70	2	45	41	12
70-80	2	46	38	14
80-90	3	42	39	16
90-100	6	58	27	9

También es éste caso, y como se observa, la conductividad hidráulica es moderada en los horizontes superiores pero el drenaje interior es medio, como corresponde a una textura de -- franca a arenosa.

### III.1.4.3 Características químicas

Al igual que las físicas, estas fueron determinadas anteriormente a la siembra, con objeto de conocer el nivel de nutrientes existentes en el perfil.

TABLA XI

#### Características químicas

Horizonte	pH	M.O. %	C %	N %	C/N	mg/100g			
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Ap	8,0	1,39	0,84	0,07	12,0	20	11	105	280
(B)	8,3	1,01	0,58	0,06	9,7	1	2	34	176
IIC	8,7	0,68	0,49	0,05	9,8	1	3	93	160

Como se deduce de la observación de la tabla, el nivel de nutrientes era adecuado para los cultivos objeto de estudio.

### III.2 ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA APLICADA

La concentración de los distintos iones presentes fué -  
la siguiente:

$\text{CO}_3\text{H}^-$	7,50 meq./l
$\text{Cl}^-$	6,30 "
$\text{Na}^+$	6,00 "
$\text{K}^+$	0,04 "
$\text{Ca}^{++}$	5,20 "
$\text{Mg}^{++}$	3,80 "

Conductividad eléctrica: CE ( $10^3$ ) = 1,43 mmhos./cm

Aunque como se dijo anteriormente, no existe metodología oficial, los resultados del análisis muestran la aptitud de la misma para el riego, ya que según la clasificación del U.S. Salinity Laboratory, comprende el tipo utilizable para toda clase de cultivos.

### III.3. EXPERIENCIAS CON PLANTAS DE MAIZ

Los estudios realizados con plantas de maiz comprenden tres aspectos fundamentales: 1) la determinación del régimen de aplicación del agua conducente a un óptimo de producción y la cuantificación del efecto sobre ésta de regímenes preestablecidos que se apartan de la aplicación ideal, 2) la valoración del efecto comparativo de aplicaciones realizadas en distintos periodos del ciclo biológico, y 3) la comparación entre variedades.

Al primer aspecto responden las experiencias de los años 1971 y 1973. Al segundo, las realizadas en 1973 y 1974, y al tercero las llevadas a cabo en 1974.

Así, pues, es conveniente referirnos a los aspectos estudiados, siguiendo los resultados obtenidos en cada una de las sucesivas campañas mencionadas.

#### III.3.1. Experiencias realizadas en la campaña de 1971

##### III.3.1.1. Efecto de diferentes niveles de riego

La zona de experiencias se encuentra situada en Coria - del Rio (Sevilla) en la Granja Experimental "El Aljarafe". En --- ella se ensayaron distintos niveles de riego con el objeto de de- terminar sus efectos sobre la cantidad y calidad del producto co- sechado.

#### III.3.1.1.1. Características climatológicas del periodo experi- mental.

Las condiciones climatológicas que existieron durante la experiencia se encuentran resumidas en la tabla XII.

Como se observa en la tabla, el periodo de lluvias alcan- zó hasta la primera decena de junio inclusive, y posteriormente hubo precipitaciones en agosto, de cierta consideración.

El periodo de verano, causante del déficit de humedad, ha sido de características menos extremas que la media habitual, alcanzándose a final de septiembre un total acumulado para dicho déficit de solo 298,1 mm.

Como luego veremos, los consumos de agua, incluso en -

TABLA XII

Características climatológicas del periodo experimental

PERIODO	Temperatura media (° C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Insolación (%)	Evaporación (mm)	Déficit acumulado (mm)
1-10 Mayo	15,5	39,5	67	47,1	18,8	-
11-20 "	17,7	69,0	71	45,7	25,2	-
21-31 "	15,1	14,3	64	66,2	18,6	-
1-10 Junio	17,5	20,5	63	56,3	24,8	-
11-20 "	18,2	-	42	79,7	26,8	-
21-30 "	23,7	-	47	80,2	44,9	-
1-10 Julio	24,4	-	58	76,9	47,6	18,4
11-20 "	23,4	-	51	73,2	44,1	62,5
21-31 "	28,6	-	51	90,0	62,4	124,9
1-10 Agosto	21,5	22,3	59	73,2	35,9	138,1
11-20 "	24,1	-	57	84,6	43,9	182,0
21-31 "	25,4	0,5	55	86,0	46,5	228,0
1-10 Sept.	20,5	-	49	61,7	29,7	257,7
11-20 "	18,1	-	53	43,7	22,3	280,0
21-30 "	17,9	3,0	60	59,7	21,1	298,1

los niveles de aportes más frecuentes, están por debajo de las necesidades del año medio.

En la Fig. III.5 se representa la marcha de las temperaturas tanto en el aire como a distintas profundidades en el perfil. En el periodo de emergencia de la planta, las temperaturas del suelo superan los 15° C, necesarios para la germinación del maíz. Hacia esta fecha se observa la inversión relativa entre la temperatura del aire y la del suelo.

Queda claramente manifiesta en la citada figura, el descenso de la temperatura en la primera decena de agosto, lo que unido a las precipitaciones recibidas, dió lugar a un nivel de evaporación bajo, tal como se comentaba en el párrafo anterior. Lógicamente esta variación no es manifiesta en el dato correspondiente al suelo, debido a la inercia térmica del mismo.

#### III.3.1.1.2. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

La siembra se efectuó mecánicamente con una densidad de semilla de 20 Kg/Ha de maíz híbrido Pioneer 309 B, el 20 de Abril. La recolección tuvo lugar el 21 de septiembre.

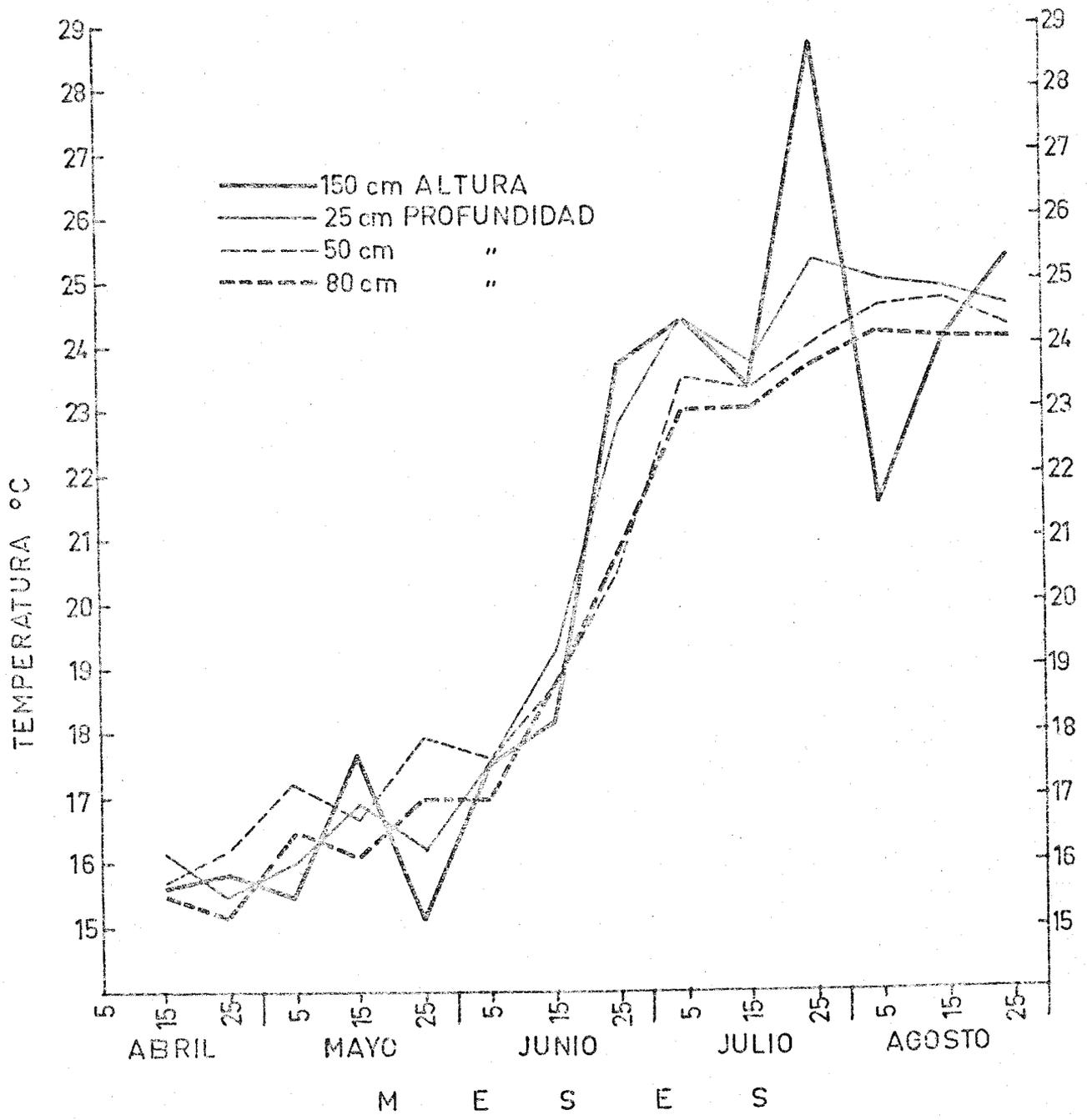


Fig.III.5 Temperatura del aire y del suelo durante el periodo experimental.

Antes de la siembra, las parcelas fueron abonadas a razón de 90 unidades de nitrógeno, 90 unidades de fósforo y 90 unidades de potasio por hectárea. Aproximadamente un mes después de la siembra fueron nuevamente abonadas con 70 unidades de nitrógeno por hectárea. Finalmente y el 15 de junio les fueron suministradas 30, 30 y 90 unidades por hectárea de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente.

La fertilización total incluyó pues 190 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 180 unidades de potasio por hectárea.

Las plantas de maíz fueron tratadas por el antiparasitario Endrin granulado, a razón de 6 kg/Ha.

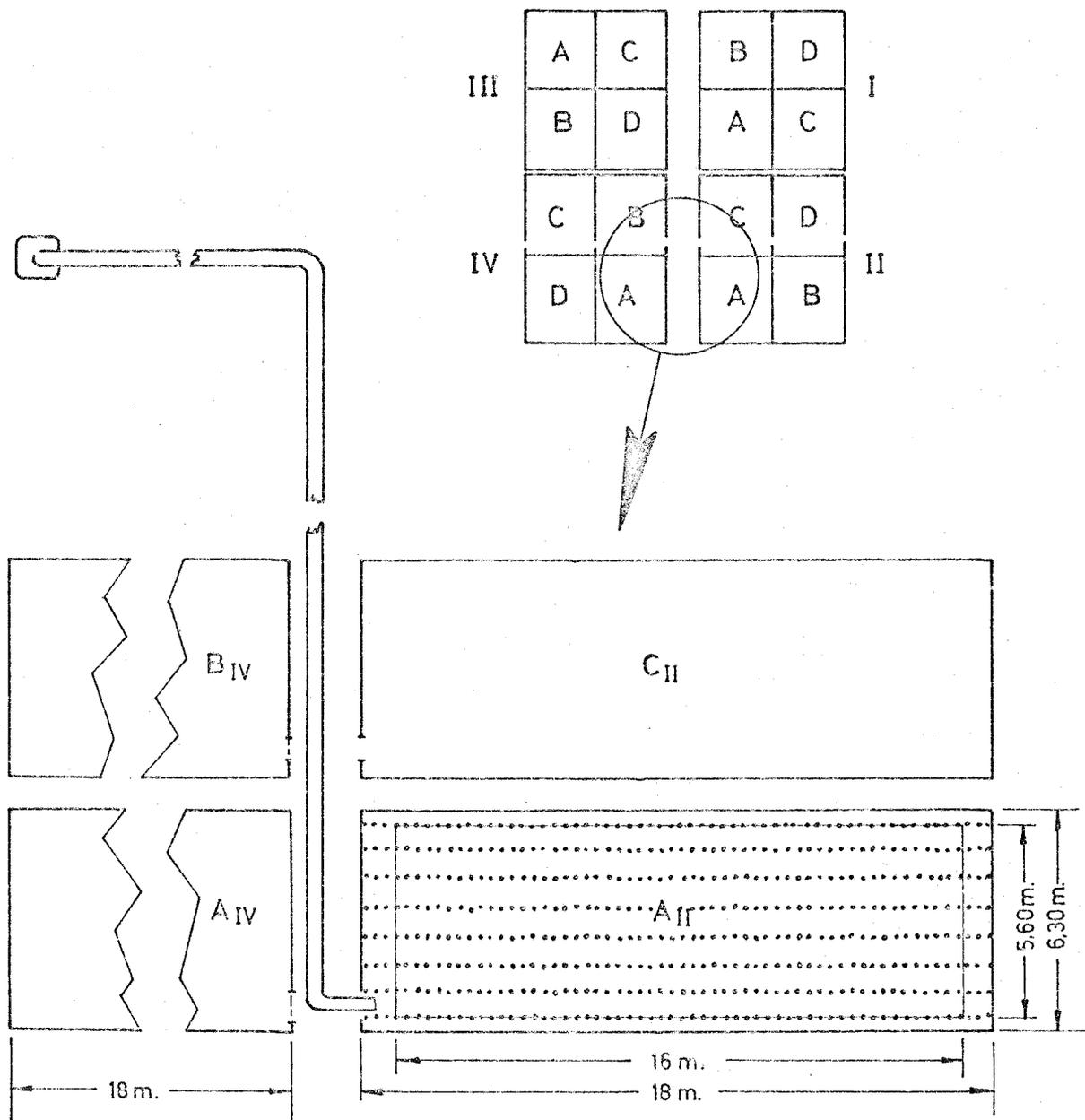
### III. 3.1.1.3. Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados.

De acuerdo con las características físicas de nuestro suelo, detalladas anteriormente, consideramos que un nivel que se suponía aplicar el agua cuando todavía quedaban en el perfil el 60% de su capacidad útil, aseguraría una provisión continua a la planta sin el menor momento de déficit.

A partir de este nivel superior, establecimos una serie descendente hasta llegar a uno inferior, que supuso aplicar el agua cuando solo quedaba un 30% de aquella capacidad. Según la información bibliográfica discutida en el capítulo I, este nivel puede considerarse ya por debajo del límite capaz de llevar a un óptimo de producción. Entre ambos extremos se situaron los niveles correspondientes a un 50% y un 40% de dicha capacidad.

Estos cuatro niveles descendentes, que se refieren en el texto como A, B, C y D, respectivamente, se repitieron cuatro veces en bloques al azar, ocupando un total de 16 parcelas, en la disposición que detalla el diseño de la Fig. III6. Cada parcela incluía ocho líneas recolectables, con un total de unas 500 plantas.

En ésta primera experiencia el método utilizado para conocer el nivel de humedad en el perfil, fué el muestreo del mismo realizado a intervalos regulares para obtener el porcentaje en la estufa, complementado con la lectura diaria de la resistencia de bloques tipo Bouyoucos, permanentemente instalados, que permitirían un contraste con los datos analíticos del muestreo, al par que la interpolación entre los mismos.



Superficie sembrada 18 x 6,30 m.  
 Superficie recolectable 16 x 5,60 m.

E = 1:200

Fig.III.6 Croquis de la situación de las parcelas..

Como la producción, por otra parte, está generalmente más estrechamente asociada con la tensión que con el contenido de humedad del perfil, el establecimiento de niveles prácticos de succión, que es lo que en realidad miden los bloques, se consideró un criterio conveniente.

En la rutina de la aplicación del agua, normalmente sirvió de pauta el valor indicado por el aparato de medición de la resistencia de los bloques, salvo en los casos en que se encontraba discrepancia con los datos del muestreo.

Los niveles ensayados (A, B, C, D), cubrían del 100 al 30% de la escala de dicho medidor.

Como niveles complementarios y sin formar parte del diseño experimental anterior, se dispuso también de tres parcelas independientes, de igual tamaño que las anteriores, en las que se hicieron, respectivamente, dos, una y ninguna aplicación de agua y a los que nos referimos como niveles E, F y G. Estas parcelas tuvieron por objeto conocer el orden de magnitud del efecto del agua, por debajo del nivel mínimo mencionado anteriormente (nivel D), con el fin de completar la visión de la rentabilidad del agua aplicada.

TABLA XIII

Fecha y cuantía del agua aplicada a cada tratamiento

FECHA	TRATAMIENTOS					
	A	B	C	D	E	F
5-VII	151,1	127,3	100,7	113,3	98,6	77,0
10-VII	33,5	-	-	-	-	-
14-VII	-	39,7	-	-	-	-
17-VII	33,8	-	37,9	46,0	-	-
21-VII	-	34,7	-	-	-	-
23-VII	30,6	-	34,1	28,0	-	-
26-VII	-	29,3	-	-	-	-
29-VII	33,9	-	-	-	-	-
2-VIII	-	42,8	-	-	66,2	-
4-VIII	36,5	-	47,0	57,0	-	-
17-VIII	36,8	42,0	42,0	-	-	-
31-VIII	59,0	42,2	41,0	-	-	-
TOTAL	415,2	358,0	302,7	244,3	164,8	77,0

En la tabla XIII se resume el régimen de aplicación y volumen unitario, con expresión de las fechas correspondientes a cada uno de los niveles experimentales ensayados.

La tabla anterior muestra claramente las diferencias de aplicación de agua a cada uno de los niveles. Los consumos anteriores suponen respectivamente los siguientes porcentajes:

- A: 100%
- B: 86,2%
- C: 72,9%
- D: 58,8%
- E: 39,7%
- F: 18,5%

Sin embargo, es conveniente advertir que, mientras en la situación A, la planta no tiene necesidad de hacer ninguna sustracción de la reserva propia del perfil, los niveles inferiores y muy especialmente en el que no ha recibido ningún aporte artificial de agua, dicha sustracción es evidente, como muestran los perfiles de humedad encontrados inmediatamente después de realizada la recolección y que se incluyen en la Fig. III.7.

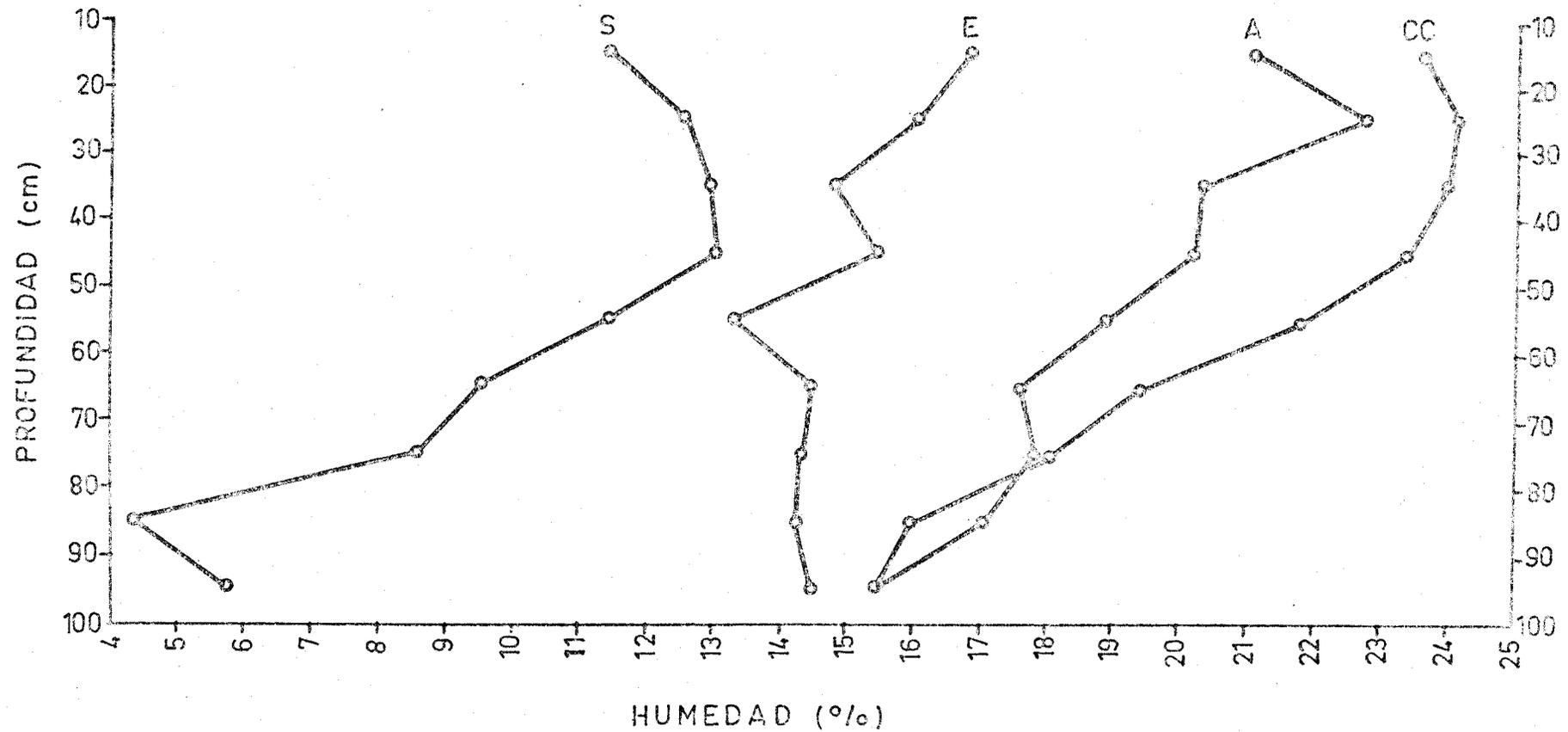


Fig.III.7. Situación de la humedad en los perfiles del suelo correspondientes a distintos niveles experimentales en el momento de la recolección. (CC, capacidad de campo).

III.3.1.1.4. Análisis de la producción

El peso del grano, seco al aire, en las condiciones normales de comercialización (humedad < 16%), en las distintas parcelas experimentales está reflejado en la tabla XIV.

TABLA XIV  
Producción (grano seco, Kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A	B	C	D
I	8.088	7.605	7.522	6.513
II	7.836	7.834	7.353	6.786
III	8.046	8.109	7.563	7.101
IV	7.815	7.794	7.236	7.162
MEDIA	7.946	7.836	7.419	6.891

Tratamientos complementarios

E: 6.513

E: 6.029

S: 4.412

Teniendo en cuenta la significación encontrada entre niveles, se procedió a la comparación entre pares de valores correspondientes.

pondientes a las medias de cada nivel y de cada bloque, arrojando el siguiente resultado:

Significación entre tratamientos (\*)

(5%)  
A B C D

(1%)  
A B C D

Como queda reflejado, existe diferencia entre cada par de valores, correspondiente a niveles, excepto entre A y B. En cuanto a la diferencia entre bloques, no aparece ninguna significativa al nivel del 5%, si bien los pares I-III y II-III acusan una baja significación inferior al 10%.

El efecto debido al tratamiento diferencial resulta aún más destacado cuando se analizan los datos referentes al peso de cosecha bruta, en el momento de la recolección, es decir, antes de sufrir el grano la pérdida de humedad requerida en su comercialización.

La tabla XV refleja la producción en los diferentes

---

(\*) Los tratamientos incluidos en la misma línea no son significativos al nivel de probabilidad que se indica. Cuando la línea es punteada, indica una significación muy ajustada

tratamientos inmediata a la recolección, es decir, sin que el grano haya perdido su humedad.

TABLA XV  
Peso de cosecha bruta (Kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A	B	C	D
I	11.239	10.399	10.068	8.929
II	11.162	10.927	10.084	9.233
III	11.176	11.294	10.402	9.769
IV	10.924	10.780	9.838	9.874
MEDIA	11.125	10.850	10.098	9.451

Tratamientos complementarios

E: 8.928

F: 8.087

G: 6.092

Significación entre tratamientos

(5%)  
A B C D

(1%)  
A B C D

Como en el apartado anterior, la producción aumenta des

de el nivel S. al A . En cuanto a la comparación entre tratamientos, los niveles B y C presentan ahora un grado de significación superior.

En conjunto, el grado de significación de las diferencias entre tratamientos y/o bloques es algo superior al encontrado en el análisis correspondiente al grano seco.

Aparte del efecto sobre la producción, se han analizado otras características de la misma, tales como el tamaño de la mazorca y la calidad del grano, en cuanto a contenido en proteínas se refiere.

Con respecto al primer análisis mencionado, el aporte diferencial de agua se ha traducido en claras diferencias en el tamaño de infrutescencias de cada uno de los niveles ensayados.

La tabla XVI recoge el resultado correspondiente a cada una de las parcelas.

TABLA XVI

Peso de infrutescencias (g)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A	B	C	D
I	164,4	159,4	140,3	141,6
II	168,9	156,7	143,3	148,2
III	174,2	162,8	133,9	153,7
IV	159,8	165,5	163,3	148,9
MEDIA	166,8	161,1	145,2	148,1

Niveles complementarios

E: 127,0

F: 116,2

S.: 129,8

Significación entre tratamientos

(5%)  
A B C D

(1%)  
A B C D

Comparando los resultados de este análisis con los anteriores, se observa, antes que nada, que el grado de significación entre niveles es inferior, aunque todavía positivo al 5%. B-D disminuye su significación de 1% a 5% y C-D de 1% a 5%.

Como en el caso de la producción los tamaños aumentan en el sentido S - A, si bien no de una manera tan específica.

El nivel superior de significación encontrado en la producción se debe al efecto combinado del tamaño y número de infrutescencias por planta. Sin embargo, no existe una clara relación entre el número infrutescencias por planta y el nivel de su aplicación de agua.

La tabla XVII recoge los datos correspondientes al número de mazorcas y plantas, así como su cociente respectivo, según conteo realizado en cada una de las parcelas experimentales.

Si bien se aprecia en el cociente del número de mazorcas por planta una tendencia a aumentar hacia los niveles superiores de humedad, la variabilidad encontrada no permite establecer una clara relación entre ambas, y por ello se ha considerado innecesario proceder a un análisis más detallado de estos resultados.

Es significativo a este respecto observar cómo la parcela que no ha recibido ningún riego acusa el valor mínimo, mientras que los cocientes máximos se encuentran en las parcelas de aportes de agua superiores.

TABLA XVII

Número de mazorcas y de plantas (en 100 m<sup>2</sup>)

Nivel	Bloque	Mazorcas	Plantas	Mazorcas/Planta
A	I	492	359	1,37
	II	464	324	1,43
	III	462	357	1,29
	IV	489	408	1,20
B	I	477	347	1,37
	II	500	353	1,42
	III	498	342	1,46
	IV	471	361	1,30
C	I	536	391	1,37
	II	513	416	1,23
	III	565	406	1,39
	IV	443	396	1,12
D	I	460	366	1,26
	II	458	359	1,28
	III	462	372	1,24
	IV	481	361	1,33
E		513	418	1,23
F		519	403	1,29
S		340	326	1,04

Como análisis más importantes de la calidad del producto cosechado, se consideró el correspondiente al contenido en proteínas por ser el factor fundamental en la definición del valor - alimenticio del producto.

En la Fig. III B se reflejan esquemáticamente los resultados medios obtenidos para cada nivel experimental. En ella se aprecia como el contenido porcentual de proteína es prácticamente el mismo en todos los niveles. Esto se traduce en que la producción, en términos de proteína por parcela experimental, sigue paralela a la de peso de grano seco recolectado, esto es, que disminuye -- desde el nivel A al S.

Por último la tabla XVIII recoge los datos correspon-dientes al rendimiento del agua aplicada por tratamiento y bloque.

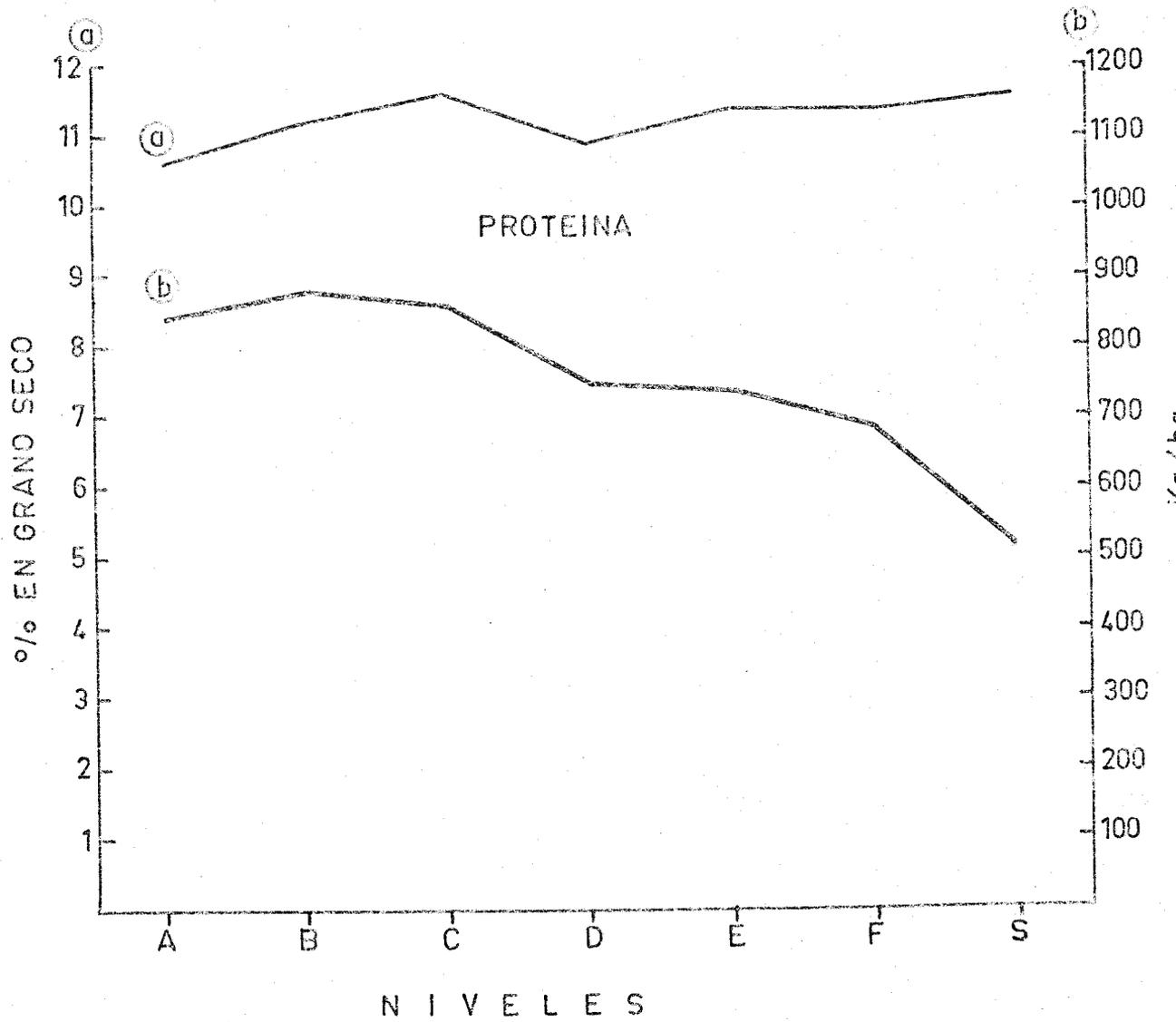


Fig. III. 8 Contenido en proteína por unidad de área y por peso de grano seco.

TABLA XVIII  
Rendimiento del agua aplicada ( $\text{g/m}^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A	B	C	D
I	1.932	1.948	2.288	2.630
II	1.764	1.975	2.165	2.578
III	1.834	2.152	2.143	3.069
IV	1.739	2.117	2.398	2.196
MEDIA	1.817	2.073	2.249	2.618

E: 3.472

F: 6.041

Como se aprecia, el rendimiento aumenta en el sentido de los tratamientos de aporte inferior de agua, siendo la media correspondiente al nivel A de un 69,4% con relación a la del D. Esto es debido a que una determinada reducción en la cantidad de agua aplicada, da lugar a una reducción de menor cuantía en la producción.

En la Fig.III.9 se expresa el rendimiento del agua aplicada en términos de porcentaje de producción de cada uno de los niveles, con relación a la del A, tanto para el grano seco, como para el peso bruto a la recolección.

En el caso de la parcela sin aporte de agua artificial, la producción conseguida (59%) es superior a la media normalmente encontrada en las estadísticas, que la sitúan alrededor del 30% (1969). No obstante, hay que advertir que durante el periodo objeto de esta experiencia, el régimen de lluvias, como ya comentábamos, ha conferido al nivel S una situación de humedad superior a la que normalmente está presente en el perfil del suelo.

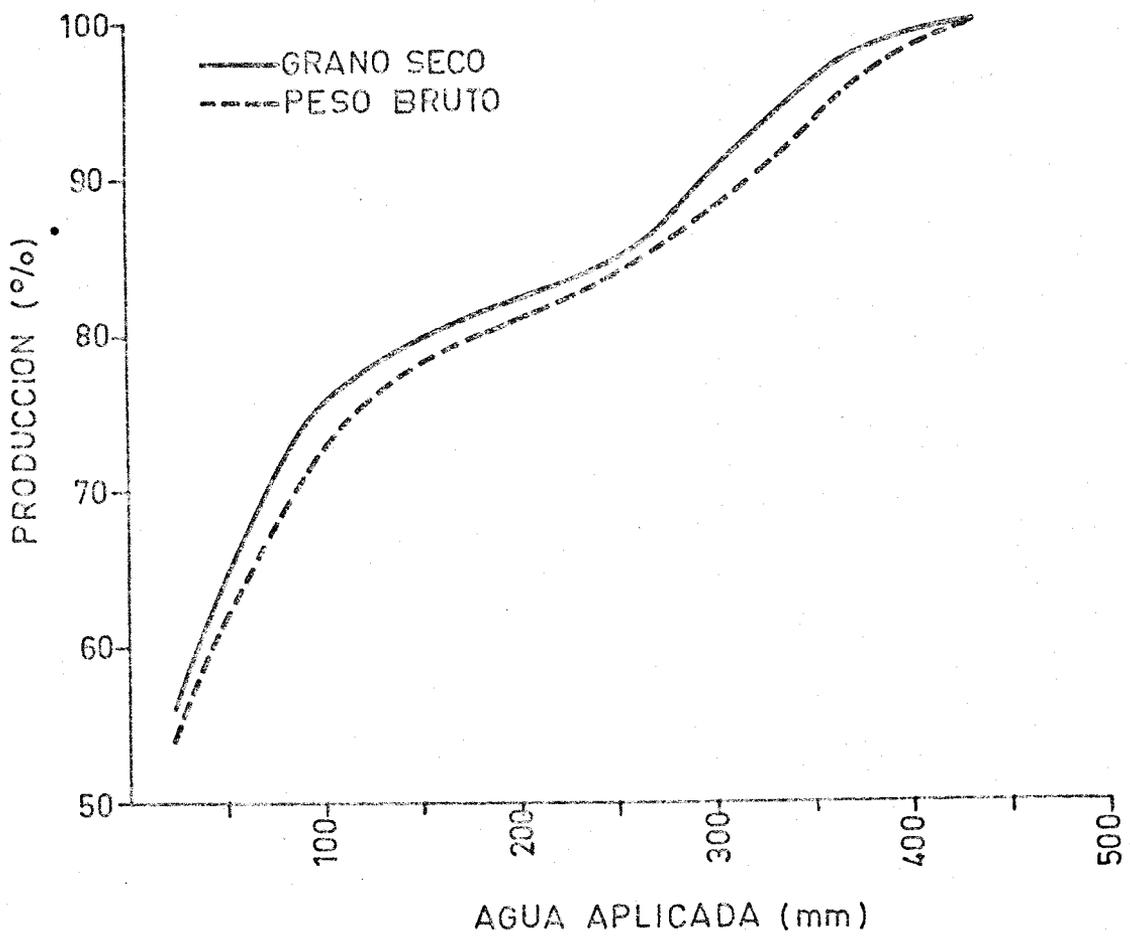


Fig.III.9 Porcentaje de producción alcanzada en cada nivel experimental en relación al volumen de agua consumido.-

### III.3.2 Experiencias realizadas en la Campaña de 1973.

#### III.3.2.1. Efecto de diferentes niveles de riego y fecha de aplicación dentro del ciclo biológico de la planta.

En ésta experiencia se presentan los resultados obtenidos en (Córdoba) sobre el efecto comparado de la restricción de agua, en diversas formas y en distintos momentos del ciclo biológico de la planta.

##### III.3.2.1.1. Características climatológicas del periodo experimental.

Las características climatológicas existentes durante el periodo experimental se encuentran resumidas en la tabla XIX. De la observación de la misma se deduce que el promedio de la temperatura del aire durante este periodo varió de 10,4 a 27,2° C, - la humedad relativa media se mantuvo entre el 40 y el 65%, la radiación solar media osciló desde 298 a 690 cal/cm<sup>2</sup>/día; las velocidades mínima y máxima del viento registradas fueron 0,90 y 1,87 m/seg y el total de precipitación durante el periodo considerado fué de 146,2 mm.

TABLA XIX

Características climatológicas del periodo experimental,

PERIODO	Precipitación (mm)	Tª Media (° C)	Radiación (Cal.cm <sup>-2</sup> . dia <sup>-1</sup> )	Humedad relativa (%)	Velocidad viento. (m.sec <sup>-1</sup> )
Feb. 1-10	19,8	8,5	227	75	1,46
11-20	6,0	6,6	261	73	1,49
21-28	-	11,1	299	68	1,43
MEDIA	25,8	8,7	262	72	1,46
Mar. 1-10	-	11,2	313	61	0,99
11-20	15,7	10,3	310	68	1,46
21-31	24,8	16,3	297	69	1,65
MEDIA	43,5	11,3	307	66	1,35
Abr. 1-10	2,0	14,0	412	58	1,48
11-20	-	12,9	428	57	1,94
21-30	1,8	16,3	403	61	1,62
MEDIA	3,8	14,4	413	59	1,68
May. 1-10	4,6	16,7	447	59	1,82
11-20	68,3	17,4	397	66	1,80
21-31	1,5	20,4	479	62	1,18
MEDIA	74,4	18,2	441	60	1,60
Jun. 1-10	14,5	21,1	509	61	1,30
11-20	4,5	23,5	587	59	0,91
21-30	-	23,5	582	50	1,20
MEDIA	19,0	22,7	559	57	1,14

.../...

.../...

Características climatológicas del periodo experimental

PERIODO	Precipitación (mm)	Tª Media (º C)	Radiación (Cal.cm <sup>-2</sup> . día <sup>-1</sup> )	Humedad - relativa (%)	Velocidad viento. (m.seg <sup>-1</sup> )
Jul. 1-10	5,0	25,6	564	45	1,06
11-20	0,5	23,3	588	56	1,61
21-31	-	26,7	589	46	1,07
MEDIA	5,5	25,2	580	49	1,25
Ago. 1-10	-	27,2	521	49	1,11
11-20	-	27,0	549	52	1,06
21-31	8,0	27,1	690	53	1,20
MEDIA	8,0	27,1	587	51	1,12

### III.3.2.1.2 Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas.

La fecha de siembra fue el 10 de abril y se realizó a razón de 20 Kg/Ha de semilla. La recolección tuvo lugar el 2 de octubre.

La fertilización total recibida por las parcelas, fue similar a la experiencia anterior, esto es, 190 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 180 unidades de potasio por Hectárea.

Las plantas fueron también tratadas con el antiparasitario Endrin granulado al 2%.

La floración tuvo lugar del 1 al 4 de julio.

### III.3.2.1.3 Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados.

Esta experiencia consistió en la combinación de dos tratamientos separados, incluyendo cada uno de ellos tres niveles de aplicación con tres repeticiones.

El croquis de la situación de las parcelas en el campo aparece en la Fig. III.10. Esta disposición se utilizaría más tarde en todas las experiencias que siguen, tanto de maiz como de girasol.

Los niveles ensayados fueron los siguientes:

$A_1$  = Consistente en suministrar una cantidad de agua - equivalente a la pérdida por evapotranspiración registrada en el lisímetro.

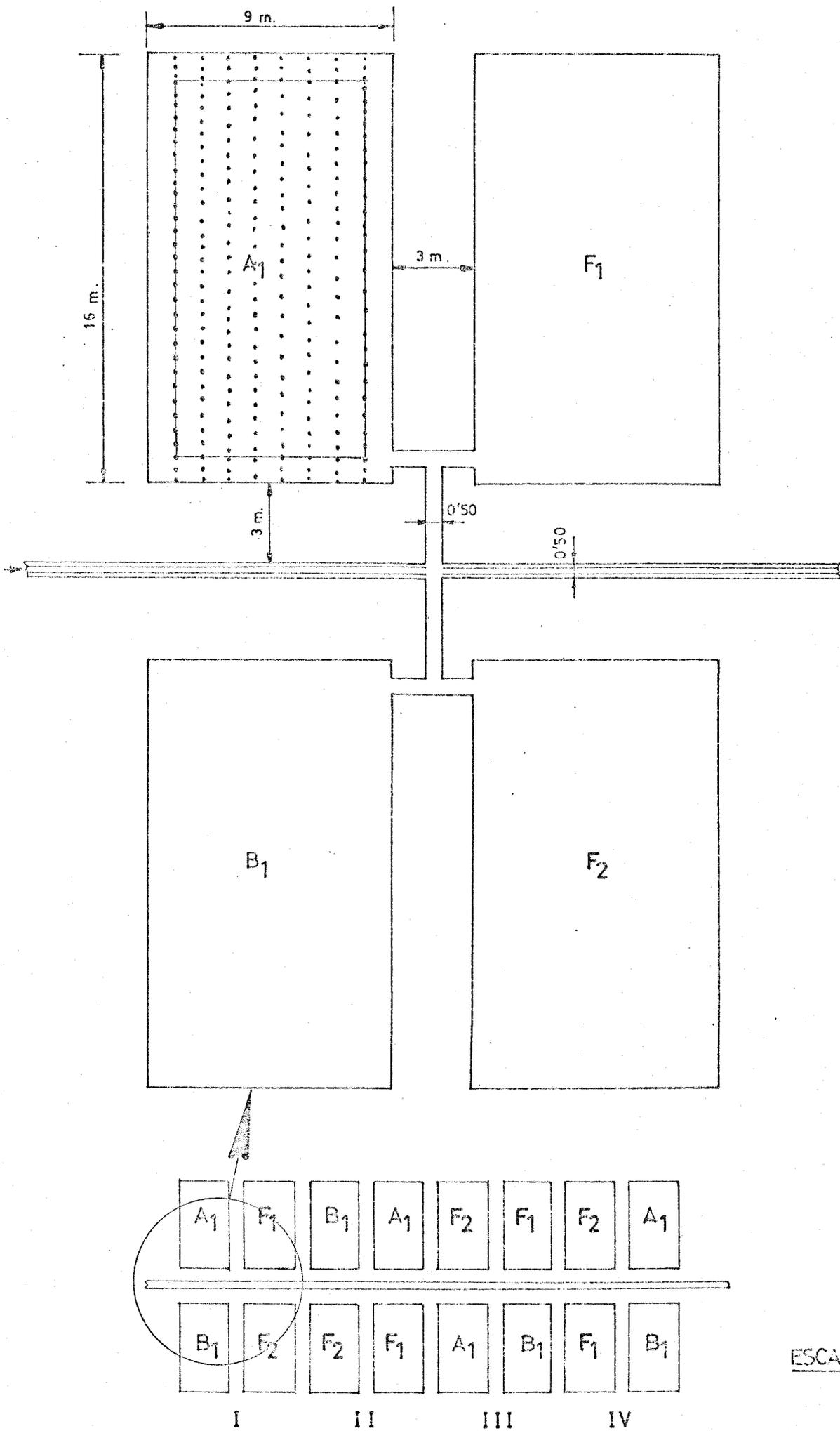
$B_1$  = Consistente en suministrar una cantidad de agua - equivalente al 75% del volúmen recibido en  $A_1$ .

$F_1$  = Consistente en suministrar volúmenes de agua equivalentes a la pérdida por evapotranspiración pero solo después de fructificación, manteniendo estas parcelas sin riego de floración a fructificación.

$F_2$  = Similar al anterior pero aplicando el riego hasta la fructificación, y suprimiéndolo posteriormente.

L = Mínima aplicación.

Fig. III. IU Croquis de la situación de las parcelas.



Superficie sembrada 9 X 16 m.

ESCALA 1:20

La tabla XX recoge el régimen de aplicación de agua con expresión de las fechas y volúmenes suministrados a los tratamientos  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  y L respectivamente.

TABLA XX

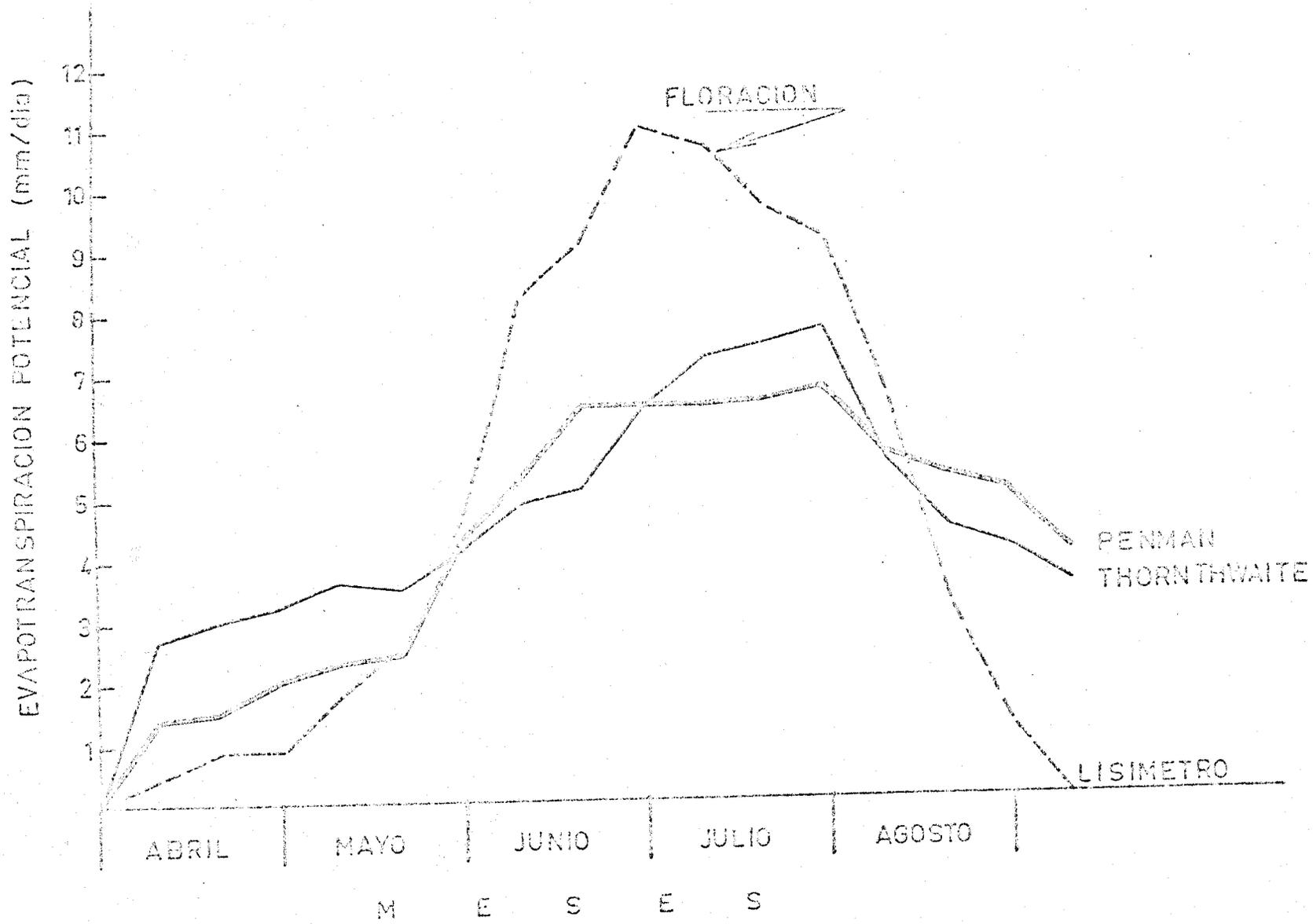
Fechas y cuantía del agua aplicada a cada tratamiento (mm)

FECHA	$A_1$	$B_1$	$F_1$	$F_2$	L
16-VI	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
23- "	45,0	31,5	45,0	45,0	-
2-VII	70,0	49,0	-	70,0	-
9- "	53,0	40,0	-	33,0	50,0
19- "	50,0	35,0	-	50,0	-
28-VIII	72,0	50,0	60,0	-	-
2 "	70,0	49,0	70,0	-	70,0
9 "	60,0	42,0	60,0	60,0	-
16 "	60,0	42,0	60,0	-	60,0
23 "	60,0	42,0	60,0	60,0	-
30 "	50,0	35,0	50,0	-	50,0
6-IX	50,0	35,0	50,0	-	-
TOTAL	690,0	500,5	505,0	388,0	288,0

Como puede observarse, el tratamiento  $F_1$  no recibió ninguna aplicación desde el 23 de junio al 28 de julio, lo que supuso una restricción de agua durante la formación del fruto. Por el contrario, el tratamiento  $F_2$  estuvo bien suministrado en agua en este periodo sometiéndolo a la falta de la misma posteriormente. Sin embargo, las condiciones meteorológicas no permitieron mantener esta restricción a lo largo del resto del periodo vegetativo, siendo necesario suministrarle dos riegos adicionales de igual volumen a los aplicados al tratamiento  $A_1$ .

La Fig.III.11 muestra los valores de la evapotranspiración potencial del cultivo a lo largo de los meses que duró la experiencia, medida en el lisímetro y la calculada por los métodos empíricos de Thornthwaite y Penman. Estos valores teóricos supusieron respectivamente el 84 y 86% de los reales observados.

Como se desprende de la referida figura, el valor máximo de la evapotranspiración potencial registrada en el lisímetro alcanzó los 11,0 mm/día de agua, ocurrida en la fase de floración, esto es, en la primera decena del mes de julio.



#### III.3.2.4 Análisis de la producción.

La tabla XXI recoge los datos experimentales encontrados referentes a la producción del grano, en condiciones normales de comercialización. La primera hace referencia a la comparación entre los tratamientos  $A_1$ ,  $B_1$  y L, y la segunda a las  $A_1$ ,  $F_1$  y  $F_2$

Como la producción en el tratamiento  $A_1$  fué similar en ambas experiencias, los resultados de los demás pueden compararse fácilmente. Por otro lado, en los tratamientos  $A_1$  y  $B_1$  se obtuvieron producciones similares, respectivamente, a las conseguidas en los niveles A y  $C_1$  de la experiencia anterior.

Las producciones en los tratamientos  $F_1$  y  $F_2$  fueron muy similares entre sí y del orden del 60-65% de la del tratamiento  $A_1$ . Se pone de manifiesto, pues, que para nuestras condiciones climatológicas los riegos posteriores a la fructificación tienen una clara incidencia en la producción final del cultivo.

TABLA XXI

Producción de grano seco (Kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	L
I	8.113	7.080	2.974
II	8.006	7.477	3.553
III	7.904	7.280	3.563
MEDIA	8.007	7.279	3.363

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
IV	7.890	5.035	5.300
V	8.064	5.228	4.843
VI	7.952	5.115	4.642
MEDIA	7.968	5.126	4.928

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> F<sub>1</sub> F<sub>2</sub> L

(1%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> F<sub>1</sub> F<sub>2</sub> L

Aparte del efecto del riego sobre la cuantía de la producción se han analizado otras características de la misma, tales como el peso del fruto y el número de mazrocas por planta.

Con respecto al primer análisis mencionado, el aporte diferencial de agua se tradujo en diferencias en el peso del fruto en cada uno de los niveles ensayados.

La tabla XXII recoge los resultados correspondientes a cada parcela.

TABLA XXII  
Peso de 100 frutos (g)

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	L
I	26,6	24,0	16,7
II	28,2	23,5	22,1
III	26,4	25,2	22,2
MEDIA	26,4	24,3	20,5

.../...

.../...

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
IV	30,2	25,3	23,1
V	24,4	23,6	24,4
VI	26,2	24,0	25,0
MEDIA	26,9	24,3	24,2

Significación entre tratamientos:

(5%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> F<sub>1</sub> F<sub>2</sub> L

(1%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> F<sub>1</sub> F<sub>2</sub> L

Como en el caso de la producción, los tamaños del fruto aumentan en el sentido L - A<sub>1</sub>, si bien no de una manera tan manifiesta.

Se observa también, que el grado de significación entre tratamientos es inferior al correspondiente de la producción, aunque permanece positivo (al 1%) entre el nivel L y cada uno de los tratamientos restantes.

En cuanto al segundo de los análisis practicados, la ta

bla XXIII refleja los datos correspondientes al número de mazorcas por planta según conteo realizado en cada una de las parcelas experimentales.

TABLA XXIII

Número de mazorcas/planta

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	L
I	0,84	0,94	0,53
II	0,88	0,76	0,59
III	0,88	0,78	0,74
MEDIA	0,86	0,82	0,62

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
IV	0,87	0,71	0,67
V	0,88	0,73	0,69
VI	0,78	0,73	0,70
MEDIA	0,84	0,68	0,73

Como en la experiencia anterior, se aprecia en el número de mazorcas por planta una tendencia a aumentar hacia los nive

les superiores de humedad.

No aparece una diferencia significativa entre los tratamientos  $F_1$  y  $F_2$ .

Finalmente en la tabla XXIV se presentan los datos correspondientes a la rentabilidad del agua aplicada por tratamiento y bloque.

TABLA XXIV  
Rendimiento del agua aplicada ( $g/m^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	$A_1$	$B_1$	L
I	1.176	1.416	1.032
II	1.160	1.494	1.234
III	1.146	1.454	1.237
MEDIA	1.160	1.454	1.168

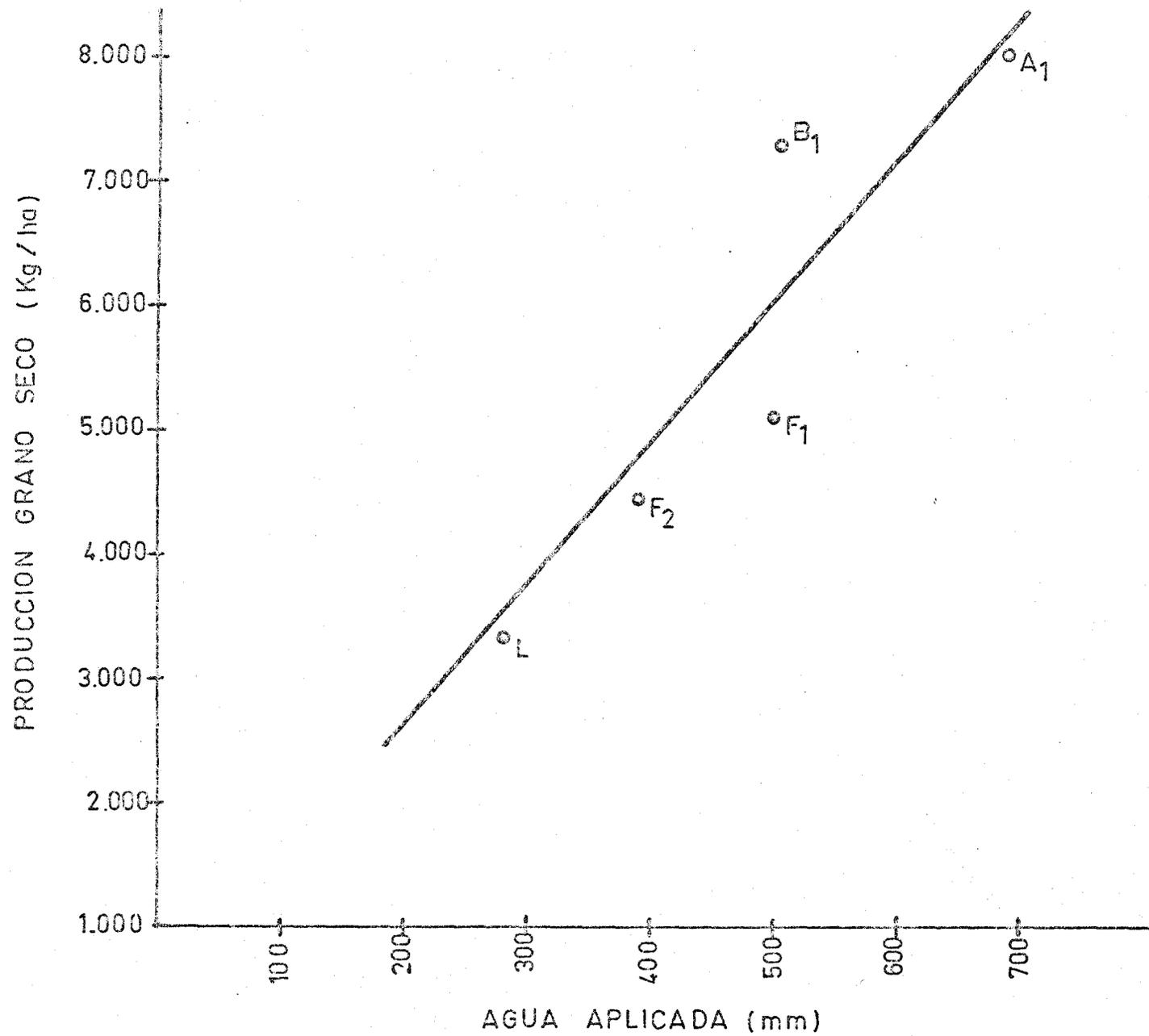
.....

.../...

BLOQUE	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
IV	1.144	997	1.366
V	1.169	1.035	1.248
VI	1.152	1.013	1.096
MEDIA	1.155	1.015	1.270

De la observación de estas tablas se deduce que el tratamiento B<sub>1</sub>, con una rentabilidad media de 1.454 g/m<sup>3</sup>, es el más eficiente.

La Fig.III12 muestra la línea de regresión entre agua -- aplicada y producción conseguida en cada tratamiento.



### III.3.3 Experiencias realizadas en la campaña de 1974

#### III.3.3.1 Efectos de diferentes niveles de riego y de la fecha de la aplicación dentro del ciclo biológico de la planta.

Se continuaron en Córdoba las experiencias iniciadas en la campaña de 1973 sobre el efecto comparado de la restricción de agua en diversas formas y distintos momentos del ciclo biológico de la planta.

##### III.3.3.1.1 Características climatológicas del periodo experimental.

Las características climatológicas que existieron durante el periodo experimental se encuentran resumidas en la tabla XXV. El promedio de la temperatura del aire durante este periodo como puede observarse, varió de 9,1 a 28,0° C, la radiación solar media osciló desde 297 a 615 cal/cm/día; la humedad relativa media se mantuvo entre el 44 y el 79%, las velocidades mínima y máxima del viento registradas fueron respectivamente 0,89 y 1,78 m/seg y la precipitación total ocurrida durante el periodo considerado fue de 200,0 mm.

TABLA XXV

Características climatológicas del periodo experimental

PERIODO	Precipitación (mm)	Tª Media (°C)	Radiación (Cal.cm <sup>-2</sup> . dia <sup>-1</sup> )	Humedad - relativa (%)	Velocidad viento (m.seg <sup>-1</sup> )
Feb. 1-10	12,2	9,9	252	79	1,42
11-20	52,2	9,2	242	81	1,93
21-28	64,4	8,1	435	71	1,03
MEDIA	128,8	9,1	310	77	1,46
Mar. 1-10	-	9,1	324	71	1,18
11-20	3,0	10,9	333	74	1,20
21-31	54,8	12,8	297	79	1,78
MEDIA	57,8	10,9	318	75	1,39
Abr. 1-10	29,2	13,3	489	75	1,37
11-20	8,5	13,3	437	77	1,63
21-30	56,5	12,8	409	79	1,56
MEDIA	94,2	13,1	445	77	1,52
May. 1-10	7,2	15,0	405	66	1,53
11-20	-	21,2	470	57	0,20
21-31	6,6	21,1	425	44	1,83
MEDIA	13,8	19,1	433	56	1,19
Jun. 1-10	-	24,4	598	50	1,21
11-20	22,4	22,4	550	67	1,42
21-30	11,6	20,4	521	69	1,45
MEDIA	34,2	24,4	556	62	1,36

5 km/h

1 m/seg : 3,6 km/h ~ 5 km/h

.../...

.../...

Características climatológicas del periodo experimental

PERIODO	Precipitación (mm)	Tª Media (° C)	Radiación (Cal.cm <sup>-2</sup> . dia <sup>-1</sup> )	Humedad relativa (%)	Velocidad viento (m.seg <sup>-1</sup> )
Jul. 1-10	-	27,6	-	-	-
11-20	-	26,0	591	-	0,89
21-31	-	27,0	615	-	1,01
MEDIA	-	26,9	603	-	0,96
Ago. 1-10	-	26,5	545	55	1,13
11-20	-	28,0	505	47	1,11
21-31	-	24,8	515	49	1,19
MEDIA	-	26,4	522	50	1,14

### III.3.3.1.2 Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

La siembra se efectuó en los días 25 a 27 de marzo a razón de 20 Kg/Ha de semilla. La recolección tuvo lugar el 12 de septiembre.

La fertilización total recibida por las parcelas fue similar a años anteriores, es decir, 190 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 180 unidades de potasio por hectárea.

Las plantas fueron tratadas con el antiparasitario Endrin granulado al 2%.

La floración se produjo en los días 2 al 8 del mes de julio.

### III.3.3.1.3 Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados

Esta experiencia incluyó los siguientes tratamientos de aplicación de agua.

M: Nivel máximo; consistente en suministrar un volumen

de agua equivalente al 130% de las pérdidas por evapotranspiración registradas en el lisímetro.

A<sub>1</sub>: Consistente en suministrar un volumen de agua equivalente (100%) a las pérdidas registradas en el lisímetro.

F<sub>2</sub>: Consistente en suministrar volúmenes de agua idénticos a los recibidos por las parcelas del tratamiento M, pero hasta solo diez días más tarde de producirse la floración.

F<sub>3</sub>: Consistente en suministrar volúmenes de agua idénticos a los recibidos por las parcelas del tratamiento M, pero solo durante la fase de floración a fructificación.

Cada tratamiento contaba con cuatro repeticiones diseñadas en un sistema de bloques al azar, situándose en el campo según el croquis indicado anteriormente en la Fig. III.10.

En la tabla XXVI se encuentra el régimen de aplicación

y consumo de agua para cada uno de los niveles experimentales ensayados.

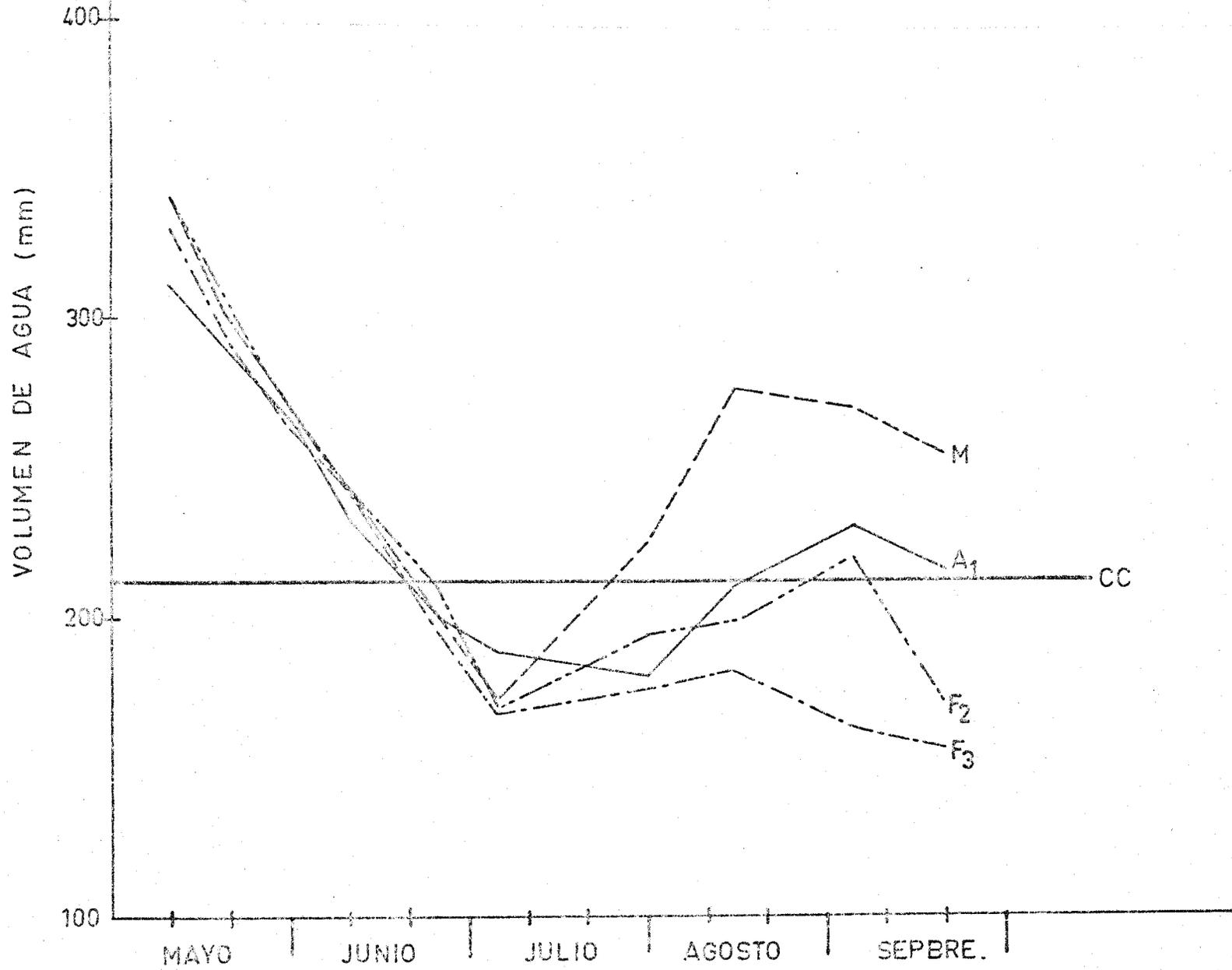
TABLA XXVI

Fecha y cuantía del agua aplicada a cada tratamiento ( mm )

FECHA	TRATAMIENTO			
	M	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
7-VI	75,0	60,0	75,0	-
3-VII	80,0	60,0	80,0	80,0
10-VII	80,0	60,0	80,0	80,0
17-VII	80,0	60,0	80,0	80,0
24-VII	80,0	60,0	-	-
31-VII	80,0	60,0	-	-
7-VIII	75,0	55,0	75,0	75,0
14-VIII	70,0	50,0	-	-
21-VIII	70,0	50,0	-	-
TOTAL	690,0	515,0	390,0	315,0

Como puede observarse, y debido a las condiciones meteorológicas reinantes, no fué posible, tampoco en ésta experiencia, mantener la restricción de agua posteriormente a la fructificación, en los tratamientos F<sub>2</sub> y F<sub>3</sub>, por lo que fué preciso suministrarles un riego adicional en los primeros días del mes de agosto.

Fig. III. 13 Evolución del contenido de humedad del suelo a lo largo de la experiencia en los distintos tratamientos experimentales. (CC, capacidad de campo).



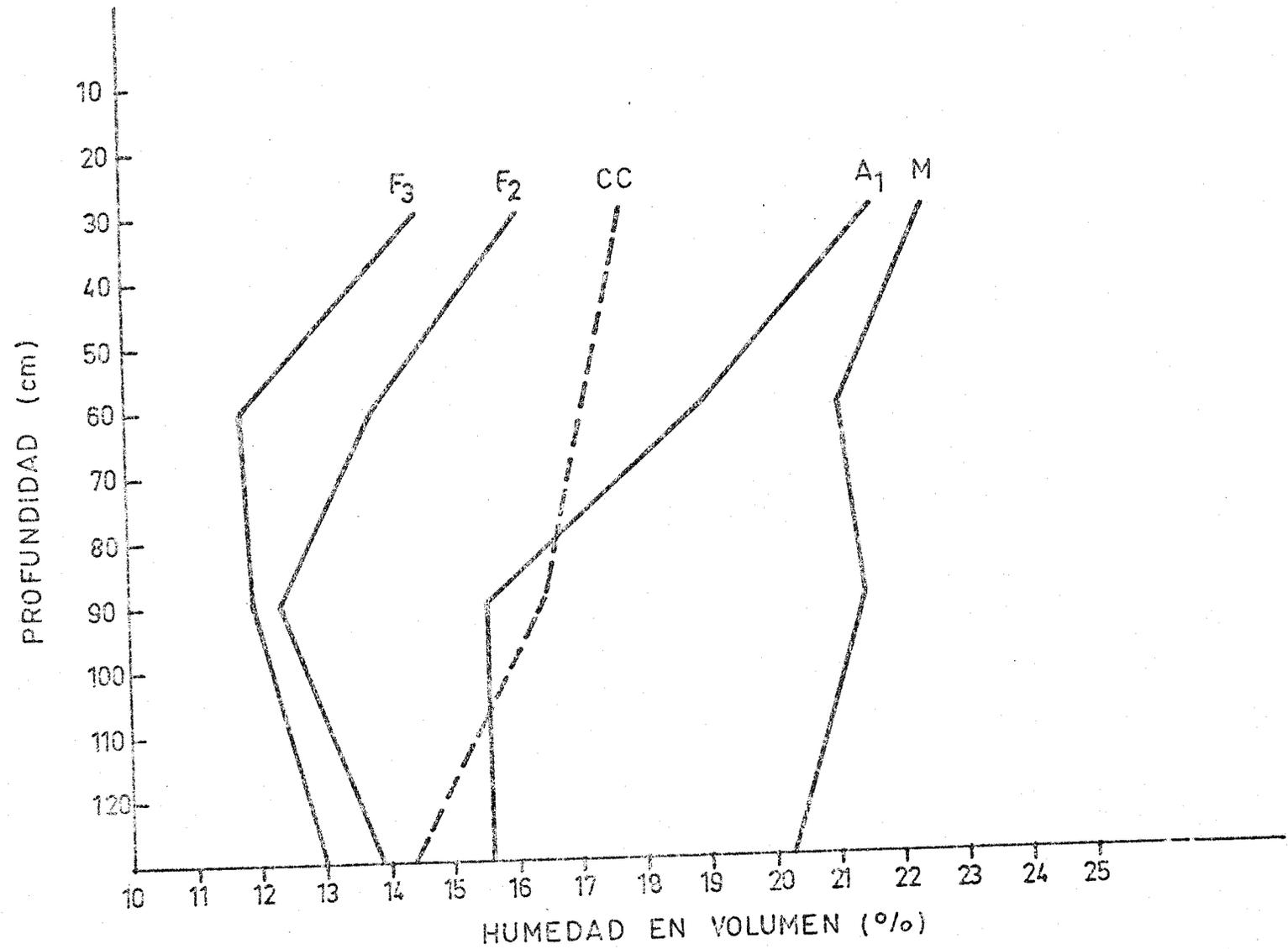
La aplicación de éstos volúmenes de agua a los tratamientos respectivos determinó lógicamente un estado de humedad del perfil diferente para cada uno de ellos.

En la Fig. III.13. se puede observar la variación del contenido de humedad del suelo hasta una profundidad de 120 cm determinada con la sonda de neutrones en cada tratamiento, durante los meses que fueron regados.

Se puede apreciar en ella, como los volúmenes de agua suministrados a las parcelas  $F_2$  y  $F_3$  no consiguen a partir de mediados de julio alcanzar el nivel de la capacidad de campo, (214mm) estando pues el agua en el suelo sometida, en estos casos, a tensiones inferiores a -0,3 bar que va a repercutir desfavorablemente como se verá a continuación en la producción, y como ya tuvimos ocasión de señalar en el capítulo primero.

Hemos de señalar, por otro lado, que el estado de humedad del perfil a la recolección mostraba una mayor sustracción de la reserva hídrica del suelo en las parcelas con aportes hídricos inferiores (tratamientos  $F_2$  y  $F_3$ ). De esta situación da cuenta la Fig. III.14. en la que se aprecia como los tratamientos se

Fig. III. 14 Situación de la humedad en los perfiles de suelos correspondientes a distintos niveles experimentales en el momento de la recolección. (CC, capacidad de campo).



ñalados se sitúan en niveles de humedad inferiores a la referida capacidad de campo.

En cuanto a la evapotranspiración del cultivo, en la tabla XXVII aparecen los valores de la misma registrados en el li-símetro, junto con los volúmenes de agua aplicados a los tratamientos M y A<sub>1</sub>.

Un hecho de importancia es el que se deduce de la observación comparada de los perfiles correspondientes a los distintos tratamientos. Los tratamientos F<sub>2</sub> y F<sub>3</sub> han supuesto una substracción superior a la de los otros dos, lo que indica que la planta ha tenido necesidad imperiosa de compensar de alguna manera el déficit a que se le ha sometido, a pesar de haber estado provista de agua abundantemente hasta floración, y de haber recibido unos riegos de emergencia con posterioridad.

TABLA XXVII

Valores de la evapotranspiración registrada en el lisímetro, y volúmenes de agua aplicada a los tratamientos M y A<sub>1</sub>.

PERIODO	ETP (mm/día)	M (mm)	A <sub>1</sub> (mm)
Mayo 20-31	1,5	-	-
Junio 1-10	3,5	-	-
11-20	3,7	75,0	60,0
21-30	2,7	-	-
Julio 1-10	10,5	160,0	120,0
11-20	10,9	155,0	120,0
21-31	10,7	155,0	115,0
Agosto 1-10	6,3	75,0	50,0
11-20	3,4	70,0	50,0
Sub total	647,9	690,0	515,0
Precipitación (mm)	-	177,9	177,9
TOTAL	647,9	867,9	692,9

El nivel máximo de evapotranspiración registrado fué, como puede observarse, de 10,9 mm/día ocurrido en la segunda - quincena del mes de julio. Por otro lado, los volúmenes totales (precipitación más riego) de agua recibidos por los tratamientos M y A<sub>1</sub> supusieron respectivamente el 134 y 106% del volúmen total evapotranspirado.

III.3.3.1.4 Análisis de la producción

El peso del grano, seco al aire, en las condiciones normales de comercialización (humedad < 16%), en las distintas parcelas experimentales está reflejado en la tabla XXVIII.

TABLA XXVIII  
Peso de grano seco, (Kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	M	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
I	9.532	7.502	6.222	4.900
II	8.167	8.267	6.057	4.143
III	8.567	8.123	5.248	4.160
IV	8.788	7.644	5.973	3.840
MEDIA	8.764	7.884	5.875	4.261

Significación entre tratamientos:

(5%)  
M A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>3</sub>

(1%)  
M A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>3</sub>

Como puede fácilmente observarse, la producción aumenta desde el nivel  $F_3$  al M. Las diferencias encontradas entre cada par de valores fueron significativas excepto entre M y  $A_1$  (al nivel 1%). Por otro lado, en el tratamiento  $A_1$  se obtuvo una producción similar a la conseguida en este mismo nivel en la experiencia anterior.

Las producciones en los tratamientos  $F_2$  y  $F_3$  fueron significativamente diferentes entre sí y del orden del 74 y 54% respectivamente de la del tratamiento  $A_1$ , lo que pone de manifiesto, como ya comentábamos en la experiencia anterior, el efecto negativo que sobre la producción final ocasiona en nuestras condiciones una restricción de agua en los periodos posteriores a la fructificación.

Como en años anteriores, aparte del efecto del riego sobre la cuantía de la producción se han analizado otras características de la misma, tales como el peso del fruto, el número de mazorcas por plantas y el contenido en proteína del grano.

Con respecto al primer análisis mencionado, el aporte diferencial de agua se tradujo en diferencias en el peso del fruto

en cada uno de los niveles ensayados.

La tabla XXIX recoge los resultados correspondientes al peso de cien frutos en cada parcela.

TABLA XXIX  
Peso de 100 frutos (g)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	M	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
I	27,6	19,8	19,3	21,4
II	23,3	27,6	23,6	17,2
III	25,1	27,3	18,1	18,3
IV	27,4	24,8	19,9	12,4
MEDIA	25,8	24,8	20,2	17,3

Significación entre tratamientos:

(5%)  
 $\underline{\underline{M \ A_1 \ F_2 \ F_3}}$

(1%)  
 $\underline{\underline{M \ A_1 \ F_2 \ F_3}}$

Como en el caso de la producción, los tamaños aumentan en el sentido F<sub>3</sub> - M, si bien no de una manera tan manifiesta.

Comparando los resultados de este análisis con los anteriores, se observa que el grado de significación entre tratamien-

tos es inferior. Solo mantienen su diferencia significativa al nivel del 1% los tratamientos M y F<sub>3</sub>.

En cuanto al número de infrutescencias por planta, la tabla XXX recoge los datos correspondientes según conteo realizado en cada una de las parcelas experimentales.

TABLA XXX  
Número de mazorcas / planta

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	M	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
I	1,07	0,97	0,97	0,97
II	0,99	1,00	0,90	0,90
III	0,89	0,94	0,89	0,99
IV	0,98	0,83	1,03	0,79
MEDIA	0,98	0,94	0,95	0,91

Vuelve a aparecer sobre este parámetro de la producción, la variabilidad ya comentada en experiencias anteriores, y como el mayor cociente se encuentra en el nivel de máxima humedad.

Podemos pues admitir una vez más, pues, que el nivel de significación encontrado en la producción se debe al efecto com-

binado al tamaño del fruto con el del número de infrutescencias por planta.

En cuanto al análisis de la calidad del fruto en lo que a contenido de proteína se refiere, la Fig. III.15. refleja esquemáticamente los resultados medios obtenidos por cada nivel experimental.

Puede observarse como el contenido porcentual de proteína es prácticamente el mismo en todos los niveles, lo que se traduce en que la producción en términos de proteína por parcela experimental sigue paralela a la de peso de grano seco recolectado, esto es, que disminuye del tratamiento M al  $F_3$ .

Estos resultados son similares a los obtenidos en experiencias anteriores.

Por último, y refiriéndonos a la rentabilidad del agua aplicada, la tabla XXXI recoge los valores correspondientes a cada tratamiento y bloque.

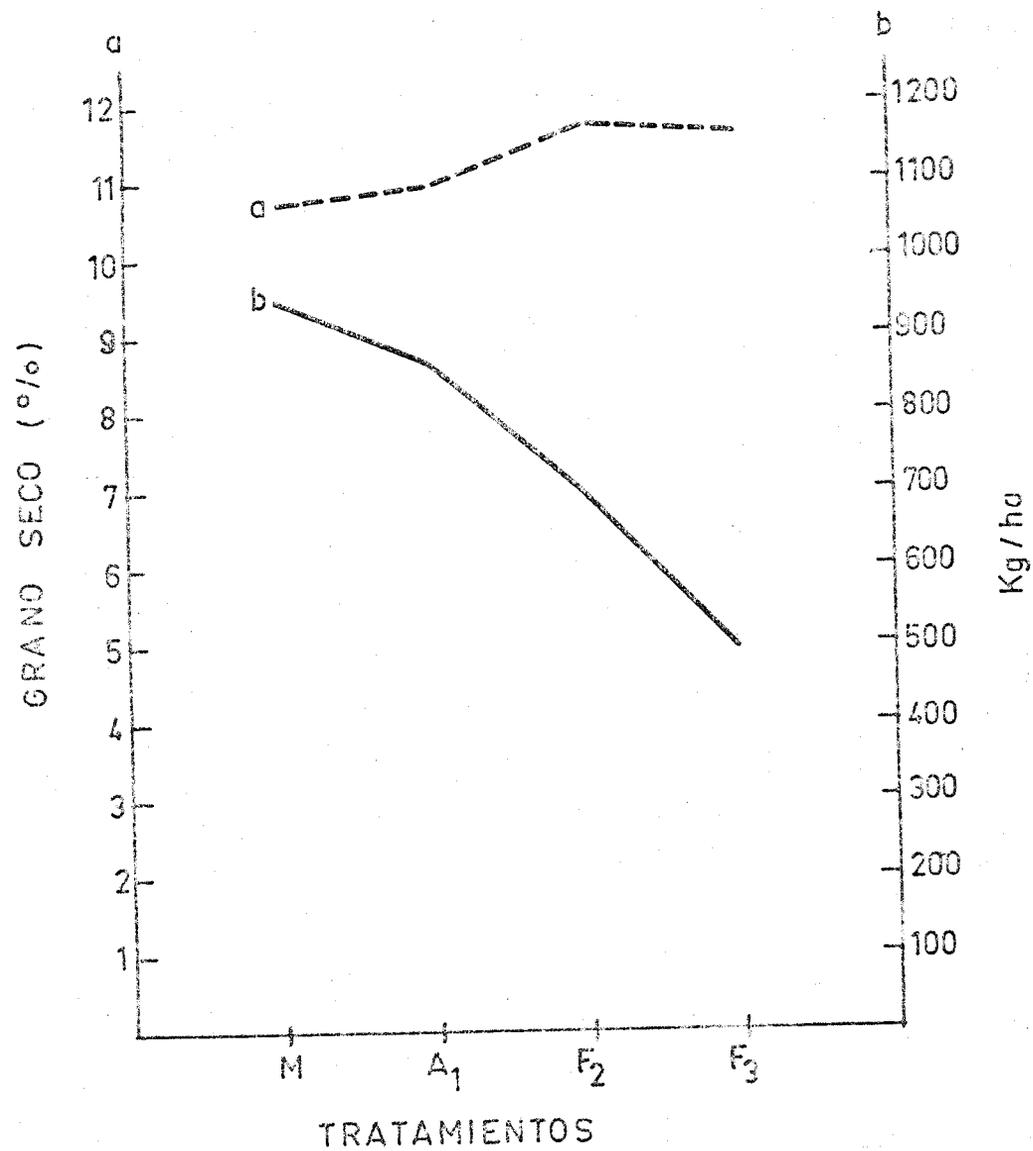


Fig. III. 15 Contenido en proteína por unidad de área y por peso de grano seco.

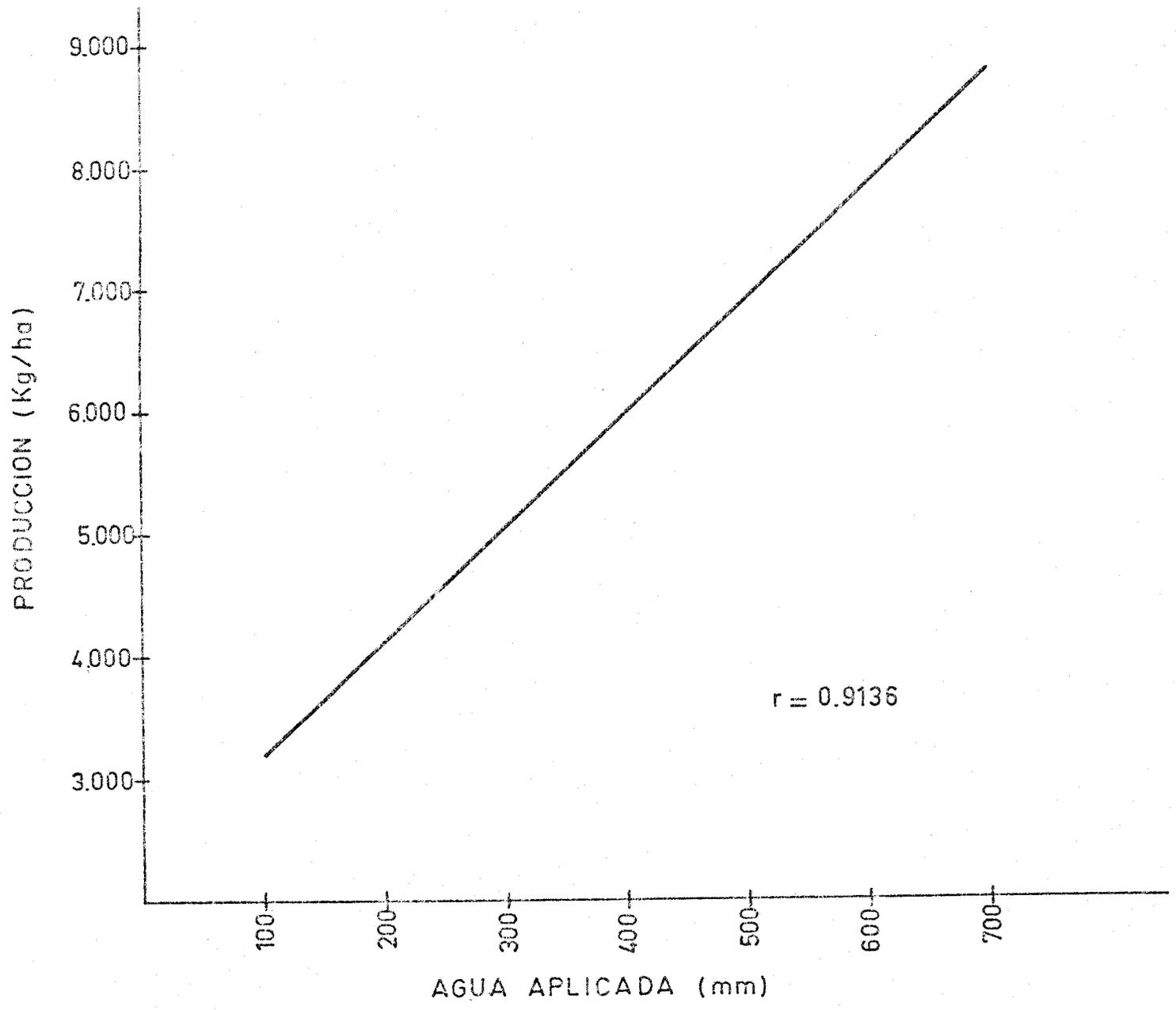
TABLA XXXI

Rentabilidad del agua aplicada ( $\text{g/m}^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	M	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
I	1.381	1.457	1.595	1.555
II	1.184	1.605	1.553	1.315
III	1.241	1.578	1.345	1.321
IV	1.274	1.484	1.532	1.219
MEDIA	1.270	1.531	1.506	1.352

De la observación de esta tabla se deduce que el tratamiento A<sub>1</sub>, con una rentabilidad media de  $1.531 \text{ g/m}^3$  es el más eficiente.

Finalmente, la FigIII.16 muestra la línea de regresión entre agua aplicada y producción conseguida en cada tratamiento.



### III.3.3.2. Efectos de diferentes niveles de riego y de la variedad.

Complementando la experiencia anterior, se llevó a cabo, en la campaña de 1974, un estudio comparativo del comportamiento de las variedades de maiz E-10, E-22 y FUNK`SG-4680, bajo dos tratamientos diferenciales de aplicación de agua.

#### III.3.3.2.1. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas.

La fecha de siembra fué el 23 de abril y se realizó a razón de 20 kg/Ha de semilla. La recolección tuvo lugar el 20 de septiembre.

La fertilización total recibida por las parcelas fué similar a las experiencias anteriores, esto es, 190 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 180 unidades de potasio por hectárea.

Las plantas fueron también tratadas con el antiparasitario Endrin granulado al 2%.

La floración tuvo lugar de manera muy uniforme en las variedades objeto del estudio, produciéndose en los días 13 al 16 de julio.

### III.3.3.2.2 Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados

Los tratamientos de riego ensayados en esta experiencia fueron idénticos a los correspondientes de máxima aplicación de agua de la experiencia anterior, es decir:

M : Suministrar un volumen de agua equivalente al 130% de la pérdida por evapotranspiración potencial, registrada en el lisímetro.

A<sub>1</sub> : Suministrar un volumen de agua equivalente (100%) a la pérdida por evapotranspiración potencial.

Estos tratamientos supusieron un volumen total de agua (suministrado en 9 aplicaciones) de 690 y 515 mm respectivamente. Puede, pues, considerarse también similar, en este caso, el estado de humedad del perfil para estos tratamientos, como ya quedó reflejado en la Fig.III.13.

Los niveles de riego utilizados en esta experiencia se repitieron en dos bloques al azar, en un suelo con idénticas características al de la experiencia anterior.

#### III.3.3.2.3 Análisis de la producción

El peso de grano seco, en condiciones normales de comercialización, alcanzado en los dos tratamientos de riego ensayados, queda reflejado en la tabla XXXII, para las variedades estudiadas.

TABLA XXXII

Peso de grano seco (Kg/Ha)

TRATA- MIENTO.	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	10.139	9.028	6.806	
	II	10.000	9.028	8.056	
	MEDIA	10.070	9.028	7.431	8.764
A <sub>1</sub>	I	6.666	6.944	7.222	
	II	6.806	9.722	7.305	
	MEDIA	6.736	8.333	7.264	7.884

Con el objeto de conseguir una comparación más amplia - entre el comportamiento de las variedades, se incluye en la tabla precedente y en las que siguen, los resultados medios correspondientes a la variedad Pioneer 309 B, de la experiencia anterior, pues como se recordará, los tratamientos de riego considerados -- fueron idénticos para ambas experiencias.

Como se aprecia en la tabla XXXII las producciones au-  
mentan en todos los casos en el tratamiento de máxima aplicación  
de agua. Sin embargo, las reducciones observadas en el tratamien-  
to de menor aplicación son de magnitudes diferentes para cada va-  
riedad.

Estas reducciones se hacen más notables en el híbrido E-10, en el que llega a ser de un 33%, mientras que el híbrido E-22 experimenta bajo las mismas circunstancias una reducción de la producción de solo el 8%. En Pioneer 309 B y Funk'sg 4680 disminuye la producción en un 10 y un 23% respectivamente.

Además del efecto del riego en la cuantía de la producción se han estudiado distintos aspectos de la misma, como, peso del fruto, número de infrutescencias por planta, peso de materia seca conseguido, y contenido de proteínas y riqueza grasa del grano, estos dos últimos, en cuanto al análisis de la calidad del producto cosechado se refiere.

Con respecto al primero de los análisis mencionado, la tabla XXXIII recoge los datos correspondientes al peso de 100 frutos en cada tratamiento y variedad ensayada.

TABLA XXXIII

Peso de 100 frutos (g)

TRATA- MIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	27,1	28,2	21,3	
	II	28,5	28,8	18,1	
	MEDIA	27,8	28,5	19,7	25,8
A <sub>1</sub>	I	26,1	26,8	18,7	
	II	24,1	28,5	18,5	
	MEDIA	25,1	27,6	18,6	24,8

Como en el caso de la producción, los tamaños del fruto aumentan en el tratamiento de máxima humedad, pero no de una manera tan específica.

Es interesante observar cómo la variedad FUNK'SG 4680 - posee los frutos de menor tamaño, pero es, junto con Pioneer 309 B la que presenta menos variación, en éste aspecto, al descender - el nivel de humedad en el suelo (tratamiento A<sub>1</sub>).

En cuanto al número de mazorcas por planta, la tabla XXXIV reúne los datos correspondientes a cada variedad y tratamiento en

sayado según conteo realizado en las parcelas experimentales.

TABLA XXXIV

Número de mazorcas/planta

TRATA- MIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	1,06	0,84	0,89	
	II	0,96	0,88	0,87	
	MEDIA	1,01	0,86	0,88	0,98
A <sub>1</sub>	I	0,88	0,76	0,78	
	II	0,80	0,87	0,76	
	MEDIA	0,84	0,82	0,77	0,94

Se observó, como ya hemos comentado en ocasiones anteriores, un aumento en el cociente mazorcas/plantas en el tratamiento de máxima humedad.

Como puede apreciarse, los diferentes tratamientos de riego, afectaron de manera distinta a cada una de las variedades estudiadas, si bien parece ser, que el híbrido E-10 es también en esta ocasión, el más afectado en la reducción del número de infrutescencias por planta cuando disminuye la humedad disponible en el perfil del suelo.

Otro aspecto importante en la producción del cultivo, - es el peso de materia seca producida en los distintos tratamien-  
tos de riego.

La tabla XXXV recoge a este respecto los pesos medios de materia seca (sin contar la producción, es decir sólo peso de hojas, tallo y raíces) producida por milímetro de agua aplicada - en cada nivel experimental.

TABLA XXXV

Peso medio de materia seca producida sin contar la producción de grano (mg/mm).

TRATAMIENTO	VARIEDAD			
	E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	326	308	198	480
A <sub>1</sub>	267	267	128	386

Como se observa, existió una incidencia manifiesta del - nivel de humedad del suelo en la producción de materia seca de -  
cada una de las variedades probadas.

Por lo que se refiere a la calidad del producto cosecha

do, estimamos de interés en esta experiencia comparativa de variedades, analizar el efecto que sobre el contenido de proteínas y riqueza grasa del grano ocasiona el establecimiento de diferentes niveles de aplicación de agua. Así, en la tabla XXXVI pueden observarse los resultados correspondientes al análisis del contenido de proteínas del grano para cada nivel experimental.

TABLA XXXVI  
Contenido de proteína (%)

TRATAMIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK 'SG	PIONEER
M	I	13,1	12,3	11,6	
	II	11,9	11,7	11,7	
	MEDIA	12,5	12,0	11,7	10,7
A <sub>1</sub>	I	13,3	11,6	11,8	
	II	12,5	11,6	12,6	
	MEDIA	12,9	11,6	12,2	10,9

Como se aprecia no parece que exista en el contenido de proteína del grano una variación efectiva debida al tratamiento diferencial de riego, pero si es posible que en éste aspecto, se repare genéticamente la variedad Pioneer 309 B del resto de las

comparadas, dado su menor contenido proteínico del grano. Esta diferencia también se hace notable al comparar la producción en términos de proteína por hectárea, ya que influye en esta expresión, además, el efecto ya discutido de la restricción de humedad sobre la producción del grano.

TABLA XXXVII

Producción de proteína (Kg/Ha)

TRATAMIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	1.328	1.110	789	
	II	1.190	1.056	943	
	MEDIA	1.259	1.083	866	936
A <sub>1</sub>	I	887	806	803	
	II	851	1.128	1.015	
	MEDIA	869	967	909	860

En cuanto al último de los análisis practicados, la tabla XXXVIII refleja el contenido porcentual de aceite del grano para las variedades comparadas.

TABLA XXXVIII  
Riqueza grasa del grano (%)

TRATA- MIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	6,2	6,4	6,3	
	II	6,1	6,4	6,8	
	MEDIA	6,2	6,4	6,6	5,4
A <sub>1</sub>	I	5,7	6,2	6,5	
	II	6,1	6,4	6,4	
	MEDIA	5,9	6,3	6,0	5,4

Tampoco en la riqueza grasa del grano, parece ser que exista una influencia clara de los tratamientos diferenciales de riego. Aunque si se observa una ligera tendencia a aumentar en el nivel de máximo aporte hídrico.

Al igual que en el contenido de proteínas, los datos obtenidos de riqueza grasa de la variedad Pioneer 309 B hacen pensar en la existencia de un efecto varietal en el contenido graso del grano. También estas diferencias se ponen de manifiesto si comparamos finalmente la producción obtenida en términos de aceite por hectárea.

TABLA XXXIX

Producción de aceite (Kg/Ha)

TRATA- MIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	629	578	429	
	II	610	578	548	
	MEDIA	620	578	489	470
A <sub>1</sub>	I	380	431	469	
	II	415	622	232	
	MEDIA	398	527	351	425

Finalmente, la tabla XL recoge los datos correspondientes a la rentabilidad del agua aplicada.

TABLA XL

Rentabilidad del agua aplicada (g/m<sup>3</sup>)

TRATA- MIENTO	BLOQUE	VARIEDAD			
		E-10	E-22	FUNK'SG	PIONEER
M	I	1.469	1.308	986	
	II	1.449	1.308	1.167	
	MEDIA	1.459	1.308	1.076	1.270
A <sub>1</sub>	I	1.294	1.348	1.402	
	II	1.320	1.887	835	
	MEDIA	1.307	1.617	1.118	1.531

Como puede observarse, el tratamiento A<sub>1</sub> fué el más eficiente, excepto para el híbrido E-10, debido a la alta producción alcanzada por éste en el tratamiento de máxima aplicación de agua.

### III.4 EXPERIENCIAS CON PLANTAS DE GIRASOL

Los resultados realizados con plantas de girasol comprenden, al igual que los realizados con plantas de maíz, tres aspectos fundamentales: 1) la determinación del régimen de aplicación del agua conducente a un óptimo de producción y la cuantificación del efecto sobre ésta de regímenes preestablecidos que se apartan de la aplicación ideal, 2) la valoración del efecto comparativo de aplicaciones realizadas en distintos periodos del ciclo biológico, y 3) la comparación entre variedades.

Al primer aspecto, responden las experiencias del año 1973. Al segundo, las realizadas en 1973, 1974, y al tercero las llevadas a cabo en éste último año.

#### III.4.1 Experiencias realizadas en la campaña de 1973

##### III.4.1.1. Efectos de diferentes niveles de riego

El propósito de ésta primera experiencia era determinar el efecto de diferentes regímenes de aplicación de agua sobre la producción y riqueza grasa de un cultivo de girasol, (de la varie

dad Peredovick) con un diseño basado en la evapotranspiración potencial del cultivo.

#### III.4.1.1.1 Características climatológicas del periodo experimental.

Las características climatológicas existentes durante el periodo experimental se encuentran resumidas en la tabla XIX. De la observación de la misma se deduce que el promedio de la temperatura del aire durante este periodo varió de 10,4 a 27,2° C, - la humedad relativa media se mantuvo entre el 40 y el 69%, la radiación solar media osciló desde 298 a 690 cal/cm<sup>2</sup>/día; las velocidades mínima y máxima del viento registradas fueron 0,90 y 1,87 m/seg y el total de precipitación durante el periodo considerado fué de 146,2 mm.

#### III.4.1.1.2 Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

Todas las parcelas y tanques de evapotranspiración fueron sembrados el 24 de marzo y recolectados el 27 de agosto. La densidad utilizada fué equivalente a 60.000 plantas por hectárea.

Antes de la siembra fueron abonadas a razón de 60 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 120 unidades de potasio, por hectárea, y aproximadamente un mes después, fueron nuevamente abonadas con 116 unidades de nitrógeno por hectárea suministradas en dos aplicaciones.

La nascencia se produjo el día 2 de abril, en buenas condiciones. El inicio de floración tuvo lugar el 6 de junio, alcanzándose la plena floración el día 15 del mismo mes.

#### III.4.1.1.3 Tratamiento de riego y volúmenes de agua aplicadas

Los tratamientos de riego ensayados en esta experiencia fueron los siguientes:

A<sub>1</sub>: Consistente en suministrar una cantidad de agua equivalente a la pérdida por evapotranspiración potencial (ETP) registrada en los lisímetros tipo Thorntwaite.

B<sub>1</sub>: Consistente en suministrar una cantidad de agua equivalente al 75% del volumen aplicado en el trata-

miento  $A_1$  y durante los mismos periodos de tiempo.

$C_1$ : Consistente en una cantidad de agua equivalente al 50% del volumen aplicado en el tratamiento  $A_1$  durante los mismos periodos de tiempo.

S: Sin riego. Estas plantas crecieron dependiendo exclusivamente de la precipitación.

La tabla XLI recoge el régimen de aplicación de agua, con expresión de las fechas y volúmenes suministrados a los tratamientos  $A_1$ ,  $B_1$  y  $C_1$ , respectivamente.

Como puede observarse en la tabla XIX las precipitaciones registradas durante los meses que duró la experiencia proporcionaron aproximadamente solo la quinta parte del volumen total de agua evapotranspirado por el cultivo, lo cual evidencia la necesidad de establecer un criterio racional de aplicaciones artificiales de agua al cultivo de girasol, sobre todo, en aquellos años de escasa pluviometría invernal cuando la reserva del suelo no pueda aportar un volumen considerable de agua a la planta, muy particularmente en los momentos de máxima demanda hídrica.

TABLA XLI

Fecha y cuantía del agua aplicada (mm)

FECHAS	TRATAMIENTOS		
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
30-V	80,0	60,0	40,0
9-VI	80,0	60,0	40,0
15-VI	70,0	53,0	35,0
22-VI	80,0	60,0	40,0
30-VI	80,0	60,0	40,0
7-VII	80,0	60,0	40,0
14-VII	80,0	60,0	40,0
21-VII	80,0	60,0	40,0
30-VII	80,0	60,0	40,0
4-VIII	70,0	52,0	35,0
TOTAL.-	780,0	585,0	390,0

En la tabla XLII se recogen los datos correspondientes a la distribución de agua aplicada en el tratamiento  $A_1$  y los valores de la evapotranspiración potencial registrada en el lisímetro, así como la evaporación de una superficie de agua libre en un tanque U.S.W.B. pan A.

El nivel máximo de evapotranspiración registrado por -- plantas de girasol en condiciones potenciales de agua fué observado en los últimos diez días de junio, alcanzando 13,8 mm diarios. Un 20% del volúmen total evapotranspirado ocurrió en la primera -- fase de crecimiento, el 54% en el periodo de floración a la forma-- ción de las semillas, y el 26% restante durante la maduración. Es-- tos resultados son comparables a los obtenidos por Milic (1967) -- con la variedad VNIIMR 9345.

Es muy interesante observar en la tabla, la evolución -- del cociente ETP/PAN que, como se aprecia, alcanza valores cercanos a la unidad en los momentos de máxima demanda.

El total para el coeficiente que relaciona ambas, 0,68, está de acuerdo con los valores encontrados en la bibliografía, -- que, como se recordará, oscila de 0,6 a 1,1, dependiendo del lu--

TABLA XLIII

Distribución del agua aplicada al tratamiento A<sub>1</sub>, y valores de la evapotranspiración potencial del cultivo y de la evaporación de una superficie de agua libre

FECHAS	Aporte (1) (mm)	ETP (2) mm. día <sup>-1</sup>	EVP (3) mm. día <sup>-1</sup>	Cociente ETP/EVP (4)
Abril 1-10	-	-	4,3	-
11-20	-	1,1	5,9	0,18
21-30	-	1,1	4,9	0,22
Mayo 1-10	-	2,3	4,7	0,50
11-20	70	3,1	6,7	0,46
21-31	80	5,8	10,4	0,56
Junio 1-10	80	10,3	11,4	0,90
11-20	70	10,2	9,0	1,13
21-30	120	13,8	11,6	1,19
Julio 1-10	120	13,6	11,4	1,19
11-20	80	12,1	10,6	1,14
21-31	80	11,6	13,8	0,84
Agosto 1-10	80	5,0	13,4	0,37
11-20	-	1,2	10,6	0,11
Sub total	780	929,4	1.341,7	0,68
Precipitación	146,2	-	-	-
TOTAL	926,2	929,4	1.341,7	0,68

- 1: Agua suministrada a las parcelas control (A<sub>1</sub>) para reponer las pérdidas de 2
- 2: Agua utilizada, medida diariamente en los lisímetros
- 3: Evaporación de una superficie de agua libre (U.S.W.B. pan A)
- 4: Relación ETP/EVP

gar y emplazamiento del tanque evaporímetro.

En la Fig III.17 se presenta la evolución de la evapotranspiración potencial del cultivo, obtenida en los lisímetros, y la calculada por los métodos empíricos de Thornthwaite y Penman, así como también el aporte hídrico acumulativo recibido en el tratamiento  $A_1$ .

Nótese que existió una diferencia apreciable entre los valores de aquella característica, utilizando el método de Penman, y los valores experimentales obtenidos. El volumen teórico supuso sólo un 72% del real registrado.

#### III.4.I.1.4 Análisis de la producción

El peso de semillas obtenido, en condiciones normales de comercialización, en cada una de las parcelas experimentales, está reflejado en la tabla XLIII.

Fig.III.17 Volumen total de agua suministrado al tratamiento control, y volúmenes de evapotranspiración potencial total registrada en el lisímetro y calculada por las fórmulas empíricas de Thornthwaite y Penman.

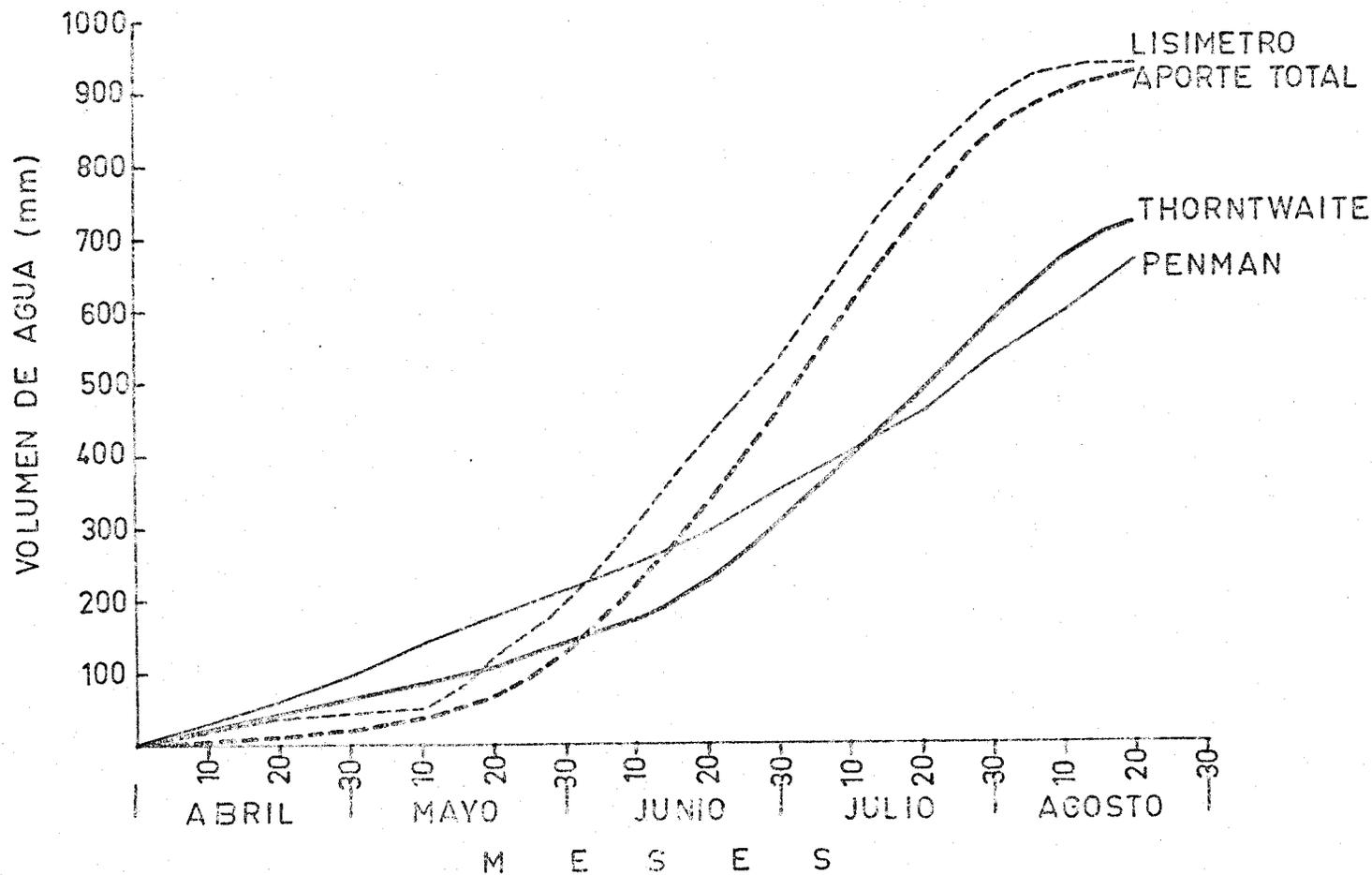


TABLA XLIII

Peso de de semilla (kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	3.953	3.087	3.045	2.265
II	3.245	2.686	2.952	2.250
III	3.412	3.581	2.866	2.491
IV	3.262	3.186	3.157	2.060
MEDIA	3.468	3.135	3.005	2.266

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

(1%)  
A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

Como puede observarse, las producciones aumentan en el sentido de los tratamientos de máxima aplicación de agua. Con los regímenes de riegos ensayados en esta experiencia, que supu-

sieron aplicar, como ya mencionamos, volúmenes equivalentes al 100%, 75%, 50% y 0% de los valores arrojados por el evapotranspirómetro se consiguieron unas producciones respectivas del 100%, 90%, 86% y 65%.

Es muy importante hacer notar el hecho de que las diferencias encontradas en las producciones entre los dos niveles de máxima aplicación de agua ( $A_1$  y  $B_1$ ), no hayan sido significativas ni al nivel de probabilidades del 5%. Esto supone admitir que la aplicación de un volumen de agua equivalente al 75% de la cantidad total evapotranspirada por el cultivo no reduce significativamente su producción.

Sin embargo, la reducción observada en las producciones de los restantes tratamientos,  $C_1$  y  $S$ , con respecto al de máxima aplicación, fué el resultado de un efecto combinado de reducciones en el tamaño de la inflorescencia o capítulo y peso unitario de la semilla, como consecuencia de la falta de agua mantenida principalmente en las parcelas del tratamiento  $S$ . Los resultados encontrados -- sobre ambos parámetros de la producción se expresan en las tablas -- XLIII y XLIV, respectivamente.

TABLA XLIII

Diámetro de inflorescencia (cm)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	16,0	17,0	14,9	12,8
II	16,8	16,4	14,9	13,6
III	17,4	15,3	14,7	14,1
IV	16,6	15,2	15,0	13,6
MEDIA	16,7	15,9	14,8	13,5

Significación entre tratamientos

(5%)

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

(1%)

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

TABLA XLIV

Peso unitario del fruto (mg)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	89	76	70	67
II	87	80	75	58
III	88	83	90	63
IV	93	90	75	60
MEDIA	89	82	77	62

Significación entre tratamientos

(5%)				(1%)			
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
<hr/>				<hr/>			

Según muestran las tablas anteriores, los niveles de significación, para los distintos parámetros de la producción analizados, disminuyen (o incluso son nulos en casos) cuando se comparan entre sí los tratamientos de aportes hídricos intermedios B<sub>1</sub> y C<sub>1</sub>.

Las condiciones deficitarias de humedad mantenidas en el tratamiento S, ocasionan una reducción del 35% en la producción del cultivo con respecto a los tratamientos que no sufren falta de agua. La precipitación registrada durante el invierno, la buena capacidad de retención de agua del suelo, el gran desarrollo radicular, y el sistema de control biológico del flujo interno de la planta son los factores determinantes de la respuesta comentada de las plantas de girasol a condiciones de aridez.

En cuanto a la calidad del producto cosechado, las tablas XLV y XLVI recogen, respectivamente, los resultados encontrados sobre el porcentaje de pericarpio o cáscara y la riqueza grasa de la semilla.

TABLA XLV

Cantidad de cáscara de la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	22,6	50,0	43,3	35,8
II	34,6	42,0	40,2	35,5
III	28,4	29,5	33,5	34,0
IV	33,4	27,2	34,3	32,0
MEDIA	29,8	37,2	37,8	34,3

No existe significación

TABLA XLVI

Riqueza grasa de la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	49,8	47,6	46,8	44,9
II	44,9	47,3	47,5	40,0
III	47,7	47,6	47,3	42,5
IV	48,8	46,4	47,8	41,9
MEDIA	47,8	47,2	47,3	42,3

Significación entre tratamientos

(5%)

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

(1%)

A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> C<sub>1</sub> S

Es muy importante destacar, según se aprecia en las tablas precedentes, que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, en cuanto al porcentaje de cáscara de la semilla. Sin embargo, en el contenido porcentual de aceite de la misma, aparecieron diferencias significativas al nivel de probabilidad del 1%, entre los tratamientos que recibían algún aporte artificial de agua ( $A_1$ ,  $B_1$  y  $C_1$ ) y el de secano (S).

A la vista de los resultados discutidos, y refiriéndonos finalmente a la rentabilidad del agua aplicada, es importante señalar, como se muestra en la tabla XLVII, los valores alcanzados, correspondientes a cada nivel de riego. De la observación de la misma, se deduce una vez más, la capacidad productiva del girasol en regímenes de baja aplicación de agua, conocimiento de la máxima importancia para su cultivo en nuestra zona.

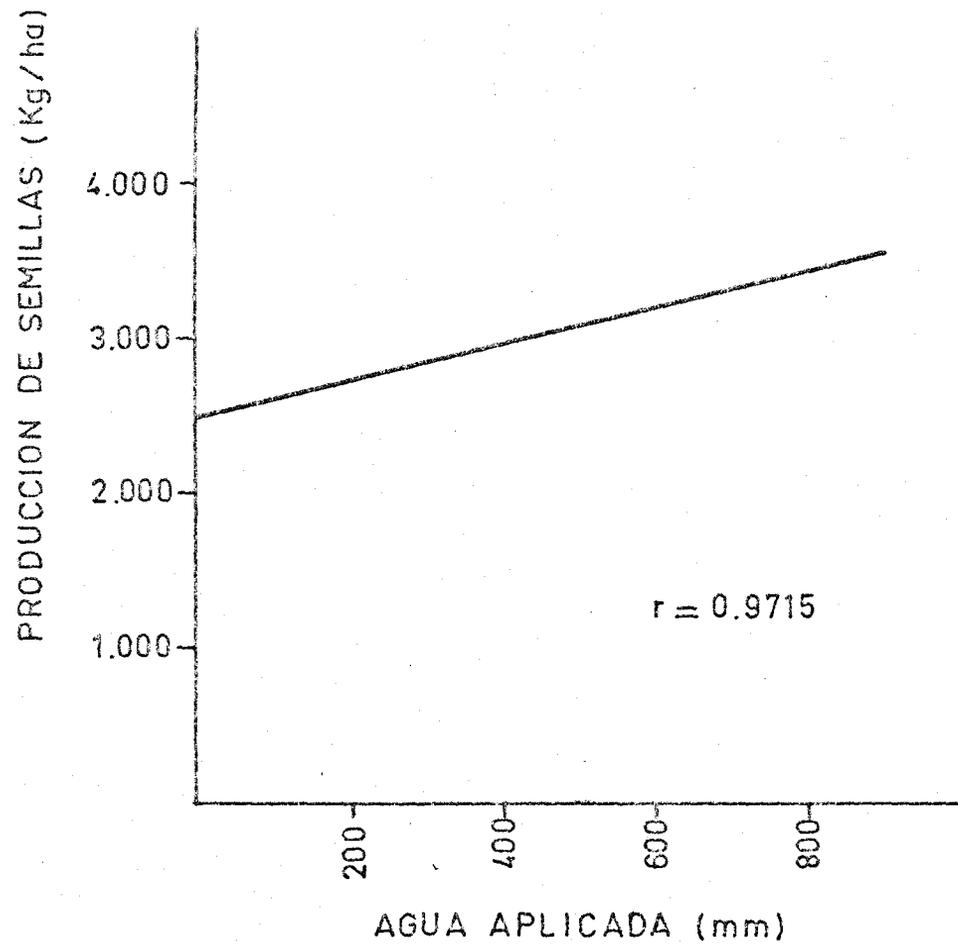
Finalmente, la Fig. III.18 representa la línea de regresión encontrada entre el riego suministrado y la producción alcanzada, en los diferentes tratamientos ensayados.

TABLA XLVII

Rentabilidad del agua aplicada ( $\text{g/m}^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	S
I	506	529	780	-
II	416	461	756	-
III	437	614	734	-
IV	418	546	809	-
MEDIA	444	537	769	-

Fig.III.18 Línea de regresión entre agua aplicada y producción alcanzada.



### III.4.1.2 Experiencias sobre el efecto de riegos suministrados en periodos críticos del crecimiento

El propósito de esta experiencia era detectar el efecto de aplicaciones diferenciales de agua suministradas al cultivo en los momentos de máxima demanda hídrica, esto es, de floración a madurez.

#### III.4.1.2.1. Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

La siembra se efectuó el 23 de marzo con una densidad aproximada de 60.000 plantas/Ha y la recolección el 28 de agosto.

Antes de la siembra, las parcelas fueron abonadas a razón de 60 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo, y 120 unidades de potasio, por hectárea, y aproximadamente un mes después, fueron nuevamente abonadas con 116 unidades de nitrógeno por hectárea, suministradas en dos aplicaciones.

La nascencia se produjo el día 1º de abril, en buenas condiciones. El inicio de floración tuvo lugar el 7 de junio, alcanzándose la plena floración el día 16 del mismo mes.

### III.4.1.2.2 Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados

Esta experiencia consistió en ensayar los siguientes -  
tratamientos de riego:

- $A_2$ : Control; consistente en suministrar durante todo el ciclo una cantidad de agua equivalente a la evapotranspiración calculada por el método de Penman. Estas parcelas fueron regadas 9 veces, con intervalos aproximados de siete días.
- $F_2$ : Consistente en suministrar cuatro riegos en el periodo comprendido desde 20 días antes hasta 10 días después de la floración, aplicando los mismos volúmenes para esos riegos que en el tratamiento control.
- $F_4$ : Consistente en suministrar dos riegos, el primero a la aparición del botón floral, y el segundo a capítulo abierto, con cantidades de agua para éstos riegos idénticas a las recibidas por las parcelas control.

S : Sin riego.

En la tabla XLVIII se relacionan los volúmenes de agua aplicados a cada uno de los tratamientos regados, con expresión de sus fechas respectivas.

TABLA XLVIII

Fechas y cuantía del agua aplicada (mm)

FECHAS	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	
30-5	50,0	50,0	50,0	
8-VI	60,0	60,0	-	
16-VI	60,0	60,0	-	
26-VI	60,0	60,0	60,0	
4-VII	60,0	-	-	
12-VII	50,0	-	-	
19-VII	60,0	-	-	
28-VII	60,0	-	-	
4-VIII	50,0			
TOTAL	520,0	230,0	110,0	

Como puede observarse, los tratamientos diferenciales - de riego comenzaron a finales del mes de mayo, pues la floración

se produjo en la segunda quincena de junio.

Las precipitaciones registradas durante el periodo experimental (véase tabla XIX ) supusieron en éste caso el 28% del volúmen suministrado al tratamiento control.

En la tabla XLIX se expresan los datos correspondientes a la distribución del agua aplicada en el tratamiento A<sub>2</sub>, y los valores de la evapotranspiración potencial registrada en el lisímetro y la calculada por la fórmula de Peman para el periodo experimental considerado.

Es interesante destacar en ésta tabla, la diferencia entre los valores experimentales obtenidos de la evapotranspiración y los determinados por el método empírico de Penman. La relación encontrada para ambos es de 0,73, durante el periodo total considerado, pero nótese que el coeficiente desciende a valores próximos a 0,60 en los momentos de máxima demanda hídrica, lo cual indica que, para nuestras condiciones, la fórmula de Penman no es muy apropiada, debido quizás a las elevadas temperaturas que se alcanza en los periodos estivales y a la escasa existencia de viento (véase tabla XIX ).

TABLA XLIX

Volúmenes de agua aplicados al tratamiento control, valores de la evapotranspiración, calculada por la fórmula de Penman, y valores experimentales obtenidos en el lisímetro

FECHAS	(1) Aporte total (mm)	(2) ET (mm/día)	(3) ETP (mm/día)	(4) ET/ETP
Abril 11-20	-	2,9	1,1	2,64
21-30	-	3,2	1,1	2,91
Mayo 1-10	-	3,6	2,3	1,56
11-20	-	3,4	3,1	1,09
21-31	50	4,1	5,8	0,71
Junio 1-10	70	5,9	10,3	0,57
11-20	70	6,4	10,2	0,63
21-30	70	6,6	13,8	0,48
Julio 1-10	70	6,7	13,6	0,49
11-20	70	6,5	12,1	0,54
21-31	70	6,4	11,6	0,55
Agosto 1-10	50	6,2	5,0	1,24
11-20	-	-	-	-
Sub total	520	672,8	917,4	0,73
Precipitación	146,2	-	-	-
TOTAL	666,2	672,8	917,4	0,73

- (1) Volúmenes de agua suministrados a las parcelas control.
- (2) ET: Valores medios de la evapotranspiración, calculada por el método de Penman.
- (3) ETP: Valores medios de la evapotranspiración, obtenidos en el lisímetro.
- (4) Relación ET/ETP.

III.4.1.2.3 Análisis de la producción

El peso de la semilla, en condiciones normales de comercialización, obtenido con la densidad de plantas utilizada, está reflejado en la tabla L, para las distintas parcelas experimentales.

TABLA L  
Peso de semilla (kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	2.783	2.647	2.406	2.071
II	3.290	3.060	2.456	1.614
III	3.007	2.725	2.478	1.613
IV	3.344	2.791	2.036	2.097
MEDIA	3.106	2.805	2.344	1.848

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

---

(1%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

---

Estas producciones significaron el 100%, 90%, 75% y 59%, respectivamente, en los tratamientos ensayados de máxima a ninguna

aportación artificial de agua. En ellos se pone de manifiesto, en primer lugar, el efecto de los cuatro riegos (tratamiento  $F_2$ ) suministrados en el periodo comprendido entre veinte días antes, a diez días después de la floración. Como se recordará, éste tratamiento supuso la aplicación de 230 mm, esto es, el 44% del volumen aportado al tratamiento  $A_2$ .

Las plantas que recibieron aproximadamente el 21% (tratamiento  $F_4$ ) del volumen total teórico evapotranspirado, y que fué suministrado en dos riegos dentro del periodo de floración a fructificación produjeron significativamente (nivel del 1%) menos cantidad de semillas que las parcelas control. En los tratamientos no regados, dependientes unicamente de la precipitación, se obtuvieron producciones significativamente inferiores a las correspondientes al nivel  $F_4$ .

Por último, las diferencias entre las producciones obtenidas fueron significativas al comparar las parcelas que recibieron 4 y 2 riegos en el periodo crítico (tratamientos  $F_2$  y  $F_4$  respectivamente).

Las reducciones observadas en las producciones de los

tratamientos de menos aporte hídrico, fueron el resultado de reducciones detectadas en los diámetros de la inflorescencia y pesos unitarios de la semilla como se pone de manifiesto en las tablas LI y LII.

Es interesante observar en estas tablas que las plantas con aportes hídricos inferiores producen significativamente menos cantidad de semillas, de menor peso y diámetro de inflorescencia inferiores que las plantas control, si bien las diferencias entre estos dos últimos parámetros siguen siendo no significativas entre los tratamientos de aportes hídricos intermedios ( $F_2$  y  $F_4$  respectivamente).

Tampoco se apreciaron diferencias significativas en los diámetros de inflorescencia y pesos unitarios de la semilla en las parcelas que recibieron dos riegos en el periodo floración a fructificación (tratamiento  $F_4$ ) y las cultivadas en la modalidad de secano (tratamiento S).

Nótese, por último, que el grado de significación entre -

TABLA LI

Diámetro de inflorescencias (cm)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	15,8	12,5	11,6	12,2
II	16,1	13,4	12,9	13,0
III	15,3	14,1	13,2	12,8
IV	15,1	14,4	13,2	12,8
MEDIA	15,5	13,6	12,7	12,7

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

(1%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

TABLA LII

Peso unitario de la semilla (mg)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	68	54	55	52
II	64	64	53	42
III	64	58	52	43
IV	77	61	49	50
MEDIA	68	59	52	46

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

(1%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

tratamientos alcanza el nivel de probabilidad del 1% cuando comparamos las producciones de semilla obtenidas y los pesos unitarios de la semilla. De ello se deduce que lógicamente la primera viene determinada por la segunda. Las diferencias son del mismo orden al comparar también los diámetros de las inflorescencias.

En cuanto a la calidad del producto cosechado, es importante destacar la incidencia de los riegos suministrados en fases críticas, en el porcentaje de cáscara del fruto y en el contenido porcentual de aceite. Los resultados encontrados para ambas se relacionan en las tablas LIII y LIV.

TABLA LIII  
Cantidad de cáscara en la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	45,0	42,4	40,3	42,5
II	39,0	44,0	32,2	48,7
III	41,1	30,4	41,0	42,5
IV	42,7	44,7	50,2	34,0
MEDIA	41,9	40,3	41,9	41,9

No existe significación

TABLA LIV

Riqueza grasa de la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	48,6	44,9	43,8	43,7
II	47,9	45,3	44,5	40,3
III	48,4	43,0	42,6	42,2
IV	46,8	42,3	43,1	40,4
MEDIA	47,9	43,8	43,5	41,6

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S  
-----

(1%)  
A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S  
-----

Es importante destacar que los tratamientos de riego en sayados en esta experiencia, no tuvieron incidencia alguna sobre el porcentaje de cáscara de la semilla. En cambio, el contenido porcentual de aceite de la misma vino significativamente disminuído en los tratamientos regados sólo durante la fase de floración-fructificación y en el de secano.

Según Vranceanu (1974) los riegos suministrados durante la floración afectan de una manera notable a la producción de semilla, pero la existencia de periodos deficitarios en humedad, posteriores a la floración, determinan reducciones apreciables en el contenido graso de la semilla.

Los resultados encontrados en nuestra experiencia, en este sentido (véanse tablas LIII y IV), están de acuerdo con lo comentado, cuando los riegos suministrados en la floración proporcionan un volumen aproximado del 44% de las necesidades teóricas de la planta. Pero indudablemente, el suministro de algún volumen artificial de agua durante la fase de floración, en nuestras condiciones, favorece una mayor síntesis de ácidos grasos, que en la ausencia de estos periodos húmedos, (obsérvese la significación entre tratamientos F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> y S en la tabla LIV )

El efecto, ya comentado, de los riegos suministrados en los periodos de floración, sobre la producción de semillas, se pone una vez más de manifiesto en la tabla LV donde se presenta la rentabilidad del agua aplicada en cada tratamiento. (Comparese tablas XLVII y LV).

TABLA LV

Rentabilidad del agua aplicada ( $\text{g/m}^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	$A_2$	$F_2$	$F_4$	S
I	535	1.150	2.187	-
II	632	1.330	2.232	-
III	578	1.184	2.252	-
IV	643	1.213	1.850	-
MEDIA	597	1.219	2.130	-

### III.4.2 Experiencias realizadas en la campaña de 1974

#### III.4.2.1 Efectos de riegos suministrados en periodos críticos del crecimiento

Se continuaron en Córdoba las experiencias iniciadas en la campaña de 1973 sobre el estudio del efecto de riegos diferenciales suministrados a un cultivo de girasol durante los periodos críticos del crecimiento.

##### III.4.2.1.1 Características climatológicas del periodo experimental

Las características climatológicas que existieron durante el periodo experimental se encuentran resumidas en la tabla XXV. El promedio de la temperatura del aire durante este periodo, como puede observarse, varió de 9,1 a 28,0° C, la radiación solar media osciló desde 297 a 615 cal/cm/día; la humedad relativa media se mantuvo entre el 44 y el 79%, las velocidades mínima y máxima del viento registradas fueron respectivamente 0,89 y 1,78 m/seg y la precipitación total ocurrida durante el periodo considerado -- fue de 200,0 mm.

#### III.4.2.1.2 Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

La siembra se efectuó el 28 de febrero y la recolección el 20 de agosto. La densidad utilizada fue de 60.000 plantas por hectárea.

Antes de la siembra, las parcelas y lisímetros fueron abonadas a razón de 60 unidades de nitrógeno, 120 unidades de fósforo y 120 unidades de potasio, por hectárea, y aproximadamente un mes después, fueron nuevamente abonadas con 116 unidades de nitrógeno por hectárea, suministradas en dos aplicaciones.

La nascencia se produjo el 15 de marzo. El inicio de floración tuvo lugar el 20 de Mayo y la floración total el 30 del mismo mes, terminando el periodo de fructificación el 5 de julio.

#### III.4.2.1.3 Tratamientos de riego y volúmenes de agua aplicados

Los tratamientos de riego ensayados en esta experiencia fueron los siguientes:

A<sub>1</sub>: Control: Consistente en suministrar una cantidad de

agua equivalente a la pérdida por evapotranspiración potencial registrada en los lisímetros tipo Thornthwaite.

$F_2$  : Consistente en suministrar cuatro riegos en el periodo de floración a fructificación, con volúmenes idénticos para esos riegos que los aplicados al tratamiento control.

$F_4$  : Consistente en suministrar dos riegos en el periodo crítico; el primero a la aparición de la inflorescencia y el segundo a capítulo abierto, con volúmenes idénticos para estos riegos que los aplicados al tratamiento control.

S : Sin riego. Estas plantas crecieron dependiendo enteramente de la precipitación.

La tabla LVI recoge el régimen de aplicación de agua, con expresión de las fechas y volúmenes suministrados a los tratamientos  $A_1$ ,  $F_2$  y  $F_4$  respectivamente.

En la tabla LVII se expresan los datos correspondientes a la distribución del agua aplicada en el tratamiento control y los valores de la evapotranspiración potencial del cultivo registrada en el lisímetro y la calculada por la fórmula de Panman, para el periodo experimental considerado.

TABLA LVI

Fechas y cuantía del agua aplicada a cada tratamiento (mm)

FECHA	TRATAMIENTO		
	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>
20-V	60	60	60
3-VI	70	70	-
11-VI	70	-	-
21-VI	80	80	-
4-VII	80	80	80
10-VII	75	-	-
19-VII	75	-	-
29-VII	50	-	-
8-VIII	50	-	-
TOTAL	610	290	140

TABLA LVII

Volúmenes de agua aplicados al tratamiento control y valores de la evapotranspiración obtenida experimentalmente y por el método de Penman.

FECHAS	Aporte total (mm)	ET (Penman) mm/día	ETP (Lisímetro) mm/día	ET/ETP
Mayo 1-10	-	3,6	1,0	3,60
11-20	60	3,4	2,9	1,17
21-31	70	5,6	5,1	1,09
Junio 1-10	70	6,1	8,3	0,73
11-20	80	6,6	11,4	0,58
21-30	80	6,5	10,7	0,61
Julio 1-10	75	6,7	12,4	0,54
11-20	75	6,8	10,8	0,63
21-31	50	6,1	10,5	0,58
Agosto 1-10	50	5,8	6,7	0,87
Sub total	610	583,7	813,6	0,72
Precipitación	200,6	-	-	-
TOTAL	810,6	583,7	813,6	0,72

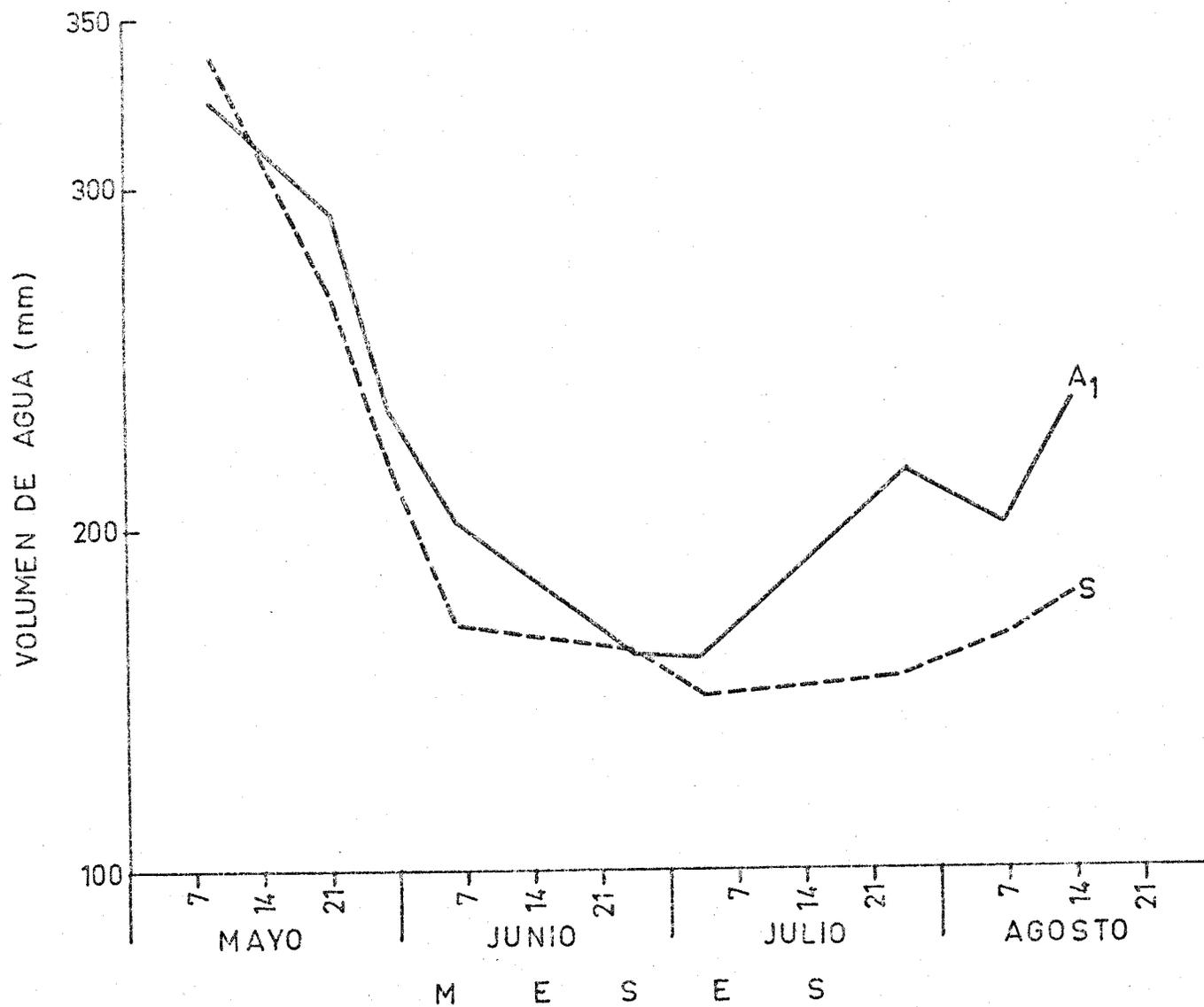
La primera conclusión que se deduce de la tabla anterior es que en todos los momentos exista un consumo menor de agua por la planta que en la experiencia del año anterior.

La existencia de un periodo invernal más lluvioso en 1974 aseguró una reserva hídrica más elevada en el suelo, que, unida a una precipitación en el mes de junio de 34,2 mm, determinaron, en general, condiciones más favorables. Sin embargo, las elevadas temperaturas que se registraron en los meses siguientes afectaron de manera desfavorable, como veremos a continuación, el desarrollo y fructificación de la planta.

Es también muy importante, en este sentido, el hecho que la siembra se produjo aproximadamente un mes antes que en 1973, lo que determinó, en primer, lugar que la planta dispusiera de una reserva hídrica más adecuada y que los periodos calurosos señalados la afectaran ya en los últimos estadios de su ciclo.

En consecuencia, todas las razones comentadas determinaron, para el año 1974, un volumen de la evapotranspiración de aproximadamente 100 mm menos que la campaña anterior. Este es dato de suma importancia, pues el conocimiento de estos acontecimientos servirían de base para determinar, desde el punto de vista lógico de la rentabilidad del cultivo, la fecha más idónea de su siembra de acuerdo con el lugar, su climatología y tipo de suelo.

Fig. III. 19 Evolución del contenido de humedad del suelo a lo largo de la experiencia en los dos tratamientos de riego extremos.

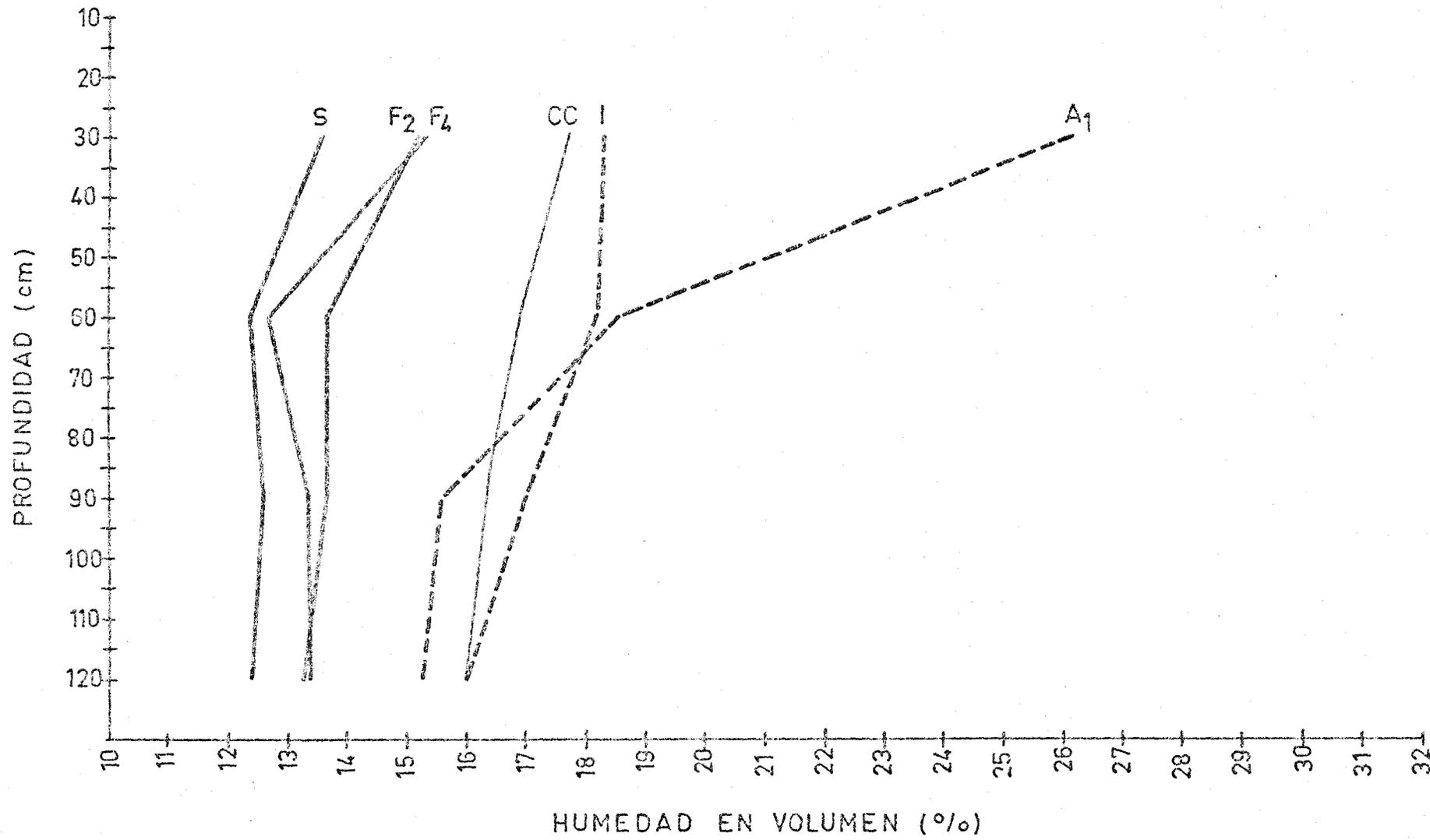


Otro aspecto importante que se deduce de la tabla LVII es la diferencia ya señalada entre la evapotranspiración registrada experimentalmente y la obtenida según el método de Peman. El coeficiente que relaciona ambas es muy similar al encontrado el año anterior (véase tabla XLIX ) : el valor teórico supuso sólo el 72% del real observado.

En cuanto al estado del agua en el suelo, la cantidad de ella presente en el perfil, durante el periodo de riegos, hasta una profundidad de 120 cm, y detectada por medio de la sonda de neutrones, en los tratamientos extremos, aparece en la Fig. III.19. En ella puede observarse, en primer lugar, el descenso experimentado, que se hace máximo coincidiendo con la fase de floración de la planta. Posteriormente se aprecia una ligera recuperación de la reserva, más pronunciada, lógicamente, en el tratamiento A<sub>1</sub>, a consecuencia de los riegos suministrados.

La Fig. III.20 representa los perfiles de humedad a la recolección en los diferentes tratamientos. En ella puede fácilmente apreciarse la sustracción de la reserva propia del perfil de los niveles inferiores y muy especialmente del que no ha recibido ningún aporte artificial de agua.

niveles experimentales en el momento de la recolección. (CC, capacidad de campo; I, situación inicial antes de la siembra).



Nótese también que el estado de humedad del perfil era muy similar en las parcelas  $F_2$  y  $F_4$  lo que explica en cierto modo el paralelismo en las producciones obtenidas en estos tratamientos, como veremos a continuación.

#### III.4.2.1.4 Análisis de la producción

El peso de semilla obtenido, en condiciones normales de comercialización, está reflejado en la tabla LVIII para las distintas parcelas experimentales.

TABLA LVIII

Peso de semilla (Kg/Ha)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	$A_1$	$F_2$	$F_4$	S
I	2.858	2.595	2.498	2.140
II	2.779	2.932	2.760	2.333
III	2.835	2.828	2.633	2.381
IV	3.106	2.632	2.788	2.264
MEDIA	2.895	2.747	2.670	2.280

Significación entre tratamientos

(5%)  
 $A_1 F_2 F_4 S$

(1%)  
 $A_1 F_2 F_4 S$

El hecho de que las producciones conseguidas en los tratamientos  $F_4$  no se separen significativamente de las del tratamiento control, puede deberse a la existencia de una reserva hídrica del suelo más adecuada en esta campaña y a la gran sustracción de ella verificada por estas plantas, como quedó puesto de manifiesto en la Fig. III.20. Exceptuando este caso el resto de las significaciones son similares a las encontradas anteriormente por lo que pueden ser aplicables aquí las mismas consideraciones expuestas.

Por las razones comentadas, la producción en el tratamiento sin riego (S) es superior a la de la campaña anterior, reduciéndose solo en un 25% respecto a la conseguida en la de máxima aplicación de agua.

Los dímetros de la inflorescencia y pesos uнитарios de la semilla en los regímenes hídricos ensayados aparecen en las tablas LIX y LX.

TABLA LIX

Diámetro de inflorescencias (cm)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	14,3	14,6	13,7	13,5
II	14,9	14,7	13,8	13,6
III	14,4	14,8	13,1	12,6
IV	14,6	14,4	14,5	12,5
MEDIA	14,5	14,6	13,7	13,0

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

(1%)  
A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

TABLA LX

Peso unitario del fruto (mg)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	67	62	56	51
II	63	59	48	48
III	60	68	59	53
IV	71	62	61	48
MEDIA	65	63	56	50

Significación entre tratamientos

(5%)  
A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

(1%)  
A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> S

Obsérvese, cómo en ambos parámetros la significación entre tratamientos es idéntica y ambas determinan, en cualquier caso, la producción de semillas. No existieron diferencias significativas (nivel del 1%) entre las producciones de semillas, diámetro de inflorescencias y peso unitario del fruto entre los tratamientos regados durante todo el ciclo ( $A_1$ ) y los que lo hicieron en el periodo de floración y fructificación cuatro o dos veces (tratamientos  $F_2, F_4$ , respectivamente).

En cuanto a la calidad del producto cosechado, las tablas LXI y LXII muestran respectivamente los porcentajes de cáscara y contenido de aceite en las semillas para los tratamientos ensayados.

TABLA LXI

Cantidad de cáscara de la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	$A_1$	$F_2$	$F_4$	S
I	28,1	29,4	29,2	32,1
II	30,1	30,7	30,1	34,3
III	31,8	27,6	30,5	33,8
IV	29,2	34,1	33,3	38,1
MEDIA	29,8	30,5	30,8	34,6

Significación entre tratamientos

(5%)  
 $A_1 \quad F_2 \quad F_4 \quad S$   
                    

(1%)  
 $A_1 \quad F_2 \quad F_4 \quad S$   
                    

Las diferencias en este parámetro son únicamente significativas, al nivel del 1%, entre los tratamientos de máximo aporte hídrico y los cultivados en la modalidad de seco. En estos últimos, el fruto conseguido contiene el mayor porcentaje de cáscara, lo que rebaja consecuentemente la calidad del mismo.

TABLA LXII  
 Riqueza gr<sub>osa</sub> de la semilla (%)

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	S
I	47,7	44,1	43,2	42,1
II	45,5	42,0	42,8	41,3
III	46,2	45,1	46,0	43,7
IV	48,0	44,2	44,0	43,8
MEDIA	46,8	43,8	44,0	42,7

Significación entre bloques al 5%

Significación entre tratamientos

(5%)  
 $A_1 \quad F_2 \quad F_4 \quad S$   
                    

(1%)  
 $A_1 \quad F_2 \quad F_4 \quad S$

Una vez más, el contenido porcentual de aceite de la semilla viene significativamente disminuido en los tratamientos de aportes hídricos ocasionales y secano con respecto al que recibía volúmenes artificiales de agua durante todo el ciclo.

Es de señalar, sin embargo, en éste caso, que no se apreciaron diferencias entre aquellos que recibieron agua durante la fase de floración a fructificación ( $F_2, F_4$ ) y los que dependieron enteramente de la precipitación (S), lo que pone de manifiesto el efecto ya comentado de la incidencia de periodos húmedos -- posteriores a la floración sobre la riqueza grasa de la semilla.

La rentabilidad del agua aplicada en esta experiencia -- aparece en la tabla LXIII para los diferentes tratamientos de riego incluidos en la misma.

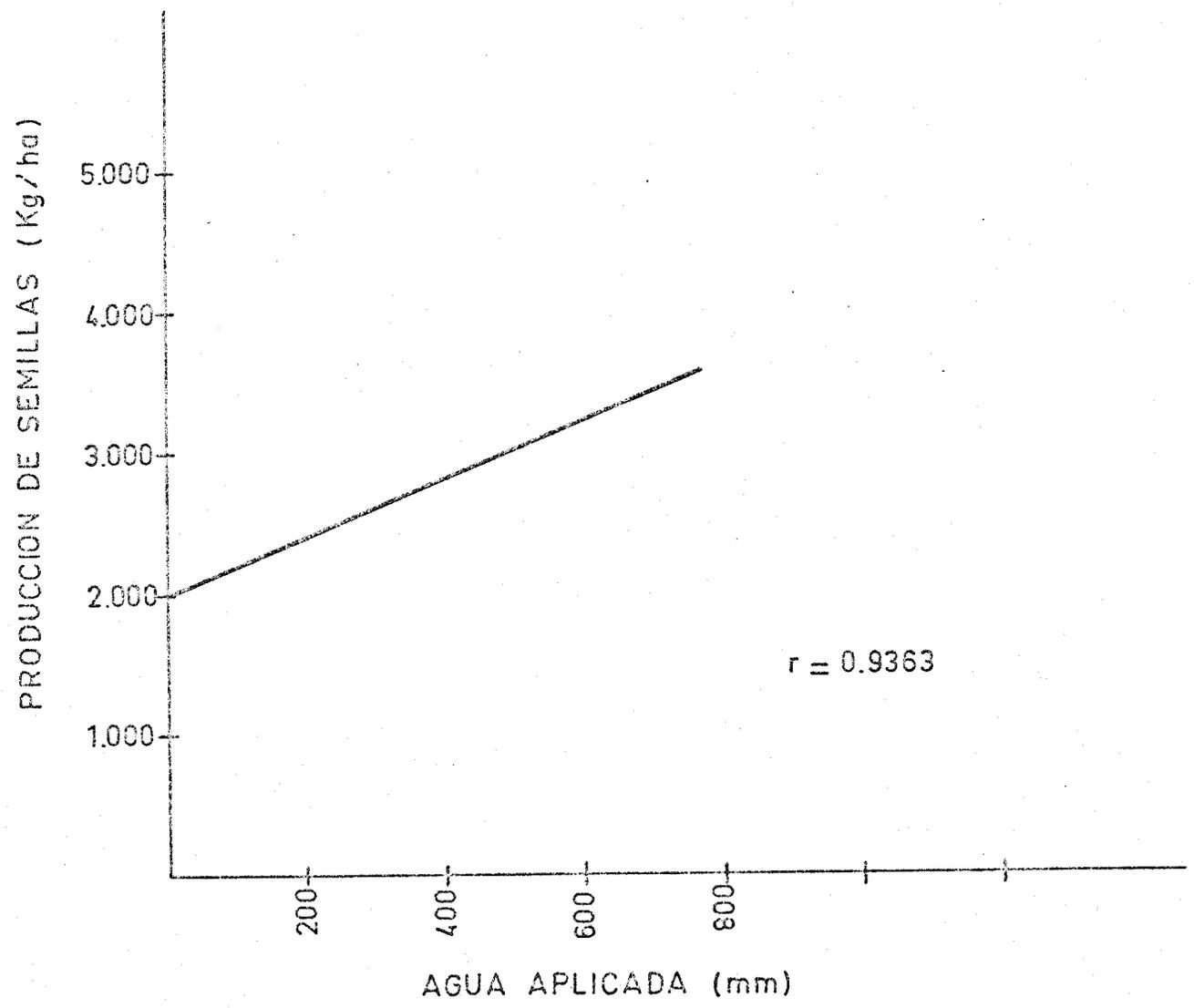
TABLA LXIII  
Rentabilidad del agua aplicada ( $g/m^3$ )

BLOQUE	TRATAMIENTO			
	$A_1$	$F_2$	$F_4$	S
I	468	861	1.854	-
II	456	952	2.094	-
III	465	908	2.020	-
IV	509	961	1.880	-
MEDIA	475	921	1.962	-

Si bien el rendimiento es elevado para los tratamientos que recibieron los riegos durante el periodo crítico, se observa una disminución generalizada para todos ellos si se compara con la rentabilidad alcanzada en la campaña anterior (tablas LV y LXIII ).

La Fig. III.21. representa la línea de regresión encontrada entre el riego suministrado y la producción alcanzada en los tratamientos ensayados en esta experiencia.

Fig. III. 21 Línea de regresión entre agua aplicada y producción alcanzada.



### III.4.2.2 Estudio del comportamiento de variedades

Simultáneamente a la experiencia anterior, se llevó a cabo en Córdoba un estudio comparativo del comportamiento de variedades comerciales de girasol cultivadas en la modalidad de riego.

Este estudio incluyó como ya mencionamos en el capítulo II las variedades ISSANKA, MORDEN, KARLIK, PEREDOVIK, y HP 321.

#### III.4.2.2.1 Atenciones de cultivo y observaciones fenológicas

Todas las variedades fueron sembradas en los días 1 al 5 de marzo, con una densidad equivalente a 60.000 plantas/hectárea. La recolección tuvo lugar el día 10 de agosto.

La fertilización total recibida por las parcelas fue similar a las experiencias anteriores, es decir, 176 unidades de nitrógeno (en dos aplicaciones), 120 unidades de fósforo y 120 unidades de potasio por hectárea.

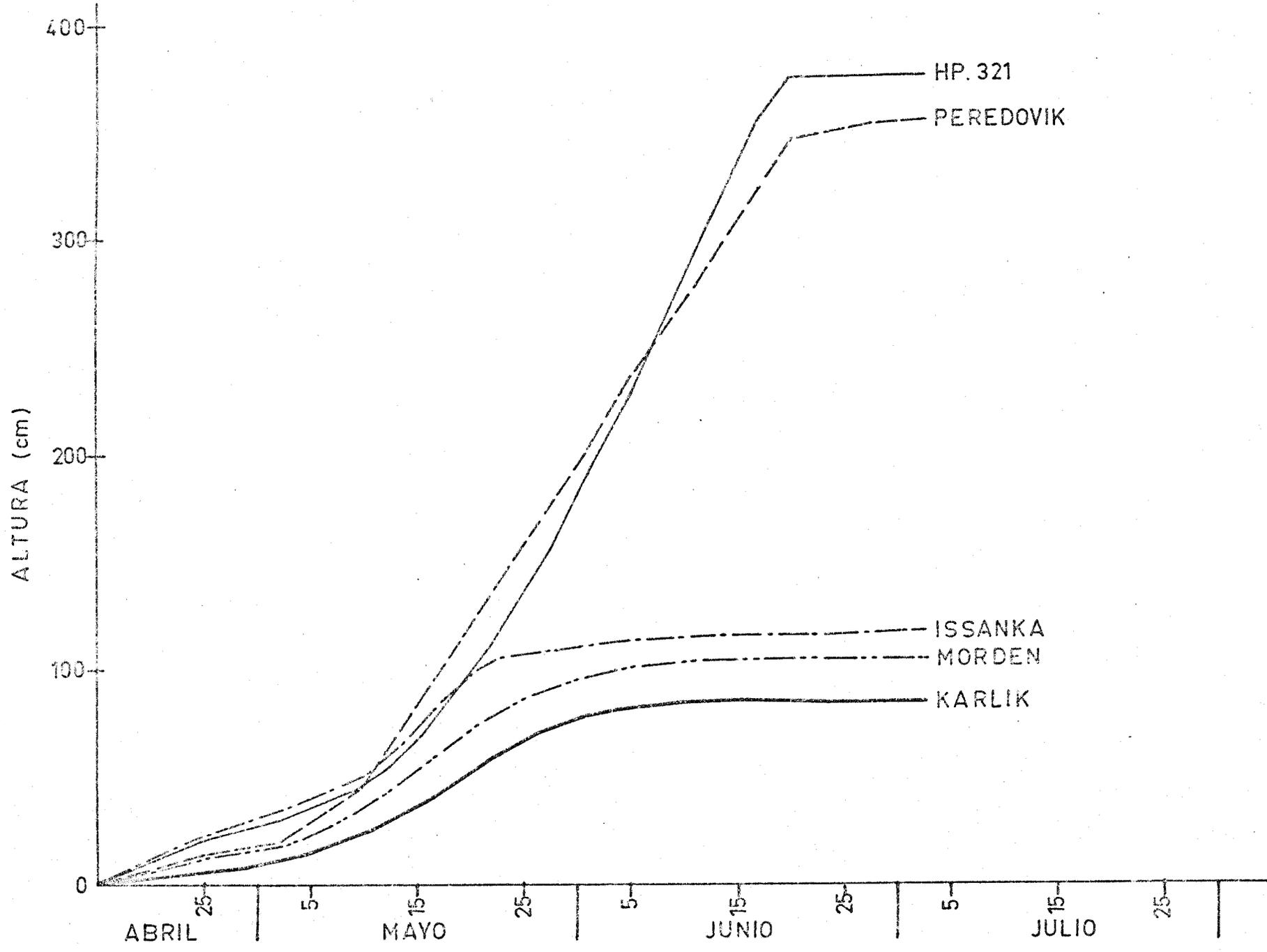
La nascencia se produjo en los días 17 y 18 de marzo en buenas condiciones.

Los días -- floración transcurridos para cada variedad fueron los siguientes:

<u>Variedad</u>	<u>Días -- floración</u>
KARLIK	60
MORDEN	71
ISSANKA	74
PEREDOVIK	86
HP - 321	92

Como se observa la variedad Karlik fue la más precoz, -- seguida de Morden, siendo la de ciclo vegetativo de mayor duración el híbrido HP - 321.

La duración del ciclo está estrechamente relacionada -- con la altura de la planta y ambas son determinadas genéticamente. La Figura 22 presenta las curvas de crecimiento de cada una de las variedades estudiadas.



#### III.4.2.2.2 Tratamiento de riego y volúmenes de agua aplicados

Como en ésta experiencia se pretendía determinar el -- comportamiento de cada variedad en cuanto a gasto de agua se refiere, cada una de ellas fue, pues, regada de acuerdo con la demanda exigida, según las condiciones ambientales imperantes y la duración de su ciclo biológico.

Los datos correspondientes a los volúmenes de agua aplicados a cada parcela experimental aparecen reflejados en la tabla LXIV . En ella también figura, junto con la precipitación, los volúmenes de agua sustraídos de la reserva, en milímetros, hasta una profundidad de 120 cm. Estas variaciones en la reserva fueron detectadas con la sonda de neutrones en muestreos periódicos que se realizaban en cada parcela experimental.

TABLA LXIV

Fecha y volúmenes de agua aplicados (mm) a cada variedad y valores de la sustracción a la reserva realizada durante el ciclo.

FECHA	VARIEDAD				
	KARLIK	MORDEN	ISSANKA	PEREDOVIK	HP-321
18-V -74	60	60	60	60	60
6-VI - "	70	70	70	70	70
14-VI - "	70	70	70	70	70
7-VII - "	75	75	75	75	75
10-VII - "	---	50	50	50	50
19-VII - "	---	---	---	60	60
29-VII - "	---	---	---	50	50
8-VIII- "	---	---	---	50	50
Sub-total.	275	325	325	485	485
Sustracción de la reserva a 120 cm de profundidad (mm).	84	103	107	126	130
Precipitación (mm)	200	200	200	200	200
TOTAL	559	628	632	811	815

La tabla LXV recoge los valores de la evapotranspiración potencial registrada en los lisímetros para las variedades -

Morden considerada de ciclo corto, Peredovik, ciclo normal y HP-321 como representativa de planta en ciclo largo.

TABLA LXV'

Valores de la evapotranspiración potencial registradas en los lisímetros para las variedades: Morden, Peredovik y HP 321.

PERIODO	VARIEDAD		
	MORDEN	PEREDOVIK	HP-321
Mayo 5-10	1,1	1,0	0,2
11-20	3,3	2,9	3,2
21-31	7,5	5,1	8,9
Total Mayo	114,2	95,1	122,6
Junio 1-10	10,1	8,3	11,6
11-20	8,0	11,4	7,8
21-31	7,3	10,7	12,0
Total Junio	254,7	304,0	327,6
Julio 1-10	6,2	12,4	10,1
11-20	6,0	10,8	10,8
21-31	5,0	10,5	11,3
Total Julio	172,0	347,5	323,6
Agosto 1-10	3,6	6,7	6,7
Total Agosto	36,0	67,0	67,0
TOTAL	576,9	813,6	840,8

Como puede observarse, el híbrido HP-321 fué el que presentó un consumo de agua más elevado de acuerdo pues con la duración del ciclo biológico de la planta y altura desarrollada.

En la tabla LXV puede también observarse como el híbrido mencionado presentó el mayor volúmen de agua sustraído de la reserva hídrica del suelo.

En cuanto al resto de variedades, los resultados expuestos son de enorme interés pues proporcionan el conocimiento de las necesidades hídricas potenciales de la planta, dato este muy importante para el cultivo del girasol en Andalucía Occidental, pues, como sabemos, es el agua el factor limitante de la producción de éste cultivo.

A continuación se analiza la respuesta de cada variedad estudiada al régimen hídrico establecido.

#### III.4.2.2.2 Análisis de la producción

La tabla LXVI reúne los datos sobre la producción de semilla obtenida en cada variedad y bloque.

TABLA LXVI

Peso de semilla (Kg/Ha)

BLOQUE	VARIEDAD				
	KARLIK	MORDEN	ISSANKA	PEREDOVIK	HP-321
I	2,262	2.313	2.852	2.824	2.316
II	2.366	2.206	3.291	3.098	2.395
III	2.788	2.882	2.760	3.278	2.823
IV	2.477	3.010	3.282	3.029	2.559
MEDIA	2,473 b	2.603 b	3.046 a	3.057 a	2.523 b

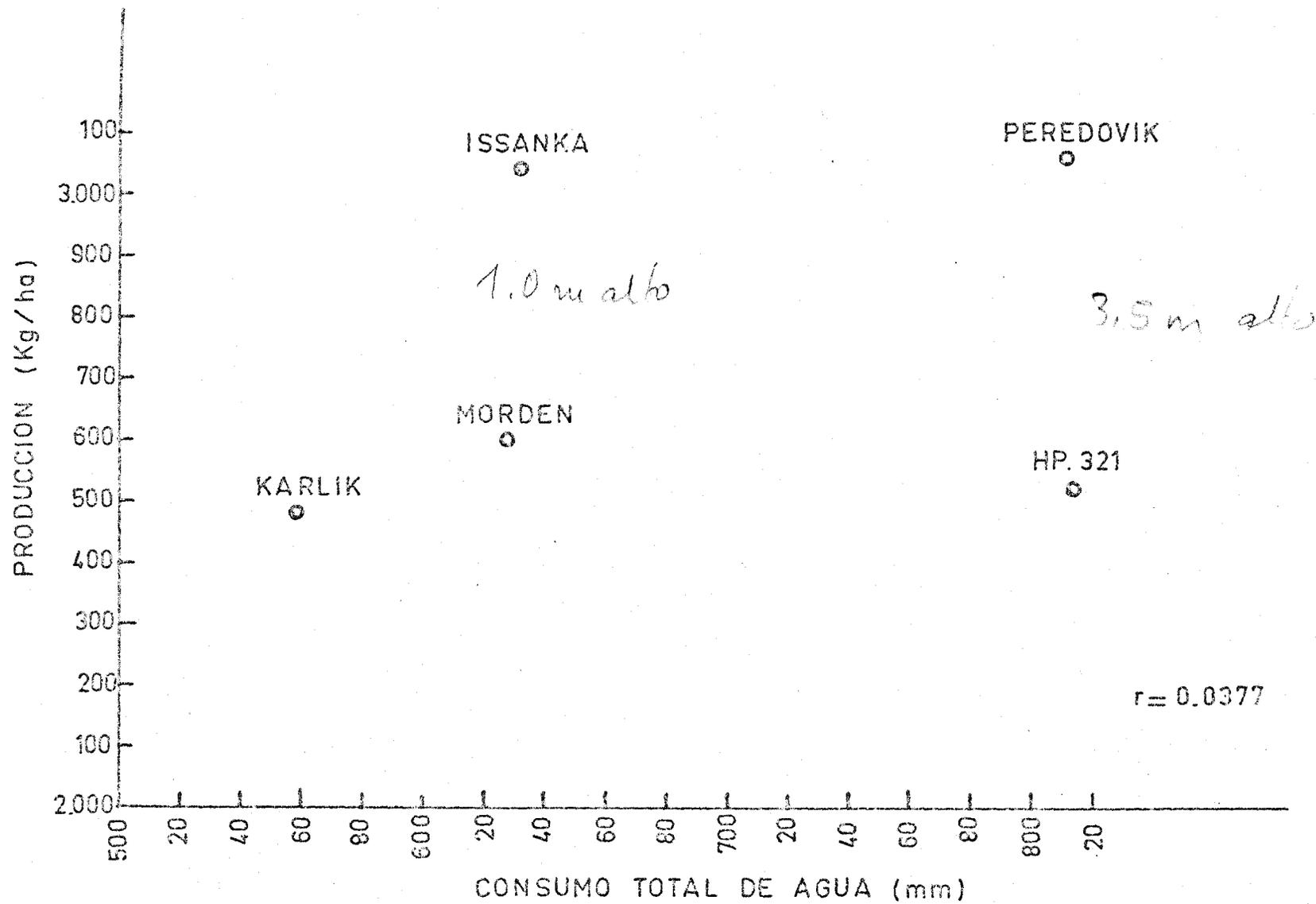
NOTA: Medias seguidas de la misma letra, no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

La Fig III 23 muestra la relación entre consumo total de agua y producción alcanzada en cada variedad experimental.

La baja correlación que existió entre la producción de semillas y el total de agua consumida, sugiere importantes consideraciones:

Las dos variedades que presentaron el mayor consumo de agua (HP-321 y Peredovik) fueron también las de ciclo biológico de mayor duración, pero sus producciones no fueron superiores que las variedades de ciclo más corto, las cuales usaron sustancial-

ensayada.



mente menos cantidad de agua.

Parece, pues, que una maduración tardía no implica necesariamente mayores producciones, aunque estas plantas puedan elaborar mayor cantidad de sustancias asimiladas al disponer de más tiempo que variedades de maduración temprana.

Los resultados encontrados sugieren que esta asimilación adicional se invierte más en el crecimiento y grosor del tallo ( tabla LXVII), que no tiene en la actualidad ningún beneficio económico. También, parece, que el mayor número de hojas que tienen las plantas de maduración tardía, no contribuye a aumentar la producción final del cultivo.

La producción obtenida en las variedades estudiadas presentó diferencias marcadas ( tabla LXVI). Las variedades con volúmenes de transpiración comparables ( lo que equivale a una misma fotosíntesis ) no produjeron igual cantidad de productos asimilados con valor económico. Tanto para el caso de maduración temprana como el de tardía, una de las variedades fue superior a las otras en este sentido, lo que representa en la práctica para estas variedades una mayor eficiencia en el uso del agua y energía.

El hecho de que la variedad Issanka, de maduración temprana, alcanzara una producción de semilla tan elevada como la tardía Peredovik, tiene importantes implicaciones agronómicas. Estas variedades de ciclo corto pueden ser recolectadas mucho más pronto que las de ciclo largo, dejando así terrenos de regadío libres para el siguiente cultivo, haciendo posible que dos o incluso tres cultivos diferentes puedan sembrarse cada año.

Finalmente, y a modo de resumen, la tabla LXVIII recoge las características medias de la producción analizadas en las variedades experimentales ensayadas.

TABLA LXVIII

Resumen de las características analizadas

CARACTERIS- TICAS	VARIETADES				
	KARLIK	MORDEN	ISSANKA	PEREDOK.	HP-321
Días flora- ción	60	71	74	86	92
Total agua utilizada (mm)	559	628	632	811	815
Número de - riegos	4	5	5	8	8
Producción (Kg/Ha) de - semillas	2.473	2.603	3.046	3.057	2.523
Eficiencia - del riego - (g/m <sup>3</sup> )	760	598	812	576	476
Diámetros de capítulos (cm)	11,6	13,1	13,7	14,4	11,8
Peso materia seca (mg/mm)	48	58	82	117	136
Peso de 100 semillas (g)	5,8	6,3	7,7	6,6	3,6
Riqueza grasa semilla (%)	44,7	45,3	45,5	47,5	44,3
Producción de aceite - (Kg/Ha)	1.105	1.179	1.386	1.451	1.118
Cantidad de cáscara (%)	27,3	27,4	25,5	24,6	29,3

### III. 5 SINTESIS DE COMPARACION ENTRE AMBAS ESPECIES

Según hemos podido comprobar en las experiencias anteriores, la existencia de condiciones ambientales que dificulten de alguna manera la accesibilidad del agua para la planta, inciden de forma directa -tanto en el caso del maiz como del girasol en la producción final de estos cultivos.

Sin embargo, la respuesta de ambos, a regímenes hídricos deficientes, es marcadamente, distinta en el sentido de que las plantas de maiz se ven afectadas negativamente en mayor grado ( en cuanto a producción se refiere) que las de girasol.

Las necesidades hídricas de ambas especies son también diferentes y sorprendentes más elevadas en el cultivo del girasol. En este sentido los volúmenes de agua evapotranspirados por plantas de maiz (var. Pioneer 309 B) y girasol (var. Peredevik), en condiciones potenciales de agua, oscilaban entre los 647-690 mm y 813-930 mm, respectivamente, dependiendo de las características ambientales.

La mayor exuberancia de las plantas de girasol, con una

cobertura vegetal transpirante de superficie muy considerable provocan sin duda un ritmo de evapotranspiración más elevado que en el caso de plantas de maiz. Es importante recordar aquí que los valores máximos registrados para esta característica fueron de 13,8 y 10,9 mm/día en plantas de girasol y maiz respectivamente.

Sin embargo, cuando la humedad escaseaba eran las plantas de girasol las que mostraban una mejor adaptación a condiciones de sequía, lo que hace pensar en la existencia de mecanismos de regulación del flujo interno de la planta y/o estructuras morfológicas que impidan o dificulten de alguna manera la pérdida de agua, haciéndola pues más efectiva -en términos de producción de materia seca- que en el caso de plantas de maiz.

Todo ello hace del girasol una planta muy capaz para ser cultivada en el secano andaluz, pero como ya se dijo, no puede ser considerada como resistente a la sequía, puesto que ésta disminuye en mayor o menor grado la producción de este cultivo.

La utilización y uso del agua, parece derivarse en parte, en plantas de girasol, a la elaboración de materiales económicamente no productivos ( en la actualidad ), como aumentar el gro-

...sor de tallo, incrementar el número y superficie de las hojas, etc. Ello hace que la rentabilidad del agua aplicada, en términos de producción, sea algo inferior en ésta especie. Las rentabilidades máximas obtenidas en nuestras experiencias fueron de 2.130 y 2.600 g/m<sup>3</sup> para girasol y maíz, respectivamente.

Es importante dejar aclarado que el riego aumenta la producción del maíz de forma más espectacular que la del girasol, y que este último presenta una mejor adaptación a condiciones de aridez, aún cuando sus necesidades hídricas sean realmente superiores.

Esta conclusión, aparentemente paradójica, reduce indudablemente el valor práctico del concepto de evapotranspiración potencial. Como hemos apuntado anteriormente la explicación de ello puede encontrarse en la existencia de controles biológicos del flujo interior en la planta, de gran efectividad.

En los dos cultivos estudiados, la existencia de periodos deficitarios en humedad durante las fases de floración a fructificación afectaron desfavorablemente a la producción. Las reducciones observadas fueron del orden del 30-35% para ambos cultivos.

Finalmente, y en cuanto al efecto de los riegos sobre la calidad del producto cosechado, es importante señalar que no se apreciaron diferencias a éste respecto en el cultivo del maíz, pues el contenido en proteínas del grano no estuvo claramente afectado por los distintos regímenes hídricos ensayados. En lo referente al cultivo del girasol, por el contrario, se apreciaron claras diferencias en el contenido graso de la semilla en los distintos tratamientos experimentales, en el sentido que las plantas produjeron significativamente mayor cantidad de ácidos grasos si el nivel de humedad era óptimo durante el periodo de fructificación a madurez.

#### IV RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han estudiado los efectos que sobre la producción de los cultivos de maíz y girasol ocasiona la implantación de diferentes regímenes de aplicación de agua.

Asimismo, se ha valorado el efecto comparativo de aplicaciones de agua realizadas en distintos periodos del ciclo biológico de las plantas.

Ha sido también objeto de este estudio la comparación del comportamiento de diferentes variedades, tanto de maíz como de girasol, cultivadas bajo los distintos niveles de humedad considerados.

Las conclusiones más importantes son las siguientes:

- La existencia de condiciones ambientales que dificultan de alguna manera la accesibilidad del agua para la planta afectaron de forma negativa -tanto en el caso del maíz como del girasol- la producción final de estos cultivos.

- La sensibilidad fué más acusada, para ambos cultivos, en el periodo de prefloración a madurez, donde la existencia de condiciones deficitarias en humedad pueden reducir hasta un 33% la producción final.

- Es estado de humedad del perfil, detectado con la sonda de neutrones, presentó, en todas las experiencias de maiz y girasol, una mayor sustracción de la reserva hídrica del suelo a la recolección, en los tratamientos de aportes hídricos intermedios y/u ocasionales, siendo máxima en los de aporte mínimo.
  
- Los volúmenes de evapotranspiración potencial totales registrados en lísimetros, oscilaron, para el cultivo del maiz, desde 690 mm, en 1.973 a 647 en 1.974, registrándose unos valores máximos en ambos años de 11,0 y 10,9 mm/día respectivamente, ocurridos en la segunda decena del mes de julio.
  
- Los valores teóricos de la evapotranspiración del cultivo del maiz, calculados por las fórmulas empíricas de Thornthwaite y Penman, supusieron respectivamente el 84 y 86% de los valores reales registrados, lo que evidencia que su utilización no es siempre apropiada para nuestras condiciones climatológicas.
  
- En el caso del maiz, si bien los óptimos de producción se obtienen cuando se asegura durante todo el ciclo el

nivel que permite alcanzar la evapotranspiración potencial; (Tratamiento A<sub>1</sub>) la restricción de agua, después del periodo de fructificación, (Tratamiento F<sub>2</sub>) puede provocar, en las condiciones ambientales de la zona, - una disminución de cosecha del mismo orden que la originada por una restricción similar, previa a la fructificación.

- En experiencias con plantas de maiz no se apreciaron diferencias significativas entre los tratamientos que se mantuvieron al 60 y 50% respectivamente (Tratamientos A y B) de la capacidad del campo del suelo, apareciendo las diferencias al comparar con tratamientos de niveles de humedad inferiores a los citados. Tampoco se detectaron diferencias significativas entre las producciones de los tratamientos que sufrían falta de agua antes o después de la formación del fruto, debido a la ausencia total de la precipitación y a las altas temperaturas registradas durante éste segundo periodo.
  
- Una determinada reducción en el porcentaje de aplicación de agua afectó al porcentaje de producción del maiz

en una cuantía menor, con relación a la primera, consiguiéndose hasta un 86,2% de producción con un 61,0% de consumo de agua.

- Se apreciaron diferencias significativas en el tamaño de infrutescencias de maíz y peso de los frutos entre los tratamientos de aportes hídricos diferentes. Los pesos medios de cien frutos variaron de 26,9 g, en aquellos tratamientos ( $A_1$ ) cuyo nivel de aplicación de agua era similar a la pérdida por evapotranspiración, a 17,3 g, en los de mínima aplicación (L). Este aumento del peso del fruto es causa fundamental del aumento de producción.
- No se han podido detectar efectos del distinto nivel de aplicación de agua sobre el número de mazorcas por planta, aunque existió una tendencia a aumentar en los niveles de máxima aplicación de agua. Tampoco se han encontrado diferencias significativas en el contenido de proteína del producto cosechado en los distintos tratamientos experimentales.
- El suministro de volúmenes de agua superiores en un 30% a las pérdidas por evapotranspiración supuso un aumento de un 11% con respecto a la correspondiente al valor de ETP.

- En cuanto a las variedades de maiz ensayadas en estas experiencias, el híbrido denominado E-10 consiguió las mejores producciones (10.070 Kg/Ha) aunque en condiciones de humedad más escasa presentó una disminución muy notable (6.736 Kg/Ha).
  
- 
- Tampoco en éstas experiencias se apreció una incidencia manifiesta del nivel de humedad sobre el contenido en proteína y riqueza grasa del grano. Sin embargo, la variedad Pioneer 309B presentó sistemáticamente un contenido inferior en ambos parámetros de la producción, lo que puso de manifiesto el efecto varietal en la calidad del fruto.
  
- Las rentabilidades medias conseguidas del agua aplicada oscilaron de 1.817 g/m<sup>3</sup> en los tratamientos de máxima aplicación a 2.618 g/m<sup>3</sup> en los de mínima. Cuando el agua se suministraba sólo en el periodo de floración a fructificación, su rentabilidad descendía a 1.300 g/m<sup>3</sup> o incluso menos.
  
- En experiencias con plantas de girasol, los volúmenes

de evapotranspiración potencial totales registrados en los lisímetros oscilaron desde 918 mm, en 1973, a 814 mm, en 1974, alcanzándose unos valores máximos respectivos de 13,8 mm/día y 12,4 mm/día en la primera decena del mes de julio.

- Los valores teóricos de la evapotranspiración del cultivo del girasol, calculados por la fórmula empírica de Penman para los años 1973 y 1974, supusieron respectivamente el 73% y 72% de los valores reales registrados en el lisímetro. Recuérdese que para el cultivo de maíz - esta misma relación suponía el 86%.
- Las producciones máximas y mas altos contenidos de aceite en la semilla se obtienen cuando se asegura durante todo el ciclo el nivel que permite alcanzar la evapotranspiración potencial (Tratamiento  $A_1$ ).
- No se apreciaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de la producción del cultivo de girasol, analizados entre los tratamientos que recibían una cantidad de agua equivalente al volumen de agua evapo-

transpirado y los que recibían un 75% de ésta (Tratamiento  $B_1$ ). En la comparación con el resto de los tratamientos ( $C_1$  y S) se apreciaron diferencias a distinto nivel de significación y que pusieron de manifiesto el efecto de la restricción en el suministro de agua a la planta, sobre el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo.

- Los diferentes regímenes de riego ensayados no tuvieron incidencia alguna sobre la relación cáscara/almendra en semillas de girasol, pero en los contenidos porcentuales de aceite en la semilla, se apreciaron diferencias favorables a los tratamientos de máxima aplicación de agua.
- El suministro a un cultivo de girasol durante la fase de floración de un volumen de agua igual al 44% (Tratamiento  $F_2$ ) del consumido durante todo el ciclo, no redujo significativamente la producción de este nivel. Las diferencias aparecieron cuando las aplicaciones de agua eran inferiores al referido nivel de humedad (Tratamiento  $F_4$ ).

- Las reducciones observadas en la producción del girasol en los tratamientos de mínima o ninguna aportación artificial de agua fueron debidas al efecto combinado de reducciones en el tamaño de la inflorescencia o capítulo y peso unitario de la semilla.
  
- El mantenimiento de niveles deficitarios de humedad, posteriores a la fructificación afectaron desfavorablemente la riqueza grasa de las semillas de girasol. La falta de agua durante la fase vegetativa y de floración no parece incidir de forma directa en el contenido porcentual de aceite de la semilla.
  
- Las reducciones en los niveles de humedad disponible, para un cultivo de girasol se tradujeron en reducciones de menor cuantía en la producción, consiguiéndose hasta un 65% de la máxima producción, en aquellas parcelas que crecieron dependientes enteramente de la precipitación (146,2 mm).
  
- En el estudio comparativo del comportamiento de diferentes variedades de girasol se puso de manifiesto que

aquellas de mayor duración del ciclo biológico (Peredovik y HP-321) presentaron el mayor consumo de agua, lo cual no implicó necesariamente mayores producciones.

-Las variedades con volúmenes de transpiración comparables (al igual que fotosíntesis) no parecieron tener la misma facilidad para transferir productos asimilados con repercusión económica. En ambos casos -maduración temprana y tardía- una de las variedades fué superior a las otras en esta capacidad de transferir sustancias asimiladas a las semillas, lo que refleja para estas variedades una mayor eficiencia en el uso del agua y de la energía.

-Las rentabilidades medias alcanzadas en los tratamientos regados durante la fase de floración a fructificación -- (2.130 g/m<sup>3</sup>) fueron significativamente más elevadas que las conseguidas en los que el agua se aplicaba durante todo el ciclo (597 g/m<sup>3</sup>). Ello pone de manifiesto la excelente utilización del agua por la planta cuando es suministrada en esos momentos de máxima demanda hídrica.

-En el estudio comparativo de las necesidades hídricas de

plantas de maiz y girasol, mientras que estas últimas tuvieron una necesidades reales de agua superiores a las del maiz, (como ya se ha señalado en apartados anteriores), presentaron al mismo tiempo una mejor adaptación a condiciones de sequía. Ello pone de manifiesto la existencia, en plantas de girasol, de mecanismos de regulación del flujo interno de la planta y/o estructuras morfológicas que reducen la transpiración del cultivo, aún bajo condiciones de alta demanda evaporativa.

- Finalmente, se puso de manifiesto también, que el concepto de evapotranspiración potencial, tiene un valor práctico relativo cuando se intentan establecer relaciones entre consumo de agua y producción de un cultivo, ya que, hay que considerar además, la mayor o menor capacidad de adaptación de la planta a condiciones deficitarias en humedad por mecanismos puramente fisiológicos y/o morfológicos.

V. BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, T. E. ; HSIAO, C. and HENDERSON, D. W.- 1971.- Immediate and subsequent growth-responses of maize leaves to changes in water status.- Plant Physiol. 48 : 631-636.
- ALBINET, E.; BULINARU, V. and VASILIU, M.- 1968.- Influence of -- irrigation on sunflower production in the Prut Valley.- Luer. Stiint. Inst. Agron. Iasi. 1967/1968. 47-55. En Field Crop Abst. 22 : 2349. 1969.
- ANUARIO ESTADISTICO DE LA PRODUCCION AGRARIA.- 1969 y anteriores. Ed. Ministerio de agricultura. MADRID.
- ANUARIO DE ESTADISTICA AGRARIA.1972.- 1974.- Ed. Ministerio de -- Agricultura. MADRID.
- BAIER, W.- 1967.- Relationships between soil moisture, actual and potential evapotranspiration.- Proceedings of Hydrology Symposium. Nº 6.
- BARDZIK, J. M.; MARSH, H. V. and HAVIS, J. R.- 1971.- Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings.- Plant Physiol. 47 : 828-831
- BARNES, D. L. and WOOLLEY, D. G.- 1969.- Effect of moisture stress at different stages of growth. I. Comparison of a -- single-eared and a two-eared con hybrid.- Agron. J. 61: 788-790.
- BELCHER, D. J.; CUYKENDALL, T. R. and SACK, H. S.- 1950.- The measurement of soil moisture and density by neutron and gamma-ray scattering.- Tec. Rep. 127, V. S. Civil Aeronaut. Admin.

BELL, J. P.- 1973.- Neutron probe practice.- Institute of hidrology. Réport № 19. V. K.

BIERHUIZEN, J. F.- 1961.- PLANT growth and soil moisture relations hips.- U.N.E.S.C.O. Arid. Zone Res. 16: 309-315

BIERHUIZEN, J.F. and DE VOSS, N. M.- 1958.- The effect of soil -- moisture on the growth and yield of vegetable crops. Rep. Conf. Suppl. Irrigation. Comm. VI I.S.S.C. Co penhague. 83-92.

BLACK, J. H.; BONYTHON, C. W. and PRESCOTT, J. A.- 1954.- Solar - radiation and the duration of sunshine.- Quat. J. Roy. Met. Soc. 80 : 231-235.

BLANEY, H. F. and CRIDDLE, W. D.- 1950.- Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.- U. S. Dept. Agr. Soil. Conserv. Ser. Tech. Paper 96.

BLANEY, H. F. and CRIDDLE, W. D.- 1962.- Determining consumptive use and irrigation water requirements.- U.S.D.A. - Tech. Bull. 1275.

BOERSMA, L. et al.- 1972.- The soil-water system.- In Soil Water.- Eds, D. R. Nielsen et al. Amer. Soc. Agron; Madison, Wis.

BOLETIN DE ESTADISTICA AGRARIA № 10.- 1974.- Ed. Ministerio de - Agricultura. MADRID.

- BOUAT, A. et CROUZET, C.- 1965.- Notes techniques sur un appareil semi-automatique de dosage de l'azote et de certains composés volatils.- Ann. Agron. 16: 107-118.
- BOUYOUKOS, G. J. and MICK, A. H.- 1940.- An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions.- Mich. Agr. Exp. Sta. Techn. Bull. 172.
- BOYER, J. S. and BOWEN, B. L.- 1970.- Inhibition of oxygen evolution in chloroplasts isolated from leaves with low water potentials.- Plant Physiol. 45 : 612-615.
- BOYER, J. S.- 1970.- Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean.- Plant Physiol. 46: 236-239.
- BOYER, J. S.- 1971a.- Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential.- Plant Physiol. 47 : 816-820.
- BOYER, J. S.- 1971b.- Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sunflower at low leaf water potentials and high light intensities.- Plant Physiol. 48 : 532-536.
- BURRIEL, F. y HERNANDO, V.- 1960.- Nuevo método para determinar el fósforo en los suelos.- Ann. Edafol. Agrobiol. 9 - 611-621.

- CATSKY, J. ; CHARTIER, P. and DJAVANCHIR, A.- 1973.- Net assimilation, water use and microclimate in a maize field, 4. Diurnal variation in stomatal resistance and leaf saturation deficit; consequence for CO<sub>2</sub> fixation.- Ann. Agron. 3 : 287-305.
- C.E.B.A.C. ( GONZALEZ, G. F. y cols.) .- 1962.- Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla.- Ed. Diputación Provincial de Sevilla.
- C.E.B.A.C. (GONZALEZ, G. F. y cols) .- 1962.- Estudio agrobiológico de la provincia de Córdoba.- Ed. Diputación Provincial de Córdoba.
- COLVILLE, W. L. et al.- 1964.- Influence of plant population hybrid and "productivity level" on irrigated corn production.- Agron. J. 56 : 332-335.
- COMMONWEALTH SECRETARIAT.- 1973.- Vegetable oils and oilseeds.- Commonwealth Secretariat. Londres.
- COWAN, I. R.- 1965.- Transport of water in soil-plant-atmosphere system.- J. Appl. Ecol. 2 : 221-229.
- DALE, R. F. and SHAW, R. H.- 1965.- Effect on corn yields of moisture stress and stand at two fertility levels.- Agron. J. 57 : 475-479.
- DAY, P. R.; BOLT, G. H. and ANDERSON, D. M.- 1967.- Nature of soil water.- In Irrigation of agricultural lands. Ed. by R. M. HAGAN; H. R. HAISE and T. W. EDMINSTER. Amer. Soc. Agron. Madison, Wis. : 193-208.

- DE BOODT, M.- 1967.- Determination of the moisture characteristics between pF 2 and 5 by means of a centrifuge.- West European Methods for Soil Structure Determination.- V-77-78.
- DE LEENHEER, L.- 1967.- Determination of particle size distribution using a hydrometer.- West European Methods for Soil Structure Determination. LV-28-34.
- DE LEON, L. M.- 1972.- Effect of the date of planting and the row spacing on sunflower crop in Andalusia (Southern Spain) In 5<sup>th</sup> Conf. Internat. sur le Tournesol. Clermont-Ferrand: 133-136.
- DE LEON, L. M.- 1974.- Effects of date of seeding of sunflower in irrigated plots on seed yield and oil content. In 6th Internat. Sunflower Conf. Bucharest.
- DENMEAD, O. T. and SHAW, R. H.- 1960.- The effect of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn.- Agron. J. 52: 272-274.
- DENMEAD, O. T. and SHAW, R. H.- 1962.- Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions.- Agron. J. 45 : 385-390.

- DOWNES, R. W.- 1974.- Environmental and physiological characteristics affecting sunflower adaptation. Internatl. Sunflower Cnf. Bucharest.
- DOWNEY, L. A.- 1970.- Water use by maize at three plant densities. C.S.R.O. Division of irrigation Research Griffith. N.S.W. 2680. Australia.
- DOWNEY, L. A.; MILLER, J. W.- 1970.- Rapid measurements of relative turgidity in maize (*Zea mays*, L.).- *New Phytol.* 70 555-560.
- DOWNEY, L. A.- 1971 a.- Water requirements of maize.- *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*: 32-41.
- DOWNEY, L. A.- 1971 b.- Effect of gypsum and drought stress on maize (*Zea mays*, L.) II. Consumptive use of water. -- *Agron. J.* 63: 597-600.
- DOWNEY, L. A.- 1971 c.- Effect of gypsum and drought stress on maize (*Zea mays*, L.) I. Growth, light absorption and yield.- *Agron. J.* 63: 569-572.
- DYER, A. J. and MAHER, F. J.- 1965.- Automatic eddy-flux measurement with evapetron.- *J. Appl. Meteorol* 4 : 622-625

- DYER, A. J.; HICKS, B. B. and KING, K. K.- 1967.- The fluxatron.-  
A revised approach to the measurement of eddy fluxes in the lower atmosphere.- J. Appl. Meteorol. 2:  
408-413.
- ECKARDT, F. E.; METHY, M.; SAUGIER, M. et SAUVEZON, R.-1971.- Fonctionnement d'un écosystème au niveau de la production primaire. Mesures effectuées dans une culture d'*Helianthus annuus*.- Decol. Plant 6 51-100.
- EELES, G. W. O.- 1959.- Installation of access tubes and calibration of neutron moisture meters.- Institute of Hydrology. Repert N° 7 U. K.
- F.A.O.- 1971.- Proyecciones para productos agrícolas 1970-1980.- Madrid 1971.
- FLEMING, P. M.- 1966.- Crop water requirements and irrigation.- World Meteorology Organization Regional; Seminar - on Agro-meteorology. Melbourne.
- FUCHS, M. and STANHILL, G.- 1963.- The use of Class A evaporation Pan data to estimate the irrigation water requirements of the cotton crop.- Israel J. Agric. Res. - 13: 63-78.

- GARDNER, W. R.- 1960.- Dynamic aspects of water availability to - plants.- Soil Sci. 89 : 63-73.
- GARDNER, W. R. and EHLIG, C. F.- 1962.- Some observations on the movement of water to plant roots.- Agron. J. 54 : 453-456.
- GARDNER, W. R. and EHLIG, C. F.- 1963.- The influence of soil water on transpiration by plants.- J. Geophys. Res. 68 : 5719-5724.
- GARDNER, W. R.- 1974.- The permeability problem.- Soil Sci. 117 : 243-249.
- GERALDSON, M. C. and DUNCAN, G. W.- 1970.- Corn yields with optimal nutrients and water.- Soil and Crop Sci. Soc. of Florida. 30 : 259-262.
- GENTER, C. F. and GAMPER, H. M. Jr.- 1973.- Component plant part development in maize as affected. by hybrids and - population density.- Agron. J. 65 : 669-671.
- GIMENEZ, O. R.- 1968.- El riego del maiz.- Agricultura. 37: 126-130.

- GIMENEZ, O. R. and BEREGENA, J.- 1972.- Evapotranspiration in a - sunflower (*Helianthus annuus*, L.) crop in a semiarid zone.- In 5th Internatl. Sunflower Conf. Clermont Ferrand; 31-35.
- HAISE, H. R. and HAGAN, R. M.- 1967.- Soil plant and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. In Irrigation of agricultural lands. Ed. by R. M. HAGAN; H.R. HAISE and T. W. EDWINSTER. Am. Soc. -- Agron. Madison; Wis : 577-604.
- HALLAIRE, M.- 1953.- Diffusion capillaire de l'eau dans le sol et repartition de l'humidité en profondeur sous sols nus et cultivés.- Ann. Agron. 4 : 143-244.
- HALLAIRE, M.- 1960.- Le problème du potentiel de l'eau dans le sol et de la disponibilité de l'eau pour la végétation.- Ann. Physiol. Veg. 14 : 119-130.
- HARROLD, L. L. et al.- 1959.- Transpiration evaluation of corn -- grown on a plastic covered lysimeter.- Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 23 : 174-175.
- HARTUNG, W.; WITT, J.- 1968.- Effect of soil moisture on the growth substance content of *Anastatica hierochuntica* and - *Helianthus annuus*.- Flora, Jena (B) 157: 603-614.

- HILLEL, D.- 1973.- Soil and water: Physical principles and processes.- Ed. Academic Press INC. N. Y.
- HOLMES, J. W.- 1956.- Calibration and field use of the neutron scattering method of measuring soil water content. Aust. J. Appl. Sci. 7 : 45-58.
- HOLMES, R. M. and ROBERTSON G. W.- 1963.- Application of the relationship between actual and potential evapotranspiration in dry land agriculture.- Trans. A S A E, 6 65-67.
- HOLMES, J. W.; TAYLOR, S. A. and RICHARDS, S. J.- 1967.- Measurement of soil water.- In irrigation of agricultural Lands. Ed. R. M. HAGAN, H. R. HAISE, and T. W. EDMINSTER. Am. Soc. Agron. Madison. 275-303.
- HOWE, O. W. and RHOADES, H. F.- 1955.- Irrigation practice for corn in relation to stage of plant development.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19 : 94-98.
- IKONNIKOV, P.A.- 1973 a.- Critical period in ontogenesis of sunflower and occurrence of some physiological processes as affected by soil-moisture stress.- Referativnyi Zhurnal. 255-635.

- IKONNIKOV, P. A.- 1973. b.- The main causes of decreases in yield of sunflower subjected to periodic soil moisture - stress during organogenesis.- Referativnyi Zhurnal 283-287.
- KRAMER, P. J.- 1963.- Water stress and plant growth.- Agron. J. 55 31-35.
- LEMON, E.- 1963.- Energy and water balance of plant communities.- In. Environmental control of plant growth. Ed. by. L. T. EVANS. Academic Press : 55-57.
- MALLET, J. B.; JAGER, J. M. DE.- 1971.- Identification of a day of moisture stress in maize at Cedara.- Agroplanta 3 45-49.
- MARTY, J. R.; PUECH, J.; DECAU, J. et MAERTENS, cl.- 1972.- Effets de l'irrigation sur la production et la qualité du tournesol.- In 5<sup>e</sup> Conf. Internat. sur de Tournesol: Clermont Ferrand: 46-54.
- MCILROY, I. C. and ANGUS, D. E.- 1964.- Grass, water and soil evaporation at Apsendale.- Agric. Meteorol. 1: 201-224
- MILIC, M.- 1967.- Irrigation rate and fertilizer application to - sunflower in Metohija.- Savr. Poljopr. 15 ; 973-980

- MOOLANI, M. K. and BEHL, N. K.- 1968.- Investigation of the irrigation requirements of hybrid maize in arid regions - of the Punjab.- Ann. Arid. Zone. 7 : 105-115.
- MORAGHAN, J. T. and TIEDEMAN, P.- 1972.- Utilization of soil moisture by corn and sugarbeet.- North Dakota Farm Research 30: 29-32.
- MURIEL, F. J. L. y MARTIN, A. J.- 1974.- Observaciones sobre las características y distribución de lluvia en un área experimental.- Asociación Española para el Progreso de las Ciencias: Coloquio sobre Problemas de Meteorología Agrícola. MURCIA, 1972.
- NAGY, Z.; BIANU, F. and BUDIU, V.- 1971.- Investigation of the water consumption and irrigation regime for maize --- 1964-1970.- Lucrari Stiintifice Institutul, Agonomic, Dr. Petru Groza, Agricultura. 27: 157-167.
- NAMKEN, L. N. and LEMON, E. R.- 1960.- Field studies of internal - moisture relations of the corn plant.- Agron. J. 52: 643-646.
- NICOLAS, E.; PIERRE, J. G. et ROLLIER, M.- 1974.- Contribution à l'étude des besoins en eau du tournesol. In 6th Internatl. Sunflower Conf. Bucharest.

- NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. and ERH, K. T.- 1973.- Spatial variability of field-measured soil-water properties.- *Hilgardia*. 42 : 215-259.
- OLIVER, S. B. y OLIVER, C. B.- 1970.- Normalización del control de calidad de las aguas.- Ed. Centro de Estudios, Investigación y Aplicación del Agua. 16-18.
- PAPADAKIS, J.- 1966.- Climates of the world and their agricultural potentialities.- Av. Córdoba 4564, Buenos Aires Argentina.
- PENMAN, H. L.- 1948.- Natural evaporation from open water, bare soil and grass.- *Roy. Soc. Proc. London, A* 193: 120-145
- PENMAN, H. L.- 1956.- Evaporation: An introductory survey.- *Neth. J. Agric. Sci.* 4 : 9-29.
- PETERS, D. B. and RUSSELL, M. B.- 1939.- Relative water losses by evaporation and transpiration in field corn.- *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 23 : 170-173.
- PHILIP, J. R.- 1966.- Plant water relations: some physical aspects.- *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 17 : 245-268.
- PHILIP, J. R.- 1969.- Theory of infiltration.- *Advan. Hydroscience*, 5 : 216-296.

- PIPPER, S. C.- 1960.- The determination of organic carbon: Walkley and Black's rapid titration method.- Soil and plant analysis. 223-227.
- POWER, J. F. et al.- 1973.- Effect of supplemental water on barley and corn production in a subhumid region.- Agron. J. 65 : 464-467.
- PUEH, J. et al.- 1968.- Comparison between the water uptake and dry matter production of some irrigated crops.- Ann. Agron. 19 : 365-378.
- RATAN LAL.- 1974.- Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soil.- Plant and Soil, 40 : 129-143.
- RENEA, S. and OLTEANU, F.- 1960.- Some cultivation measurement for the growing of sunflower under irrigation.- Anal. Ins. Cercetari Agron. 27 : Ser, B; 33-41.
- RHOADES, F. M. and STANLEY, Jr. R. L.- 1973.- Response of three corn hybrids to low levels of soil moisture tension in the plow layer.- Agron. J. 65 : 315-318.
- RICHARDS, L. A.- 1949.- Methods of measuring soil moisture tension.- Soil Sci. 68 : 95-112.

- RICHARDS, L. A.- 1967.- Determination of the moisture characteristic in the range pF 3-4,3 by mean of the pressure membrane apparatus.- West European Methods of Soil Structure Determination. 62-65.
- RIJTEMA, P. E.- 1966.- Evapotranspiration.- Institute for Land and water Management Research. Technical Bulletin N° 47 WAGENINGEN.
- ROBELIN, N.- 1967.- Action et arrière-action de la sécheresse sur la croissance et la production du tournesol.- Ann. Agron. 18 : 579-599.
- RODINS, J. S. and DOMINGO, G. E.- 1953.- Some effects of severe - soil moisture deficits at specific growth stages in corn.- Agron. J. 45 : 618-621.
- RODICA, P. and SIPOS, G. H.- 1974.- Evapotranspiration of sunflower crops in southern Romania.- In 6th Internatl. - Sunflower Conf. Bucharest.
- ROLLIER, M.- 1971.- Etude des besoins en eau du tournesol.- CETIOM. Note 47.
- RONCIARELLI, F.- 1972.- The sunflower in Italy. Ecological requirements and cultivation prospects.- Italia Agricola 109 : 33-34.

- SANCHEZ-DIAZ, M.; MOREY, M. y GONZALEZ-BERNALDEZ, F.- 1969.- Reacciones fisiológicas de las hojas de sorgo y de maiz a la sequia. I. Respuesta de la transpiración y el alargamiento foliar. An. Edaf. Agr., 28 : 735-745.
- SANCHEZ-DIAZ, M. and KRAMER, P. J.- 1971.- Behavior of corn and sorghum under water stress and during recovery.- Plant Physiol, 48 : 613-616.
- SAVULESCU, L. P.- 1974.- Drought resistance variability in sunflower.- In 6th Internatl. Sunflower Conf. Bucharest.
- SAVULESCU, L. P.; MILICA, C. I. and VRANCEANU, A. V.- 1971.- Resistance of sunflower to drought at various stages of growth.- Analele Institutului de Cercetari pentru Cereale si plante tehnice; Fundulea. Rumania.
- SAVULESCU, L. P.; MILICA, C. I. and VRANCEANU, A. V.- 1972.- Etude de la resistance a la sécheresse pendant diferentes phases de végétation chez le tournesol.- 5th Conf. Internatl. sur le Tournesol. Clermont-Ferrand.
- SCHAWARZENBACH, G.- 1959.- Las complexonas en el análisis químico. Ed. Atlas, Madrid. 71-74.

- SHINN, J. H. and LEMON, E. R.- 1968.- Photosynthesis under field - conditions. XI. Soil-plant-water relation during - drought stress in corn.- Agron. J. 60 : 337-343.
- SINDICATO NACIONAL DEL OLIVO.- 1973.- Libro blanco del aceite de oliva.- Ed. Sindicato Nacional del Olivo. MADRID.
- SIONIT, N.; GHORASHY, S. R. and RHERADNAH, M.- 1973.- Effect of - soil water potential on growth and yield of sunflo<sub>w</sub>er (*Helianthus annuus*).- J. Agric. Sci.; Camb. 81 113-116.
- SLATYER, R. O.- 1967.- Plant-water relationships.- Ed. Academic Press. I.N.C. N. Y.
- SLAVIK, B.- 1973.- Transpiration resistance in leaves of maize -- grown in humid and dry air.- In Plant Response to Climatic Factors. Proc. of the Uppsala Symposium . Paris, 267-269.
- SOIL SURVEY.- 1951.- Soil survey Manual.-U.S.D.A.; 123-137.
- SOPHER, Ch. D. and McCracken, R. J.- 1973.- Relationships between soil properties, management practices and corn --- yields on south atlantic coastal plain soils.- Agron. J. 65 : 595-599.

- STANHILL, G.- 1957.- The effect of differences in soil moisture - status on plant growth: A review and analysis of - soil moisture regime experiments.- Soil Sci. 84 : 205-214.
- STANHILL, G.- 1962.- The control of field irrigation practice from measurements of evaporation.- Israel J. Agric. Res. 12 (2) 51-62.
- STANHILL, G.- 1965.- The concept of potential evaporation in arid zone research.- In Methodology of plant Eco-physiology. Arid Zone Res. Soc. Amer. 19 : 418-423.
- STONE, J. F. ; KIRKMAN, D. and READ, A. A.- 1955.- Soil moisture determination by a portable neutronscatter meter.- Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 19 : 418-423.
- SWINBANK, W. C.- 1965.- The measurement of exchanges between the -- atmosphere and the underlying surface.- In Methodology of Plant Eco-physiology. Arid Zone Res. XXV. UNESCO Paris. 83-86.
- TANNER, C. B.- 1960.- Energy balance approach to evapotranspiration from crops.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24: 1-9.
- TANNER, C. B.- and LEMON, E. R.- 1962.- Radiant energy utilized in evapotranspiration.- Agron. J. 54 : 207-212.

- TANNER, C. B.- 1963.- Energy relations in plant communities.- In -  
Environmental Control of Plant growth. Ed. by L. T.  
EVANS. Academic Press. 141-147.
- TANNER, C. B.- 1967.- Measurement of evapotranspiration.- In Irri-  
gation of agricultural Lands. E. R. M. HAGAN, H. R.  
HAISE and T. W. EDMINSTER. Am. Soc. Agron. MADISON  
534-574.
- TAYLOR, S. A.- 1952.- Use of mean moisture tension to evaluate the  
effect of soil moisture on crop yields.- Soil Sci.  
74 : 217-226.
- TAYLOR, H. M. and KLEPPER, B.- 1973.- Rooting density and water ex-  
traction patterns for corn (Zea mays, L.).- Agron.  
J. 65: 965-968.
- THORNTONWAITE, W. C.- 1948.- An approach toward a rational classifi-  
cation of climate.- Geogr. Rev. 89-91.
- THORNTONWAITE, W. C.; WILM, M. G. et al.- 1954.- A re-examination of  
the concept measurement of potential evapotranspira-  
tion.- John Hopkins University. Publications in -  
Climatology. 12 : 250-259.

THORNTON, C. W. and HARE, F. K.- 1965.- Agricultural meteorology.- Meteorological monographs 6 (28) 163-180, AMS, Boston Mass.

TRIPATHI, H. P.; SINGH, S. P. and SINGH, R. R.- 1970.- Effect of moisture regimes and nitrogen levels under different plant population on hybrid maize, grown in summer season.- Balwant Vidiapeth J. of Agr. and Scienti. Research. 10 : N<sup>o</sup> 1.

TRIPATHI, H. P.- 1971.- Quality of summer maize (Zea mays, L.) in relation to nitrogen levels, plant population and irrigation regimes.- Madras Agricultural Journal. 58 551-554.

TURC, L. 1961.- Evaluation des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour.- Ann. Agron 12.

UZIAK, Z.- 1973.- Relationship between nitrogen and potassium utilization and water supply in rape and sunflower.- Annales Universitatis Mariae Curie. Skłodowska. 28 49-62  
En Field Crop Abstract 1969, 3550.

VAADIA, Y. and WAISEL, Y.-1967.- Physiological processes as affected by water balance.- In Irrigation of agricultural Lands. Ed. R. M. HAGAN, H. R. HAISE and T. W. EDMISTER. Ann. Soc. Agron. MADISON. Wis., 354-372.

- VAN BAVEL, C. H. M.; NIXON, P. R. and HAUSER, V. L.- 1963.- Soil - moisture measurement with neutron method.- U.S.D.A. ARS. 41-70 : 1-39.
- VEIHMEYER, F. J. and HENDRIKSON, A. H.- 1949.- Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of - soil.- Soil Sci. 68 : 75-94.
- VRANCEANU, A. V.- 1974.- Floarea-Soarelui.- Academiei Republicii - Socialiste. ROMANIA.
- WANGATI, F. S.; DAGG, M. and NGUGI, P.- 1967.- Water use efficiency of maize.- Ed. Afr. Agric. and Forestry Res. Organ. Record of Research. Ann. Report. 18-21.
- WATSON, D. J.- 1952.- The physiological basis of variation in yield. Ann, Agron. 4 : 101-145.
- WATTS, W. R.- 1972.- Leaf extension in Zea mays. Leaf and water potential in relation to root-zone and air temperatures.- Journal of Experimental Botany. 23 : 704-712.
- WEATHERLEY, P. E.- 1950.- Studies in the water relations of the cotton plant. The field measurement of water deficit in leaves.- New Phytol. 49 : 81-87.

WESSELIUS, J. C. and BROUWER, R.-- 1972.-- Influence of water stress on photosynthesis, respiration and leaf growth of zea mais L.-- Mededeelingen Land-bauwhogeschool Wageningen, Netherland. 1-15.