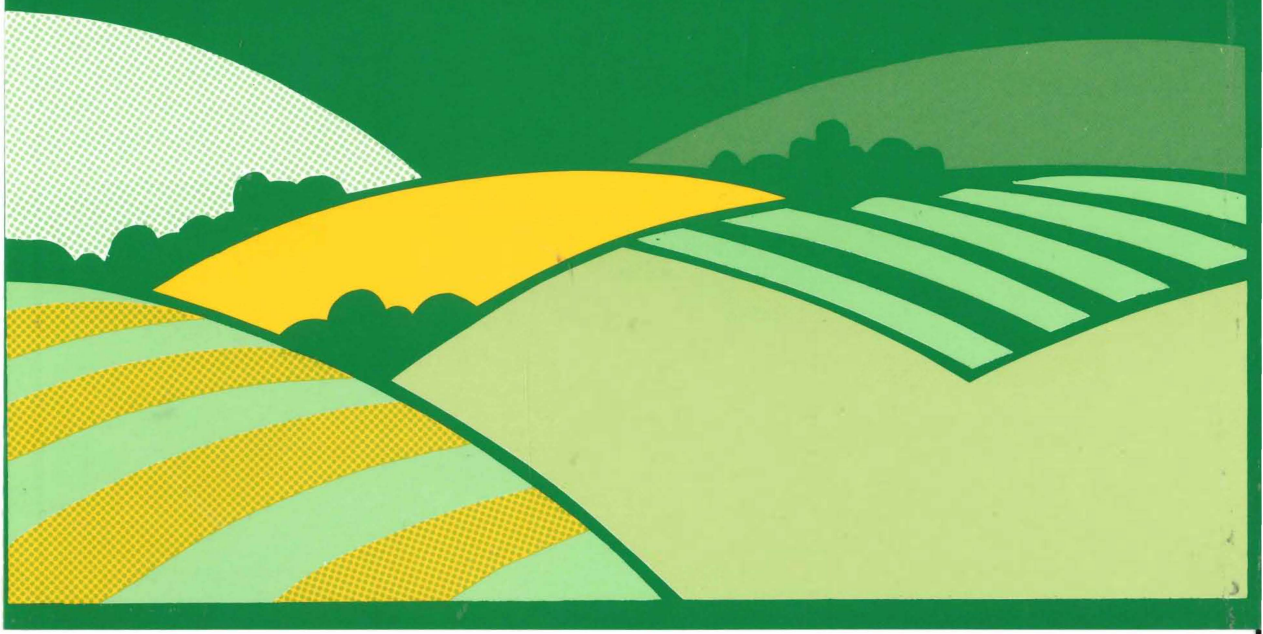
ISSN: 1130-6017

ITEA

PRODUCCIÓN VEGETAL

Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

1999 – Vol. 95V N.º 1



I T E A

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

1999 - AÑO XXX
Vol. 95V N.º 1

DIRECCIÓN Y REDACCIÓN
Montañana, 176 - Apartado 727
50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)
Tel.: 34-976 576311
Fax.: 34-976 575501
E-mail: alberti@mizar.csic.es
notivol@mizar.csic.es
joseluis@mizar.csic.es

Depósito legal: Z-577-82
ISSN: 1130-6017
INO Reproducciones, S.A.
Polígono Miguel Servet, nave 13
50013 Zaragoza

COMITÉ DE REDACCIÓN

DIRECTOR: Pere Albertí Lasalle
SUBDIRECTOR: Joaquín Uriarte Abad
SECRETARIOS: Serie Producción Vegetal: Eduardo Notivol Paíno
Serie Producción Animal: José Luis Alabart Álvarez
VOCALES: José Álvarez Álvarez
Rafael Delfa Belenguer
Joaquín Gómez Aparisi
Emilio Manrique Persiva
Clara Marín Alcalá
Juan A. Marín Velázquez
Luis Pérez y Pérez
M.ª Dolores Quílez Sáez de Viteri
Carlos Zaragoza Larios

JUNTA DIRECTIVA DE A.I.D.A.

PRESIDENTE: Leonardo Plana Claver
VICEPRESIDENTES: 1.º Emilio Manrique Persiva
2.º Rafael Socias i Company
SECRETARIO: José Álvarez Álvarez
TESORERO: Joaquín Uriarte Abad
VOCALES: José Folch Pera
Miguel Cambra Álvarez
Ricardo Revilla Delgado
Joaquín Gómez Aparisi
Antonio Felipe Mansergas
Pere Albertí Lasalle
Dunixi Gabiña Iturriaga

El coste de ITEA en 1998 ha ascendido a 2.846.681 pesetas, que ha sido financiado por los ingresos habidos en concepto de suscripciones, venta de números sueltos y la aportación de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.

Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa
de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, editor titular del Copyright.

ITEA no se responsabiliza necesariamente con las opiniones vertidas en los artículos firmados
que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

Suscripciones y Distribución

Información Técnica Económica Agraria publica tres números en volumen. En 1999 se publicarán los volúmenes 95A y 95V correspondientes a las series Producción Animal y Producción Vegetal.

El precio de la suscripción para 1999 será de 4.000 ptas. ó 24 € para una serie y de 5.500 ptas. ó 33 € para las dos series.

Se acepta el intercambio con otras revistas.

ITEA. Apartado 727. 50080 Zaragoza (ESPAÑA)

RELACIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN ITEA (PRODUCCIÓN VEGETAL) DURANTE 1998

AUTOR Y TÍTULO	Rev. n.º	Pág.
M.A. ACHÓN, E. SIN: *Efecto del virus del mosaico enanizante del maíz (MDMV) en el establecimiento de plantas de maíz y su vigor*	94V-3	109
M.J. ARANZANA: *Mejora del pimiento (Capsicum annuum. L.) para resistencia al virus de las manchas bronceadas del tomate (TSWV)*	94V-1	33
M.L. BADENES, J. MARTÍNEZ-CALVO, M. LORENTE, G. LLÁCER: *Características del cultivo y de la mejora del melocotonero en Estados Unidos*	94V-3	165
D. BARRANCO, E. FERNÁNDEZ-OCAÑA: *Influencia de la aplicación de fósforo y paclobutrazol y del volumen del contenedor y el anillado en el crecimiento y la fructificación de plantas jóvenes de olivo (Olea europaea, L.)*	94V-2	51
J.A. CONESA MOR, M. SANZ ELORZA: *Azolla Filiculoides Lam. y Heteranthera limosa (SW.) Willd., dos nuevas malas hierbas de los arrozales altoragoneses*	94V-3	177
M.C. DUSSI, E. SÁNCHEZ, A. VERONESI: *Efecto del aclareo químico de frutos en cultivares de manzanos 'Fuji', 'Royal Gala' y 'Red Delicious'*	94V-3	138
S. EKINCI, L.M. ALBISU, M. AMEUR, T. AIT SALEM, G.V. COHEN, J.C. GÓMEZ GARCÍA, R.J. NÚÑEZ PASTORI, I. TEKELIOGLU: *Modelización de los precios de la almendra en España*	94V-2	89
R. GIL ORTEGA, F. VILLA, P. ARCE, J.I. MACUA: *Comparación de variedades de alcachofa de propagación vegetativa y por semilla*	94V-1	13
C. GODOY A., H. GARZA S., M.ª V. HUITRÓN R.: *Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid (Vitis vinifera L.) bajo diferentes condiciones hídricas*	94V-3	129
A. LAGARDA MURRIETA, M.ª DEL C. MEDINA MORALES, J. ARREO-LA ÁVILA: *Efecto de la poda y aclareo de árboles adultos sobre la producción de nuez del nogal pecanero*	94V-3	148
P. MARTÍNEZ-GÓMEZ, F. DICENTA: *Evaluación de la resistencia al virus de la sharka (Plum pox potyvirus) en albaricoquero*	94V-2	76
M.ª DEL C. MEDINA MORALES, P. CANO RÍOS: *Determinación de la época óptima para muestreo foliar de nutrientes en melón (Cucumis melo L.)*	94V-2	67
L.E. MORENO ALVARADO, S. GODOY ÁVILA, E.A. GARCÍA CASTAÑEDA: *Defoliación química de nuevas variedades de algodonero*	94V-1	5
P. PÉREZ-MARCO: *Efecto de tres tipos de laboreo sobre el crecimiento y el rendimiento de la cebada en un secano semiárido del Valle del Ebro*	94V-2	56
M. SANZ, J. PASCUAL, J. MACHÍN: *Análisis floral de hierro para la predicción de clorosis férrica en manzano*	94V-3	158
A. SIMÓN, A. GURRÍA: *Influencia de varios tratamientos de riego y de la florada sobre la calidad post recolección del champiñón (Agaricus bisporus)*	94V-1	21
J.A. ZEGBE DOMÍNGUEZ, M.H. PÉREZ BARRAZA, J.L. CHAN CASTAÑEDA: *Influencia de la poda en melocotonero cultivado bajo secano en el trópico mexicano*	94V-3	118

RELACIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN ITEA (PRODUCCIÓN ANIMAL) DURANTE 1998

AUTOR Y TÍTULO	Rev. n.º	Pág.
J.M. AFONSO, D. MONTERO, L. ROBAINA, M. IZQUIERDO, R. GINÉZ: *Asociación de una lordosis/escoliosis/cifosis a la estructura familiar en la cría intensiva de dorada (Sparus aurata)*	94A-3	344
S. ÁLVAREZ, J. CAPOTE, M. FRESNO, J.V. DELGADO, C.J. BARBA, J.M. AFONSO, E. RODERO: *Caracterización morfométrica de los recursos genéticos ovinos canarios*	94A-3	362
C.J. BARBA, J.V. DELGADO, A.C. SIERRA, J.M. AFONSO: *Mejora y conservación genética de las variedades del Podenco andaluz*	94A-3	355
A. BLASCO: *La controversia bayesiana en mejora animal*	94A-1	5
J.L. CAMPO, M. GARCÍA GIL: *Nuevos caracteres en los objetivos de selección de los programas de mejora avícola*	94A-3	244
A. CLOP, C. OVILO, A. COLL, C. BARRAGÁN, J. M. FOLCH: *Informatividad de marcadores moleculares tipo microsatélite en dos poblaciones de cerdos de raza Ibérica y Landraca*	94A-3	351
N. CHARFEDDINE, R. ALENDA: *Conceptos económicos en un programa de mejora genética en vacuno de leche*	94A-3	179
C. DÍAZ, A. MORENO: *Mejora genética de la producción de fibras de Cachemira*	94A-3	216
S. ESPINEL, A. ARAGONÉS: *Mejora genética del pino radiata (Pinus radiata d.Don) en el País Vasco*	94A-3	290
Mª.J. ESPINOSA PASCUAL, J.J. JURADO GARCÍA: *Estima de parámetros genéticos para prolificidad en ganado ovino mediante muestreo de Gibbs. Resultados preliminares*	94A-3	297
E. FANTOVA, CH. BRU, E. SEVILLA, J. QUINTÍN, S. CONGOST, J.L. ALABART, J. FOLCH: *Resultados de inseminación artificial en el marco del esquema de selección por prolificidad en las ganaderías de Carnearagón*	94A-2	93
A. FERNÁNDEZ, M.C. RODRÍGUEZ, R. IPINZA: *Estimación Bayesiana de parámetros genéticos y efectos de procedencia de caracteres de crecimiento en Eucalyptus.*	94A-3	279
J. FERNÁNDEZ MARTÍN, M.A. TORO IBÁÑEZ: *Selección asistida por marcadores para caracteres no*	94A-3	340
B. FERNÁNDEZ, M. TORO, A. CABALLERO: *Estrategia de selección para controlar la consanguinidad en programas de mejora*	94A-3	334
M.L. GARCÍA, J. CIERE, M.P. VIUDES DE CASTRO: *Comparación entre la inseminación artificial y la monta natural en España. Estudio económico teórico*	94A-2	81
E.A. GÓMEZ, O. RAFEL, J. RAMON: *Caracteres de crecimiento simple entre líneas de conejo especializadas*	94A-3	250

D. HERNÁNDEZ, M.J. CARABAÑO, R. REKAYA:
Estima de parámetros genéticos para poblaciones de vacuno lechero mediante metodología bayesiana 94A-3 305

J.A. MENDIZÁBAL, A. PURROY, M.J. BERIAIN, G. LIZASO, K. INSAUSTI:
Medida del grado de veteado de la carne mediante análisis de imagen. Caso de la carne de toro de Lidia. 94A-1 43

A. MOLINA CASANOVA, H. VERGARA PÉREZ, C. FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, L. GALLEGO MARTÍNEZ:
Relación entre los depósitos grasos internos, el peso vivo y la nota de condición corporal en ovejas de raza Manchega 94A-1 49

J.C. OSÓRIO, G.A. MARÍA, P. JARDIM, E. FARIA, M. PIMENTEL:
Caracteres de crecimiento, sacrificio y canal en corderos de raza Corriedale, criados en un sistema sostenible sobre pastos naturales de Río Grande do sul (Brasil) 94A-1 63

K. OSORO, M. OLIVÁN, R. CELAYA:
Comportamiento productivo de las vacas de cría en comunidades vegetales de montaña constituidas por agrostis-festuca-nardus-calluna y dominadas por herbáceas..... 94A-2 109

J. RODRIGÁNEZ, M. TORO, C. RODRÍGUEZ, L. SILIÓ:
La huella de Ruperta 94A-3 316

M. SAN CRISTÓBAL-GAUDY, L. BODIN, J.M. ELSEN, C. CHEVALET:
Selección para un óptimo: aplicación al tamaño de la camada en ovino. 94A-3 206

F. SAN PRIMITIVO, U.M. EL-SAID, J.A. CARRIEDO:
Concentración de células somáticas en leche de oveja y resistencia a la mamitis: nuevos objetivos de selección 94A-3 236

A. SÁNCHEZ-PALMA, E. MANFREDI, J.M. SERRADILLA:
Selección de ganado caprino utilizando la información del gen de la caseína a_{s1} 94A-3 255

M.ª E. SELDAS, J.J. JURADO, M. GARCÍA, V. MONTORO, M.ª D. PÉREZ-GUZMÁN:
Primeros resultados de la morfología mamaria en ganado ovino manchego 94A-3 226

M. SERRANO, J.J. JURADO, M.D. PÉREZ-GUZMÁN, V. MONTORO:
Modelización y estima de parámetros genéticos para la producción de leche y proteína en el día de control en la raza ovina Manchega 94A-3 325

L. TORRANO, J. VALDERRÁBANO:
Determinación de la entrada en pubertad en cabras blancas celtibéricas nacidas en otoño mediante observación de celos y análisis de progesterona 94A-2 101

N. VANDENBERGHE, M.L. CELA CASTRO, M. RICO GÓMEZ, A. CEBULAR VILLACÉ, A. MORENO GRANDE:
El mercado en origen de la leche: formación de los precios y estructura de los ingresos de los ganaderos..... 94A-2 125

L. VARONA, M. PÉREZ-ENCISO:
Detección de QTLS mediante la partición de la varianza genética en función del parentesco atribuible a segmentos del genoma 94A-3 265

G. YAGÜE, L.A. GARCÍA-CORTÉS, C. MORENO :
Teoría de juegos y optimización de los programas de mejora: fábula del mejorador egoísta y del mejorador altruista. 94A-3 271

EDITORIAL

En este mes de marzo el sector agrario de la Unión Europea (UE) está pendiente de las reuniones, manifestaciones, conversaciones y negociaciones que se están realizando en Bruselas, para concretar el marco de actuación en la Agenda 2000, o sea, la Política Agraria Comunitaria que regirá del 2000 al 2006.

Desde el año pasado se han presentado innumerables informes de todas las instituciones ligadas al mundo rural, explicando lo que ha sucedido en los últimos años, proponiendo modificaciones, aumentos de cuotas y de ayudas para el futuro.

Evidentemente las negociaciones "están muy complicadas", cada país y cada sector defiende sus intereses, cada cual quiere recibir más o, por lo menos, no perder lo conseguido mientras que muchos países se quejan de la carga presupuestaria que ello les implica.

Además, en algunos sectores como el del ganado vacuno los intereses de los ganaderos dentro del sector pueden ser contrapuestos. Así, a los ganaderos que tienen vacas de carne les interesa que se pague bien el ternero al destete, mientras que el ganadero que lo ha de comprar para engordarlo, al contrario, quiere terneros baratos. La producción de carne de vacuno en la UE ha sido tradicionalmente excedentaria, ya que el consumo tiene una tendencia decreciente constante que se aceleró con la crisis de las vacas locas. Por ello, para reducir excedentes se aplicó una ayuda para la eliminación de terneros recién nacidos que así no entraban en el circuito de engorde, la llamada prima "Herodes". La eliminación de estos terneros implica el aumento de precio de los animales restantes, al existir menor oferta, por lo cual aumenta el precio de compra y los costes de producción del ganadero que los engorda y al final el kilo de carne producido y que compramos es más caro. Este tipo de actuaciones parecen muy cuestionables desde el punto de vista técnico, ya que reduciendo el peso de sacrificio de los animales engordados o fomentando la reducción de la cabaña de vacas, se podría haber obtenido también la reducción de los excedentes de carne. Asimismo, la matanza de esos terneros creo que también es muy criticable desde el punto de vista moral, ya que conduce al despilfarro. Los ejemplos del sector de carne de vacuno supongo que pueden servir de ejemplo a lo ocurrido en otros sectores.

Habrá que replantearse que las ayudas sirvan para que los agricultores y ganaderos sean más competitivos y eficientes. Que las ayudas sirvan para mejorar estructuras, respetar el medio ambiente y crear empleo en el entorno rural; y que el montante total esté limitado para mejorar su reparto. Además, las ayudas no deben de eliminar el incentivo de aplicar las novedades técnicas que ofrecen los técnicos para hacer más eficientes y competitivos los distintos sectores agrarios.

Pere Albertí Lasalle
Director de ITEA

ITEA (1998), Vol. 95V N.° 1, 7-20

COMPORTAMIENTO DEL FRAMBUESO EN PLANTACIÓN EXPERIMENTAL: PRODUCCIÓN Y PERIODO PRODUCTIVO

E. Carcelén Fernández

Dpto. de Producción Vegetal
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Santiago
Campus Universitario s/n
27002 Lugo
España

RESUMEN

En las explotaciones de Arbustos Frutales de zonas templadas, la Frambuesa ocupa un lugar destacado. Es una fruta de cierto interés en el desarrollo cualitativo de las producciones vegetales.

En este trabajo, tras una descripción de la planta, se analiza el comportamiento productivo de variedades de frambueso durante cinco años en unas condiciones eco-culturales concretas.

Palabras clave: Frambuesa, Vegetación, Fructificación, Producción.

SUMMARY
PERFORMANCE OF RED RASPBERRY IN EXPERIMENTAL ORCHARD: PRODUCTION AND HARVEST PERIOD

Red raspberry culture has a prevalent position among small fruit culture in temperate zone. This fruit has an important role in the qualitative development of fruits demand by the consumers.

In this work after describing the plant caracteristics, it was studied the pruductive behaivour of cultivars of red raspberry during five years in determined ecologic and cultural conditions.

Key words: Red raspberry, Growth, Fruiting, Production.

Introducción

El material vegetal en frambueso es muy diverso. Se puede clasificar, teniendo en cuenta el binomio vegetación-fructificación, en dos grupos: "no remontante" y "remontante" que condicionan las técnicas de producción en condiciones naturales o forzadas, sobre todo la época de recolección. El número de cultivares es más elevado en el grupo "no remontante".

Los factores que califican un entorno de explotación son de distinta naturaleza: climáticos, edafológicos, socioeconómicos y comerciales. La competitividad de las pro-

ducciones en el sistema agroalimentario actual obliga a que estos factores se presenten de manera óptima o se adopten las decisiones correctoras adecuadas en la explotación.

En la explotación frutal la producción en calidad y cantidad es el objetivo esencial para alcanzar esa competitividad. Además hay que conseguir una regularidad productiva a lo largo de los años y que los costes de explotación estén en consonancia con el destino de la fruta. La recolección es la técnica cultural que más incide en los costes de explotación. En el frambueso casi monopoliza las necesidades anuales de mano de obra (MOREAU, 1988; COQUE *et al.*, 1994); por tanto, el nivel de cosecha y su regularidad son aspectos importantes.

También es importante tener en cuenta que en el frambueso la madurez de recolección de la fruta ocurre en un periodo bastante amplio que conlleva numerosos pases de recolección.

Este estudio tiene por finalidad aportar los resultados sobre producción y periodo productivo de un conjunto varietal de frambueso, a lo largo de cinco años de explotación en parcela experimental.

Primeramente se hace referencia a la botánica y material vegetal en frambueso por considerar que es un frutal poco habitual en nuestro país.

Botánica y Material Vegetal

El Género botánico *Rubus* de la familia *Rosaceae* es uno de los más diversos del Reino *Plantae*. Contiene gran número de especies silvestres y gran variedad de material vegetal mejorado para producción frutal.

FOCKE, en un trabajo monográfico publicado entre 1910 y 1914 (JENNINGS, 1988), divide el género *Rubus* en doce subgéneros. En el subgénero 10, *Idaeobatus*, se sitúa el Frambueso.

Sus especies, más de 200, crecen de forma espontánea principalmente en Asia y también en el este y sur de África, Europa y América del Norte (HUMMER, 1989; NARUHASHI, 1989; DALE *et al.*, 1989; YING *et al.*, 1989; CRANDALL y DAUBENY, 1990; GU *et al.*, 1993).

Las especies más importantes son *R. idaeus* L. y *R occidentalis* L., frambueso rojo y negro, respectivamente.

La mayor parte del material vegetal de frambueso rojo se ha derivado, fundamentalmente, de dos subespecies de la especie diploide *Rubus idaeus* L.: *R. i. vulgatus* Arrhen., de origen europeo y *R. i. strigosus* Michx., originaria de América del Norte y este de Asia. A las dos se les ha dado a veces el rango de especies, pero en la actualidad son generalmente consideradas subespecies. Difieren en que los frutos de *R.. i. vulgatus* son frecuentemente de un color rojo más oscuro y cónicos (forma de dedal), con pocos o ningún pelo glandular; mientras que los frutos de *R.. i. strigosus* son rojo claro, forma redondeada y tienen numerosos pelos glandulares. Además, el hábito de crecimiento de *R. i. strigosus* es más abierto y las cañas son más tenues o delgadas y glaucas o pálidas, con espinas más duras y de color más oscuro. *R. i. strigosus* es más resistente al frío invernal. Estas subespecies se entrecruzan con escasa o ninguna esterilidad en la progenie resultante (OURECKY, 1975).

El material vegetal mejorado para la producción frutal es muy complejo en su estructura genética. A lo largo de la historia, pero sobre todo en los últimos cincuen-

ta años, se ha seleccionado gran cantidad de material vegetal con los siguientes objetivos generales: precocidad de maduración de la fruta, altos rendimientos, producción en los crecimientos del año, adaptación ecológica, morfología de la planta, etc.

Dinámica de la producción

La estructura aérea del frambueso rojo está formada por un conjunto de vástagos axiales que emergen desde el suelo (cañas); nacen cada periodo de actividad (PA), permanecen en el periodo de letargo (PL) y continúan su desarrollo solamente durante el siguiente periodo de actividad. Es decir, las cañas tienen una longevidad natural o biológica menor a dos ciclos anuales (CA).

En el hemisferio norte, este proceso se puede formular de la manera siguiente:

$$\underline{CA_{n,\,n+1}} + \underline{CA_{n+1,\,(n+2)}} = \underline{PA_{n}} + \underline{PL_{n,\,n+1}}$$

$$+ \underline{PA_{n+1}} + (PL_{n+1,\,n+2})$$

Las cañas del frambueso son, por tanto, bienales: crecen en un PA_{n}, pasan el $PL_{n,\,n+1}$ y en el PA_{n+1} producen fruta en brotes laterales, por el desarrollo del extremo a la base (acrófugo o basípeto) de las yemas de sus nudos (JENNINGS y DALE, 1982). En algunas variedades, llamadas reflorecientes, al final del PA_{n}, en la parte extrema de las cañas se obtiene fruta (CARRERA, 1975).

Así, en cada PA las plantas presentan dos tipos de cañas (WAISTER *et al.*, 1977):

– Cañas nuevas ("primocanes") que se originan de la zona basal aérea o del sistema radicular con desarrollo vegetativo hasta su iniciación floral. Pueden fructificar parcialmente en la zona distal.

– Cañas fructíferas ("floricanes") que desarrollan ramos vegetativo-fructíferos a partir de sus yemas; éstas fueron las cañas nuevas en el PA anterior. Después de la fructificación mueren.

A los ramos vegetativo-fructíferos, desarrollados a partir de las yemas de las cañas se les llama laterales fructíferos. A nivel botánico, un lateral fructífero completo es un panícula de panículas.

Binomio vegetación-fructificación

No hay producción de fruta sin vegetación y la vegetación no tiene sentido sin fructificación en los cultivos frutales. Cualquier producción frutal se fundamenta, por tanto, en el binomio vegetación-fructificación:

El material vegetal de Frambueso, ante este binomio, de forma discreta, se puede sistematizar en dos grupos:

Grupo "no remontante": Variedades que fructifican en cañas "floricanes".

En un periodo de actividad (PA_{n}) desarrolla vegetación (madera) y *en el* $\underline{PA_{n+1}}$ *sobre esa madera se desarrolla vegetación-fructificación total; paralelamente se desarrolla nueva vegetación (madera) y* en el $\underline{PA_{n+2}}$ sobre . . .

En cada PA coexisten y compiten cañas "primocanes" y "floricanes", es decir vegetación y vegetación-fructificación total.

Grupo "remontante": Variedades que fructifican en cañas "primocanes" y "floricanes".

En un periodo de actividad (PA_{n}) desarrolla vegetación (madera) y vegetación-fructificación parcial en la zona distal y media de esta madera y *en el* $\underline{PA_{n+1}}$ *sobre la zona basal de esa madera se desarrolla vegetación-fructificación parcial; paralela-*

mente se desarrolla nueva vegetación (madera) y vegetación-fructificación parcial en la zona distal y media de esta madera y en el PA_{n+2} sobre . . .

En cada PA coexisten y compiten cañas "primocanes" y "floricanes", es decir vegetación y "doble" vegetación-fructificación parciales.

Para conseguir de manera más cómoda la producción de la fruta y mayor rentabilidad, se ponen en práctica numerosas y diversas técnicas culturales que modifican estos comportamientos biológicos ó naturales de coexistencia y competencia de "floricanes" y "primocanes".

Materiales y Métodos

Condiciones de la experiencia

La experiencia de campo se localizó en la comarca de la "Terra Cha" de la provincia de Lugo, en la finca "Granja Gayoso Castro" de la Diputación Provincial, situada en el municipio de Castro de Rey.

Se encuentra a tres kilómetros de la estación de primer orden del Instituto Nacional de Meteorología de Rozas (aeropuerto), situada a 444 m de altitud y con coordenadas 43° 06' de latitud norte y 7° 27' de longitud oeste. Los datos de esta estación se consideran representativos de las condiciones climáticas del emplazamiento experimental.

La zona de emplazamiento de la experiencia está sobre terraza fluvial: abundan los cantos rodados con diámetros de 3 a 8 cm; en el horizonte labrado se presentan individualizados; por debajo de esta capa están incluídos en una matriz arcillo-arenosa; más abajo se encuentran arcillas miocénicas con permeabilidad muy baja, siendo este un factor fundamental que controla las caraterísticas hidrodinámicas de la zona. El perfil del suelo, en base a los datos analíticos medios (NEIRA, 1994), se clasifica como Cambisol gleico.

Las determinaciones de laboratorio a profundidades 0-35 y 35-70 cm, ofrecen los siguientes resultados:

Material vegetal

Los cultivares de frambueso empleados se concretan a continuación con las siglas de identificación en la experiencia, nombre comercial del cultivar y su origen (JENNING, 1988; MOREAU, 1988):

	0 - 35	35-70
Arena	62,66	59,51
Limo	23,48	26,79
Arcilla	13,86	13,70
Textura	Franco arenosa	Franco arenosa
Conductividad e. s. (μs)	59,30	54,45
pH agua	6,21	6,45
Materia Orgánica (%)	11,04	8,07
Nitrógeno (%)	0,261	0,234
C / N	24,54	20,01
Fósforo (Olsen, ppm)	3,94	2,94
Potasio (Ac. Amón., ppm)	105	125

C1: "Malling Admiral". Complejo. East Malling, Inglaterra, 1971.

C2: "Malling Leo". Complejo. East Malling, Inglaterra, 1975.

C3: "Malling Exploit". Newburgh x (Pynes Royal Self x Lloyd George Self F_2). East Malling, Inglaterra, 1950.

C4: "Willamette". Newburgh x Lloyd George. Corvallis, Oregon, 1942.

C5: "Malling Promise". Newburgh x (Pynes Royal Self x Lloyd George Self F_2). East Malling, Inglaterra, 1944.

C6: "Gradina". M. Exploit x Rubin. Cacak, Yugoslavia, 1975.

C7: "Schoenemann". Lloyg George x Preussen. Max-Planck. Alemania.

C8: "Fallred" (1). Complejo. Durham, New Hampshire, 1964.

C9: "Scepter" (1). September x Durham. College Park, Maryland, 1966.

C10: "Puyallup Large". Washington x Taylor. Puyallup, Washington, 1953.

C11: "Meeker". Willamette x Cuthbert. Puyallup, Washington, 1967.

C12: "Glen Clova". Complejo. Invergowrie, Escocia,1969.

C13: "Autumn Bliss" (1). Complejo. East Malling, Inglaterra, 1983.

C14: "Delmes". Semilla (F.L.) de Schoenemann. Malicorne, Francia.

C15: "Heritage" (1). Durham x (Milton x Cuthbert). Geneve, New York, 1969.

C16: "Zeva Remontante" (1). (Indian Summer x Romy) x Romy. Wädenswill, Suiza, 1963.

C17: "Lloyd George". Complejo. Inglaterra.

C18: "Glen Moy". Complejo. Invergowrie, Escocia,1982.

(1): cultivar remontante

Preparación del suelo y plantación

Teniendo en cuenta los antecedentes culturales de la zona de emplazamiento de la experiencia (terreno a pradera natural sin ninguna labor cultural, dedicada a pastoreo de ganado vacuno en las épocas de primavera y otoño) y los resultados de los análisis, se llevaron a cabo las siguentes actuaciones:

En enero de 1988, se realiza una labor de 50 cm de profundidad con arado de vertedera, para eliminación, mediante enterrado, de la vegetación existente y para facilitar la evolución de la materia orgánica y porterior pase de cultivador para su regularización superficial.

En febrero de 1988, abonado de fondo con 600 kg/ha de 8-24-16; labor de vertedera de 40 cm de profundidad y pase de cultivador, para enterrado y regularización. Este abonado supone elevar el contenido en fósforo en unas 12 ppm y el potasio en unas 15 ppm.

En marzo de 1988, labor superficial con rotovator, para eliminar inicios de vegetación y allanar la superficie. Marqueo, alomado y plantación según diseño del experimento: parcela elemental de 12,5 m^2 (2,5 x 5 m).

En abril de 1988, rebaje total de las plantas e instalación del riego en línea con tres goteros (de 4 l/h) por metro. Instalaciones de entutorado de las plantas y de cortaviento artificial perimetral.

Técnicas culturales aplicadas

A lo largo de los ciclos anuales, las técnicas culturales aplicadas fueron:

– *Mantenimiento del suelo*: Laboreo en calles con fresadora, tres pases. La anchura

de la línea para el desarrollo de las cañas se limitó a 25-30 cm. En las líneas, los dos primeros años, se aplicó escarda a mano; a partir del tercer año, aplicación de herbicida (glifosato), a finales de febrero, antes de la fertilización. La separación de las variedades en las lineas se realizó con apertura y mantenimiento de zanja profunda.

– *Fertilización*: Aplicación al final del periodo de letargo de 25-50-75 kg/ha de N-P-K.

– *Riego*: Hasta completar 100 mm/mes, de mayo a septiembre, teniendo en cuenta la pluviometría superior a 10 mm/día.

– *Poda*: Se lleva a cabo de manera diferente para cada grupo varietal.

– Eliminación total de las cañas "floricanes", en las variedades "remontantes".

– Elección y rebaje a 1,60 m de unas 7 a 10 cañas "floricanes" por metro lineal y eliminación total de las restantes, en las variedades "no remontantes".

– *Defensa fitosanitaria*: No se aplicó ningún tratamiento.

– *Recolección*: Manual mediante pases sucesivos, cada dos o tres días.

Diseño y análisis experimental

La parcela elemental de estudio donde se llevaron a cabo las observaciones es de 12,5 m^2 (2,5 x 5 m). Inicialmente se colocaron 10 plantas de una misma variedad a una distancia de 0,5 m. Se establecieron tres repeticiones para cada variedad.

Este estudio se plantea a nivel del sujeto productivo, para conocer como influye el material vegetal en las características productivas.

En cada parcela elemental la fruta recolectada cada dos o tres días se pesa, deduciendo la fruta obtenida en el periodo productivo. En cada unidad experimental se establece como: *primer día de recolección* cuando el peso recolectado de fruta es superior a 50 g (40 kg/ha) y *último día de recolección* la fecha más temprana de las que deja de superarse esa cantidad durante tres pasadas sucesivas.

Mediante el Análisis de Varianza se estudia la influencia del factor variedad (variable cualitativa) sobre las variables cuantitativas que se van concretando en los apartados siguientes. Posteriormente se realiza una comparación de las medias de los niveles del factor estudiado mediante el método Student-Newman-Keuls (STEEL y TORRIE, 1986).

Resultados y Discusión

Producción

La producción en las plantaciones normalmente explotadas se sitúa entre los intervalos siguientes (MOREAU, 1988):

– Para variedades "no remontantes" entre 8 y 12 t/ha

– Para variedades "remontantes" entre 6 y 9 t/ha.

Las producciones medias anuales en kg/ha, obtenidas por transformación de los datos experimentales, se presentan para cada grupo varietal en el cuadro 1 (datos experimentales x 0.8 = kg/ha. Teniendo en cuenta la anchura de la calle que es de 2,5 m, resultan 4.000 m lineal/ha de seto. El factor 0,8 resulta de transformar los gramos de fruta recolectados (datos experimentales) en los 5 m lineal de seto de la parcela

elemental a kg/ha en los 4.000 m lineal/ha de seto).

Regularidad productiva

La regularidad productiva a lo largo de los años o, contrariamente, la variabilidad productiva, es otro aspecto de gran importancia a considerar. Incide directamente en la planificación de la recolección, necesidades de mano de obra, rendimiento de ésta, etc., factores que repercuten de forma importante en la competitividad de la explotación.

En el cuadro 1, junto a las producciones medias de cada variedad en kg/ha, se ex-

CUADRO 1
PRODUCCIONES MEDIAS (kg / ha) EN CULTIVARES DE FRAMBUESO
TABLE 1
MEAN YIELD (kg/ha) RED RASPBERRY CULTIVARS

Variedades "No remontantes"			Años 1989 a 1992	
	Media (kg/ha)	C.V.	Conjunto 0 (2)	Conjunto 1 (2)
"Willamette" C4	13.084	0.26	de	ab
"Malling Leo" C2	12.790	0.32	de	ab
"Lloyd George" C17	11.816	0.30	cde	ab
"Puyallup Large" C10	13.073	0.38	de	ab
"Gradina" C6	14.245	0.43	e	b
"Malling Exploit" C3	12.629	0.39	de	ab
"Malling Promise" C5	12.486	0.45	de	ab
"Glen Moy" C18	13.190	0.49	de	ab
"Meeker" C11	11.060	0.60	cde	ab
"Schoenemann" C7	8.790	0.56	abcde	ab
"Malling Admiral" C1	10.556	0.68	bcde	ab
"Glen Clova" C12	7.197	0.67	abcd	ab
"Delmes" C14	6.211	0.95	abc	a
				B (3)
G. "No Remontante"	11.317	0.50		

Variedades "Remontantes"			Años 1988 a 1992	
				Conjunto 2 (2)
"Autumn Bliss" C13	11.379	0.39	cde	d
"Fallred" C8	9.989	0.39	bcde	cd
"Heritage" C15	7.586	0.51	abcd	bc
"Zeva R." C16	5.009	0.58	ab	ab
"Scepter" C9	3.868	0.91	a	a
			A (3)	C
(3) G. "Remontante"	7.566	0.56		

(1). Medidas seguidas por letras distintas son significativamente distintas al 5% por el test SNK.
(2). Conjunto 0 = Conjunto de las 18 variedades. Conjunto 1 = Grupo de las 13 variedades "no remontantes". Conjunto 2 = Grupo de las 5 variedades "remontantes".
(3). Cuadrado Medio del Residuo: $A = 0.8^2 \times 37.692.312,64$
$B = 0.8^2 \times 45.386.471,53$
$C = 0.8^2 \times 21.974.245,18.$

pone el coeficiente de variación (C.V.) de la media del peso (en gramos) de fruta recolectada en cada parcela, para todos los años de la experiencia 1988 (89) a 92.

Aunque para una variedad es importante la producción media, se considera que también se debe tener en cuenta su regularidad productiva a lo largo de los años de explotación, para optimizar de forma integrada todos los factores que intervienen en la misma.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, sobre la producción y la regularidad productiva, y a la vista de los resultados del análisis de varianza, parecen más recomendables aquellas variedades que con una producción media adecuada tienen mayor regularidad productiva. Así se valoran mejor las variedades con más regularidad productiva, siempre que los niveles productivos medios sean normales. Por ello, las variedades ensayadas se han ordenado en el cuadro 1, con los siguientes criterios sucesivos:

1º: Alcanzar o superar el nivel productivo considerado normal, en la bibliografía consultada.

2º: Valor mayor del cociente entre la producción media obtenida y el coeficiente de variación.

Esta ordenación de las variedades por nivel productivo (producción y regularidad productiva) que se adopta en base a los resultados obtenidos, también se ha observado directamente en campo durante los años de la experiencia desde el punto de vista práctico.

Periodos productivos

La madurez de recolección de la fruta en los distintos cultivares de frambueso es escalonada y, por tanto, la recolección se lleva a cabo durante un periodo de tiempo más o menos amplio, que se denomina periodo productivo.

Este estudio pretende conocer los periodos productivos y los valores absoluto y relativo del comienzo y final de la recolección, para las variedades ensayadas y en las condiciones de la experiencia.

Es conocido que el periodo productivo de las variedades "no remontantes" (sobre cañas "floricanes") es menor que el de las variedades "remontantes" (sobre cañas "primocanes").

El periodo de recolección del primer grupo se sitúa entre 20 y 30 días y el del segundo entre 35 y 45 días (MOREAU, 1988), sin especificar las circuntancias técnicas de su comienzo y final para determinarlo. COQUE *et al.* (1994) establece que la maduración escalonada se alarga de 4 a 6 semanas, aunque el 80% de la producción se concentra de dos a cuatro. En base al estudio de una colección de 44 variedades "no remontantes", a 1.060 metros de altitud, el periodo productivo medio es de 33 días, considerando que comienza con los primeros frutos maduros y finaliza con la última pasada de recolección (TERRETTAZ, 1980).

En el cuadro 2 se exponen nuestros resultados medios para los años indicados.

A partir de estos resultados de nuestro ensayo, se observa que los periodos productivos medios de las variedades "no remontantes" son más cortos que los de las "remontantes", pero más amplios que los referenciados, al menos en las circunstancias de esta experiencia y con las condiciones técnicas establecidas para el primer y último día de recolección.

La propia fisiología del binomio vegetativo-fructífero, en cada grupo varietal, justi-

CUADRO 2
INICIO Y FINAL DE LA RECOLECCIÓN Y PERIODOS PRODUCTIVOS EN CULTIVARES DE FRAMBUESO
TABLE 2
INITIAL AND FINAL DATES OF HARVEST SEASONS AND MEAN HARVEST SEASON LENGTH

Variedad	Inicio Recolección			Final Recolección			Periodo Productivo		
	Valor Absoluto Medio	Conjunto 0 (2)	Con. 1 (2)	Valor Absoluto Medio	Con. 0 (2)	Con. 1 (2)	Medio (días)	Conj. 0 (2)	Con. 1 (2)
"Glen Moy" C18	9-Jun	a	a	26-Jul	a	ns	47	abc	ns
"Glen Clova" C12	16-Jun	a	ab	21-Jul	a	ns	36	ab	ns
"Malling Exploit" C3	17-Jun	a	ab	22-Jul	a	ns	36	ab	ns
"Malling Promise C5"	17-Jun	a	ab	23-Jul	a	ns	37	ab	ns
"Lloid George" C17	17-Jun	a	ab	1-Ago	a	ns	46	abc	ns
"Willamette" C4	18-Jun	a	ab	29-Jul	a	ns	41	abc	ns
"Malling Leo" C2	19-Jun	a	ab	31-Jul	a	ns	42	abc	ns
"Gradina" C6	21-Jun	a	ab	31-Jul	a	ns	41	abc	ns
"Malling Admiral" C1	22-Jun	a	ab	1-Ago	a	ns	41	abc	ns
"Delmes" C14	23-Jun	a	ab	25-Jul	a	ns	32	a	ns
"Puyallup Large" C10	25-Jun	a	ab	31-Jul	a	ns	37	ab	ns
"Meeker" C11	25-Jun	a	ab	30-Jul	a	ns	36	ab	ns
"Schoenemann" C7	26-Jun	a	b	3-Ago	a	ns	38	ab	ns
			B						
			(3)						
G. "No Remontante"							39		
			Con. 2 (2)			Con. 2 (2)			Con. 2 (2)
"Autumn Bliss" C13	26-Jul	b	c	15-Oct	b	ns	81	d	c
"Fallred" C8	7-Ago	bc	c	17-Oct	b	ns	72	d	bc
"Zeva R." C16	19-Ago	cd	cd	17-Oct	b	ns	59	c	ab
"Heritage" C15	31-Ago	de	cd	26-Oct	b	ns	57	bc	ab
"Scepter" C9	13-Sep	e	d	30-Oct	b	ns	47	abc	a
		A	C		D			E	F
		(3)	(3)		(3)			(3)	(3)
G. "Remontante"							63		

(1). Medidas seguidas por letras distintas son significativamente distintas al 5% por el test SNK.
(2). Conjunto 0 = Conjunto de las 18 variedades. Conjunto 1 = Grupo de las 13 variedades "no remontantes". Conjunto 2 = Grupo de las 5 variedades "remontantes".
(3). Cuadrado Medio del Residuo:

A = 169.8822. Dato de fecha 0 el día 150 (30 de mayo).
B = 42.9295. Dato de fecha 0 el día 150 (30 de mayo).
C = 417.4400. Dato de fecha 0 el día 198 (17 de julio).
D = 170.7025. Dato de fecha 0 el día 150 (30 de mayo).
E = 79.9254.
F = 106.3800.

fica esta diferencia de amplitud temporal del periodo productivo.

De la observación en campo, en cada grupo varietal, también parece deducirse que a mayor periodo productivo mejor adaptación varietal a las condiciones ecoculturales presentes.

Valor absoluto de la fecha de recolección

El valor absoluto (fecha de recolección de una variedad en una ecología concreta) del comienzo y del final de la recolección o del periodo productivo varían con el clima local y según la climatología del año en igualdad de otras circunstacias. De un clima precoz a uno tardío puede variar entre 30 y 40 días el comienzo de la madurez de recolección de una variedad (MOREAU, 1988). En una ecología concreta, la incidencia de las condiciones climáticas del año es menor, unos 10 días como máximo en variedades "no remontantes" (TERRETAZ, 1980).

Este trabajo, al llevarse a cabo en una ecología concreta, puede estimar solamente el segundo aspecto enunciado.

En el cuadro 2 se exponen nuestros resultados para los valores absolutos medios del inicio y del final de la recolección.

Inicio de la recolección

La fecha media de comienzo de la recolección del grupo "no remontante" es el 19 de junio y del grupo "remontante" el 19 de agosto.

En los años de la experiencia, la fecha de comienzo más precoz de la recolección de las variedades "no remontantes" es el 31 de mayo y corresponde a "Glen Moy" (C18), y la fecha de comienzo menos precoz el 2 de julio que corresponde a "Meeker" (C11). De las variedades "remontantes" la fecha de comienzo más precoz de la recolección es el 9 de julio y corresponde a "Autumn Bliss" (C13), y la fecha de comienzo menos precoz el 27 de octubre que corresponde a "Scepter" (C9).

Final de la recolección

La fecha media final de la recolección del grupo "no remontante" es el 28 de julio y de la del grupo "si remontantes" el 21 de octubre.

En los años de la experiencia, la fecha final menos tardía de la recolección de las variedades "no remontantes" es el 9 de julio y corresponde a "Glen Clova" (C12), y la fecha final más tardía el 14 agosto que corresponde a "Glen Moy" (C18). De las variedades "remontantes" la fecha final menos tardía de la recolección es el 30 de septiembre y corresponde a "Autumn Bliss" (C13) y "Fallred" (C8), y la fecha final más tardía el 29 de noviembre que corresponde a "Scepter" (C9).

A partir de estos resultados, parece observarse que los valores absolutos del comienzo y del final de la recolección o del periodo productivo varían según la climatología del año si otras circunstancias permanecen invariables. Para el grupo "no remontante" los resultados medios presentan un intervalo de15 días (entre el 12 de junio y 27 de junio) en el inicio y de 19 días (entre el 17 de julio y 5 de agosto) en el final. Para el grupo "remontante" existe mayor variación, 48 días (entre el 5 de agosto y 22 de septiembre) en el inicio y 47 (entre el 5 de octubre y 21 de noviembre) en el final.

Esta menor variación en el grupo "no remontante" que en el grupo "remontante" es

una consecuencia lógica del binomio vegetación-fructificación. En el segundo grupo al ser más acelerado (por ser completo) y complejo es también más dependiente de las circunstancias climáticas del periodo de actividad de cada año.

En la figura 1 se sitúan, temporizados, los periodos productivos del conjunto varietal.

Valor relativo de la fecha de recolección

El valor relativo (fecha de recolección de una variedad respecto a otra de referencia) del comienzo y del final de la recolección o del periodo productivo, aunque constantes desde el punto de vista teórico, a nivel real pueden variar en parte según las distintas ecologías (MOREAU, 1988) y en

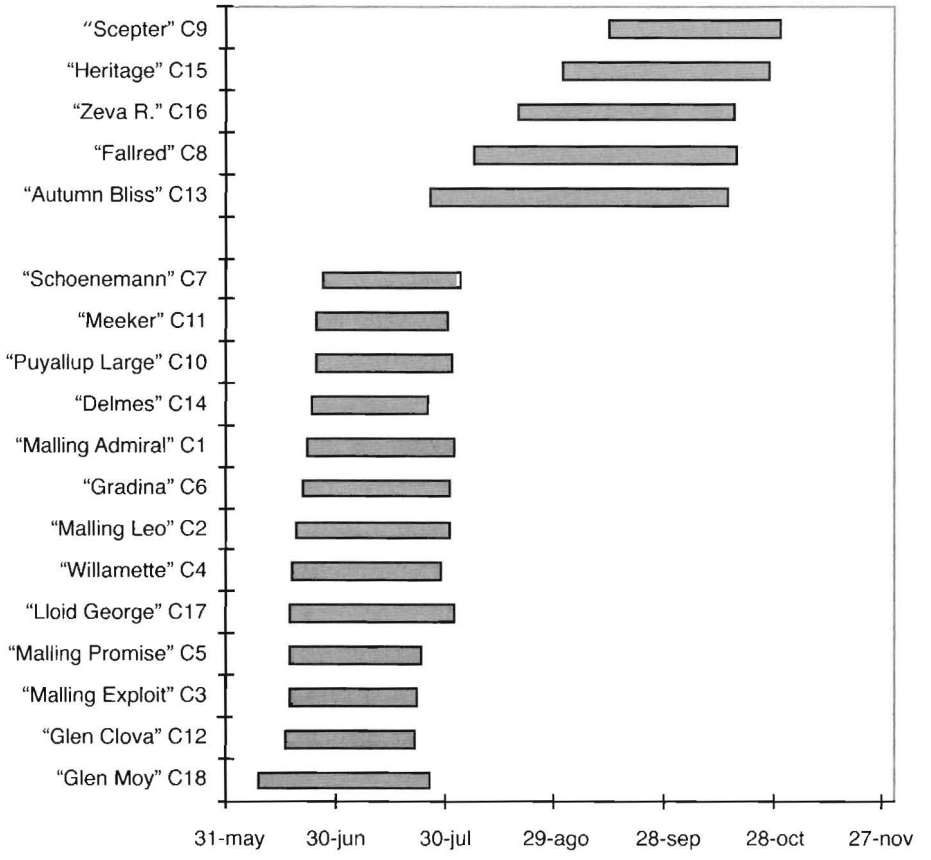


Figura 1. Periodos productivos medios de cultivares de frambueso
Figure 1. Red raspberry cultivars, mean harvest periods

menor grado según la climatología del año en una ecología concreta. La respuesta a estos cambios del valor relativo no es homogénea en todas las variedades.

En ensayos realizados con colecciones de variedades "no remontantes", en una misma ecología se encuentra que el intervalo más amplio (entre variedades extremas) del valor relativo medio era de 13 a 18 días (TERRETTAZ, 1980; TERRETTAZ y CARRÓN, 1986).

Nuestros resultados referentes al colectivo varietal ensayado se exponen en el cuadro 3.

Inicio de la recolección

Valor de referencia: fecha de inicio de la recolección de "Glen Moy"(C18) = 0.

En el grupo "no remontante", el intervalo más amplio del valor relativo medio obtenido es de 17 días (C18 = 0 y C7 = +17), frente a los 18 días de TERRETTAZ y CARRON (1.986).

En el grupo "remontante", el intervalo más amplio del valor relativo medio obtenido es de 49 días (C13 = +47 y C9 = +96). Sin embargo, este grupo varietal es mucho menos numeroso.

CUADRO 3. VALORES RELATIVOS DE INICIO Y FINAL DE LA RECOLECCIÓN EN CULTIVARES DE FRAMBUESO

TABLE 3. INITIAL AND FINAL RELATIVE VALUES OF THE HARVEST IN RED RASPBERRY CULTIVARS

Variedades	Inicio Recolección	Final Recolección
	Valor Relativo Medio	Valor Relativo Medio
Grupo "no remontante":		
"Glen Moy" C18	0	0
"Glen Clova" C12	+7	-4
"Malling Exploit" C3	+8	-3
"Malling Promise" C5	+8	-2
"Lloid George" C17	+8	+7
"Willamette" C4	+9	+3
"Malling Leo" C2	+10	+5
"Gradina" C6	+12	+6
"Malling Admiral" C1	+13	+7
"Delmes" C14	+14	-1
"Puyallup Large" C10	+16	+6
"Meeker" C11	+16	+5
"Schoenemann" C7	+17	+8
Grupo "remontante":		
"Autumn Bliss" C13	+47	+81
"Fallred" C8	+59	+84
"Zeva R." C16	+71	+83
"Heritage" C15	+83	+93
"Scepter" C9	+96	+96

Final de la recolección

Valor de referencia: fecha del final de la recolección de "Glen Moy" (C18) = 0.

En el grupo "no remontante", el intervalo más amplio del valor relativo medio obtenido es de 12 días (C12 = - 4 y C7 = +8).

En el grupo "remontante", el intervalo más amplio del valor relativo medio obtenido es de 15 días (C13 = +81 y C9 = +96).

Ante estos resultados, se observa que el intervalo del valor relativo medio del comienzo de la recolección es mucho mayor en las "remontantes" (49 días) que en las "no remontantes" (17 días). A nivel teórico, teniendo en cuenta las características productivas del frambueso, estos valores de 49 y de 17 días debieran repetirse, de forma aproximada, al final de la recolección, frente a los 15 y 12 días obtenidos, respectivamente.

En el grupo "no remontante", los 5 (= 17 - 12) días de diferencia pueden ser justificables por la incidencia compleja de factores internos del material vegetal y externos del entorno productivo y de las técnicas culturales.

En el grupo "remontante", los 34 (= 49 - 15) días de diferencia manifiestan claramente la incidencia sobre las variedades más tardías de las adversas condiciones climáticas del otoño, en la zona de la experiencia.

Conclusiones

El nivel productivo en el grupo "no remontante" es generalmente superior al del grupo "remontante". La producción media que resulta para el grupo "no remontante" es 1,5 veces la del grupo "remontante" (11,3 frente a 7,6 t/ha) para todos los años de la experiencia. No obstante, la producción de un número importante de variedades no resulta diferente.

La regularidad productiva de una variedad a lo largo de los años en una plantación es un aspecto que se debe tener también en cuenta para evaluar la producción. El coeficiente de variación presenta un intervalo muy amplio (entre 0,95 y 0,26).

La producción de una variedad debe valorarse conjuntamente por el nivel productivo y regularidad productiva.

El periodo productivo medio en el grupo "remontante" resulta más de 1,5 veces el del grupo "no remontante" (63 días frente a 39); pero, no obstante, no se ha encontrado diferencia total entre los dos grupos, porque aparecen periodos productivos no diferentes entre variedades de uno y otro grupo. Se observa que el periodo productivo de algunas variedades "no remontantes"pueden igualar o superar al de algunas variedades "remontantes".

El periodo productivo de los cultivares "remontantes" ha resultado más variable que el de los cultivares "no remontantes", porque hay más diferencias en el inicio de la recolección. Sin embargo, a partir de las observaciones de campo, parece que el vigor de las cañas "floricanes" en el grupo "no remontante" y la incidencia de la climatología al final del verano y principio de otoño en las cañas "primocanes" del grupo "remontante" son los factores que condicionan y explican en mayor grado estos comportamientos varietales en relación con el periodo productivo.

Por tanto, se ha tratado de demostrar que a nivel de productividad y de periodo productivo, en frambueso, no siempre hay certeza al afirmar que las variedades "no re-

montantes" son más productivas y que las variedades "remontantes" tienen mayor periodo productivo.

En las condiciones de la experiencia, las fechas de inicio y de final de la recolección son diferentes entre ambos grupos varietales, ya que en las variedades "no remontantes" la produción se obtiene sobre "floricanes" y en las "remontantes" sobre "primocanes".

Bibliografía

CARRERA M, 1975. Los arbustos frutales. ITEA, 18, 10-31.

COQUE M., DÍAZ M.B., CIORDIA M., CARCÍA J.C., 1994. El cultivo del Frambueso y la Zarzamora, 77. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.

CRANDALL P.C., DAUBENY H.A., 1990. Raspberry Management, 157-213. En: Small Fruit Crop Management, G.J. Galletta *et al.* Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.

DALE A., MCNICOL R.J., MOORE P.P., SJULIN T.M., 1989. Pedigree analysis of red raspberry. Acta Hort., 262, 35-39.

GU Y., ZHAO C.M., JIN W., LI W.L., 1993. Evaluation of *Rubus* germoplasm resources in China. Acta Hort., 352, 317-324.

HUMMER K.E., 1989. *Rubus* germoplasm at the national clonal germoplasm repository. Acta Hort., 262, 25-27.

JENNINGS D.L., DALE A., 1982. Variation in the growth habit of red raspberries with particular reference to cane height and node production. Journal of Horticultural Science, 57(2), 197-204.

JENNINGS D.L., 1988. Raspberries and blackberries: Their breeding, diseases and growth. 230. Academic Press limited, Londres.

MOREAU B., 1988. Le Framboisier, 267. CTIFL, Francia.

NARUHASHI N., 1989. Nepalese *Rubus*. Acta Hort., 262, 29-33.

NEIRA X., 1994. Desenrolo de técnicas de manexo de auga axeitadas a un uso racional de regadíos. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

OURECKY D.K., 1975. Brambles, 98-129. En: Advances in fruit breeding, J. Janick and J.N. Moore (Eds.). Purdue University Press, West Lafayette, Ind.

STEEL R.G.D., TORRIE J.H., 1986. Bioestadística: principios y procedimientos. 622. Ed. McGraw-Hill. México.

TERRETTAZ R., 1980. Observations phénologiques effectuées sur une collection variétale de frambroisiers. Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic., 12(3), 117-119.

TERRETTAZ R., CARRON R., 1986. Essai variétal de framboisiers. Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic., 18(6), 343-344.

WAISTER P.D., CORMACK M.R., SHEETS W.A., 1977. Competition between fruiting and vegetative phases in the red raspberry. Journal of Horticultural Science, 52, 75-85.

YING G., SUN Z.J., CAI J.H., HUANG Y.S., LE S.A., 1989. Introduction and utilization of small fruits in China, with special reference to *Rubus* species. Acta Hort., 262, 47-55.

(Aceptado para publicación el 15 de septiembre de 1998)

ITEA (1999), Vol. 95V N.° 1, 21-29

DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE AGRICULTORES CON RENTA AGRARIA EXCLUSIVA EN ANDALUCÍA

M. Arriaza
P. Ruiz

Centro de Investigación y Formación Agraria
Consejería de Agricultura y Pesca
Junta de Andalucía
Apartado 3092
14080 Córdoba
España

RESUMEN

En el presente trabajo se determinan los indicadores socioeconómicos que caracterizan a los agricultores no ganaderos andaluces cuya única fuente de renta proviene de la actividad agraria. Basado en una encuesta realizada en Andalucía en verano de 1996, el modelo logístico seleccionado muestra como el nivel educativo y el tiempo que el agricultor dedica a la actividad agraria son las variables de mayor relevancia, mientras que las variables relacionadas con la orientación técnica productiva parecen no contribuir a explicar la variable renta.

Palabras Clave: Modelo logit, Variable ficticia, Renta agraria.

SUMMARY
SOCIO-ECONOMIC INDICATORS OF FARMERS WITH INCOME ONLY FROM AGRARIAN ACTIVITIES

This paper presents an econometric research on limited-dependent variable models, in this case a dummy dependent variable which represent the probability of encountering farmer which income comes only from farming, provided the values of the regressors. A logit model is applied to the data from a survey on Andalusian farmers. Time devoted to the farm and education level were the most important explanatory variables.

Key words: Logit model, Dummy variable, Farm income.

Introducción

En el diseño de políticas agrarias es de gran utilidad la separación de agricultores que sólo tienen como fuente de ingreso la actividad agraria de aquellos que disponen de una fuente de ingresos adicional. Con esta información se podrían determinar diferencias de rentas entre exclusivamente agricultores y otros sectores de la sociedad. Desde el punto de vista de uno de los objetivos de la Política Agraria Común, el incremento de rentas de los agricultores, el presente estudio añade elementos de juicio para evaluar qué tipo de agricultores (tama-

ño, orientación técnica productiva, edad, etc.) son en mayor medida beneficiados o perjudicados por iniciativas concretas.

Para la caracterización de estos agricultores se utilizó un modelo econométrico cuya variable dependiente es dicotómica. Dicha variable toma el valor uno cuando el porcentaje de la renta de los agricultores que proviene de la explotación agraria es el cien por cien, y cero cuando el agricultor tiene otras fuentes de ingreso. Un modelo econométrico logit (ALDRICH y NELSON, 1984) es elegido para explicar la relación de la variable renta con otras variables de tipo socioeconómico. Puede encontrarse este tipo de modelo en trabajos previos como DAOULI y DEMOUSSIS (1995), MILLÁN y RUIZ (1987) y GARCÍA *et al.* (1983).

Los datos

Durante el verano de 1996 fue llevada a cabo una encuesta en toda Andalucía. El procedimiento para la selección de los agricultores fue el de muestreo estratificado. Cuando la población presenta una gran heterogeneidad, como es el caso de la agricultura andaluza, dicho procedimiento es mucho más eficiente que el muestreo aleatorio simple (WONNACOTT, 1990). Los criterios de distribución del número de encuestas en cada comarca de las 55 comarcas andaluzas fueron tres: valor añadido del sector agrario (no ganadero), número de explotaciones agrarias y diversidad de cultivos. Para construir el modelo se utilizaron 531 observaciones.

Las variables que se han considerado en el estudio aparecen en el cuadro 1.

Estas variables recogen información socioeconómica del agricultor y el tipo de explotación. Con respecto a las tres variables sociológicas, la variable edad intenta mostrar si los agricultores de diferentes edades tienen otras fuentes de renta además de la propia actividad agraria; el nivel de educación, parece, a priori, positivamente

CUADRO 1
VARIABLES DEL MODELO LOGIT
TABLE 1
VARIABLES OF THE LOGIT MODEL

Variable	Tipo de variable	Descripción
Renta	Variable dependiente, dicotómica	1= 100% renta viene de su explotación agraria, 0= hay ingresos ajenos a la explotación agraria
Tiempo	Variable explicativa, limitada	Porcentaje de su actividad laboral total anual que dedica a la explotación agraria
Herbaceos	Variable explicativa, ficticia	1= explotación exclusivamente de herbáceos, 0= no herbáceos en la explotación
Cítricos	Variable explicativa, ficticia	1= presencia de cítricos, 0= no cítricos
Olivar	Variable explicativa, ficticia	1= presencia de olivar, 0= no olivar
Edad	Variable explicativa, continua	Edad del agricultor
Educación	Variable explicativa, categórica	Nivel educativo: 1= sin estudios hasta 5= universitarios
Superficie	Variable explicativa, continua	Superficie de la explotación en hectáreas
Propiedad	Variable explicativa, limitada	Porcentaje de la explotación en propiedad
Pastos	Variable explicativa, limitada	Porcentaje de pastos en la explotación
Irrigación	Variable explicativa, limitada	Porcentaje de regadío en la explotación

relacionada con el porcentaje de renta que proviene de actividades agrarias; por último, el porcentaje de tiempo dedicado a la explotación debería estar, de igual forma, positivamente relacionado con la variable renta.

Las restantes variables están relacionadas con el tipo de explotación o actividad desarrollada. El tamaño de la explotación podría tener una relación positiva con la variable renta considerando que una mayor explotación proporciona mayores ingresos y una pequeña haría buscar al agricultor fuentes alternativas de renta. El porcentaje de tierra en propiedad podría moverse en la misma dirección ya que puede haber agricultores que arriendan tierras y reciben toda su renta por esta vía.

En cuanto a las actividades llevadas a cabo en la explotación, herbáceos, críticos, olivar o pastos, sólo en el caso de esta última podría esperarse un claro efecto negativo en la variable renta, ya que estos producen un menor ingreso, al contrario que el porcentaje de regadío en la explotación.

Los datos provienen de una encuesta realizada en el verano de 1996, en toda Andalucía, a 531 agricultores, dentro del proyecto INIA SC94-095.

Fundamentación teórica

En estudios cuyos datos provienen de encuestas se encuentra con frecuencia que la variable que se desea explicar, y_i, es de naturaleza cualitativa o varía dentro de un rango limitado. La mayoría de los modelos econométricos (MADDALA, 1983) que tratan este tipo de variables pertenecen a una de las siguientes categorías: (a) *modelos de variable truncada*, donde la muestra sólo cubre una parte de la población y, por tanto, sólo podemos observar y_i cuando $y_i \leq c$ (ó $y_i \geq c$) siendo c una constante determinada; (b) *modelos de variable censada*, en este caso se dispone de los valores de las variables explicativas para $y_i \leq c$; (c) *modelos de variable dicotómica*, donde la variable dependiente es binaria, tomando valores cero o uno. El modelo desarrollado en este artículo pertenece a la última categoría.

Una de las posibles aproximaciones a modelos econométricos de variable dependiente binaria es el modelo lineal probabilístico (GREENE, 1993). Considerando por ejemplo que y_i toma el valor uno cuando el individuo posee una casa y cero en cualquier otra circunstancia, el vector x_i representa el conjunto de variables explicativas (renta familiar, edad, número de hijos, etc.), β: es el vector de coeficientes a estimar y u_i la disturbancia, el modelo lineal probabilístico tiene la forma:

$$y_i = \beta' x_i + u_i$$

Este modelo puede considerarse como la probabilidad de poseer una casa, $y_i = 1$, para unos valores determinados de x_i, esto es, la probabilidad condicional, $P(y_i=1|x_i)$:[1]. La aplicación directa de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) presenta algunas dificultades, violando algunos de los supuestos en que se basa dicho procedimiento (CRAMER, 1991).

Funciones de distribución acumulativas

El principal problema con el modelo lineal probabilístico es que la probabilidad crece

1. Para facilitar la notación utilizaremos en adelante P_i en lugar de P_i $(y_i=1|X_i)$.

linealmente con x_i. Este comportamiento no es muy realista ya que a partir de un cierto valor de x_i la probabilidad P_i no debería de aumentar significativamente. Así, el modelo debe cumplir dos requisitos: a) los valores estimados deben estar dentro del intervalo (0,1), y b) la relación que liga x_i y P_i no sea lineal. El modelo logit tiene estas dos características, matemáticamente:

$$P_i = E(y_i=1|x_i) = \frac{1}{1+e^{\beta' xi}}$$

Estimador de máxima verosimilitud

Los parámetros del modelo logit suelen estimarse mediante el estimador de máxima verosimilitud (EMV), en lugar de MCO[2]. Considerando $Pi=P(y_i=1|x_i)$, entonces $P(y_i=0|x_i)= 1- Pi$, y la probabilidad de obtener y_i, sea 0 ó 1, viene dada por $P(y_i|x_i)= P_i^{yi}(1-P_i)^{1-yi}$. La función logarítmica a maximizar puede expresarse como sigue:

$$\text{Log } L(y|x,\beta) = \sum_{i=1}^{N} \left[yi \log Pi + (1-yi)\log(1-P_i) \right]$$

La condición necesaria para maximizar esta función es:

$$\frac{\partial \log L\,(y|x,B)}{\partial \beta} = 0$$

Ya que esta ecuación no es lineal es necesaria la utilización de un algoritmo iterativo para obtener el valor de los parámetros. EMV presenta propiedades similares a las de MCO, ambos estimadores son insesgados y eficientes y generan residuos que se distribuyen como una normal. La principal diferencia es que EMV es un estimador no lineal de propiedades asintóticas.

Resultados y discusión

Regresión logística

A continuación, el cuadro 2 muestra el valor del estadístico t para las variables que no fueron rechazadas por ser estadística-

CUADRO 2
REGRESIÓN LOGÍSTICA
TABLE 2
LOGISTIC REGRESSION

Variable	Coeficientes	t-ratios	Probabilidad
C	-15,10363	-5,282899	0,0000
TIEMPO	0,172705	6,131979	0,0000
EDAD	-0,032673	2,104572	0,0358
EDUCACIÓN	0,481115	2,623653	0,0090
SUPERFICIE	0,003977	2,062417	0,0397
PASTOS	-0,026813	-2,885076	0,0041

Logaritmo de verosimilitud: -133,6789

2. Mediante MCO obtenemos la misma estimación del los parámetros que con EM cuando los residuos se distribuyen como una normal. En el caso de un modelo logístico, MCO puede ser aplicado pero el estimador no es líneal y además insuficiente.

mente significativas para un nivel del 5 por ciento.

Para comprobar si un conjunto de coeficientes son significativos es necesario utilizar la submatriz de covarianzas de los parámetros a comprobar. Para este propósito se utilizó el test de Wald, cuyo estadístico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$w = \hat{\beta}'_* V_*^{-1} \hat{\beta}_*$$

Teniendo en cuenta el valor del estadístico t en el cuadro 2 podemos seleccionar los coeficientes no significativos y junto con la submatriz de covarianzas de estos coeficientes, obtenemos el estadístico de Wald, w, para $\hat{\beta}_*$ = (-0,0924, -0,3820, 0,7861, -0,0093, 0,0001), w= 6,10.

El estadístico de Wald se distribuye como una chi cuadrado con L (número de parámetros a comprobar) grados de libertad. $\chi^2_{5,0.05} = 11,10 > 6,10$. No rechazamos la hipótesis nula de todos los coeficientes igual a cero.

Así, la probabilidad de encontrar un agricultor cuya renta provenga exclusivamente de la actividad agraria, renta = 1, dado un conjunto de valores de las variables explicativas, se define mediante la siguiente función de probabilidad:

$$Pi = P(renta = 1|b'x) = \frac{1}{1+e^{-(-15.104+0.173*tiempo-0.033*edad+0.481*edu+0.004sup-0.027*past)}}$$

Teniendo en cuenta el exponente negativo de e, las variables *tiempo* y *educación* tienen el mayor peso en la variable renta. También influye positivamente la variable *superficie*, aunque en menor medida. Por el contrario, *edad* y *pastos* tienen un efecto negativo en la probabilidad de que toda la renta del agricultor venga de la explotación agraria.

Precisión de la regresión

La prueba F es tradicionalmente usada para comprobar si la hipótesis nula de que todos los coeficientes son cero es rechazada o no. En el modelo logit se dispone de una prueba similar (DAVIDSON y MACKINSON, 1984; ENGLE, 1984) que utiliza la ratio definida como: c= $-2(\log L_0 - \log L_1)$. Donde L_1 es el valor de la función de probabilidad en el modelo logit con todas las variables y L_0 el correspondiente valor en el modelo reducido, esto es, todos los coeficientes cero, excepto el término independiente. El resultado habitual de los paquetes econométricos es el logaritmo de este valor, como en este caso, al pie del cuadro 2 tenemos el logaritmo de L_1 (Log likelihood). Este ratio se distribuye aproximadamente como una chi cuadrado con K-1 grados de libertad (siendo K el número de parámetros a comprobar) cuando la hipótesis nula es verdadera.

No es necesario repetir la regresión sólo con la constante para obtener $\log L_0$, ya que podemos utilizar la siguiente igualdad:

$$\log L_0 = N_0 * \log \frac{N_0}{N} + N_1 * \log \frac{N_1}{N}$$

con N representado tamaño de la muestra y N_0 y N_1 número de observaciones pra renta=0 y renta= 1, respectivamente. En este caso,

$$\log L_0 = 304 * \log \frac{304}{531} + 227 * \log \frac{227}{531}$$

$$= -362,46$$

por tanto

$$c = -2[-362,46-(-133,68)] = 457,56$$

Como $\chi^2_{5,0.05} = 11{,}10$, rechazamos la hipótesis nula de que todos los coeficientes son cero.

Otro dato usado generalmente para medir la bondad del ajuste es el valor de R^2, la ratio varianza explicada por el modelo / varianza total. Aunque en el modelo logit no hay un estadístico similar, sí existen otros medios para obtener esta información. Para este propósito es necesario utilizar los valores L_1 y L_0, a partir de sus logaritmos. Uno de ellos se define como $R^2=1-(L_0/L_1)^{2/n}$. Utilizando los logaritmos: $\log L_1 = -133{,}68 \rightarrow L_1 = 8{,}78*10^{-59}$ y $\log L_0 = -362{,}40 \rightarrow L_0 = 4{,}09*10^{-158}$. Así, tenemos: $R^2=1-(4{,}09*10^{-158}/8{,}78*10^{-59})^{2/531}= 0{,}58$.

Aunque el valor de R^2 no parezca a primera vista muy elevado hay que tener en cuenta que en este tipo de modelos el límite superior no es uno. Calculando este límite,

$0 \leq R^2 \leq 1 - L_0^{2/n}$,

$0 \leq R^2 \leq 1 - 0{,}26 = 0{,}74$

Otra medida es el llamado pseudo-R^2 definido por CRAGG y UHLER (1970),

pseudo-$R^2 = (L_1^{2/n} - L_0^{2/n})/(1 - L_0^{2/n})$,

pseudo-$R^2 = 0{,}60$

O la formulación de pseudo-R^2 propuesta por MCFADDEN (1974),

pseudo-$R^2 = 1 - \log L_1/\log L_0$,

pseudo-$R^2 = 1 - 0.37 = 0{,}63$.

Todas estas medidas de precisión de la regresión no son universalmente aceptadas aunque las tres coinciden en mostrar que el modelo propuesto explica gran parte de la varianza total. Un método alternativo para medir la capacidad predictiva del modelo consiste en atribuir el valor 1 a la variable renta cuando la probabilidad estimada, P_i, sea mayor que 0,5 y el valor 0 cuando sea menor. Así, para cada agricultor calculamos la probabilidad de que perciba toda la renta de la actividad agraria y lo comparamos con el valor observado de renta, el siguiente cuadro muestra los resultados para todos los agricultores:

De acuerdo con este cuadro, de los 304 agricultores que no perciben toda su renta de la actividad agraria, el modelo predice 252. Matemáticamente:

$$P(\hat{P}_i < 0{,}5 | yi = 0) = \frac{258}{304} = 0{,}85$$

$$P(\hat{P}_i > 0{,}5 | yi = 1) = \frac{221}{227} = 0{,}97$$

CUADRO 3
VALORES DE RENTA ESTIMADOS FRENTE A OBSERVADOS
TABLE 3
ESTIMATED AND OBSERVED DATA

		Valores estimados		Total
		0	1	
Valores	0	252	52	304
observados	1	6	221	227
		258	273	531

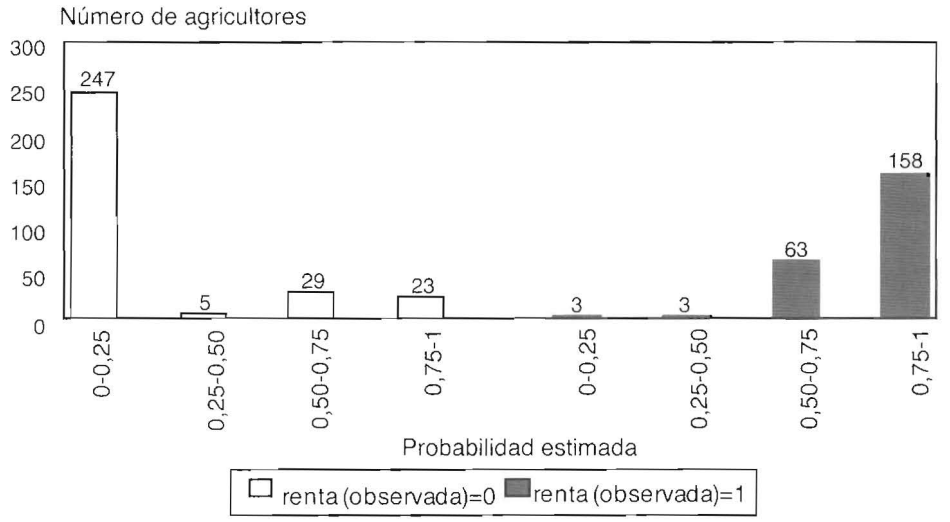


Figura 1. Distribución de las probabilidades estimadas mediante el modelo logit
Figure 1. Probability distribution of the estimated values

Así, la capacidad predictiva total del modelo puede calcularse como: (252+221)/531= =0,89. Otro elemento a tener en cuenta es que la mayoría de las probabilidades estimadas se encuentra próxima al valor observado de la variable renta; este punto es mostrado en la siguiente distribución de probabilidades en la figura 1.

Puede observarse como para renta observada=0 encontramos 247 estimaciones inferiores a 0,25. Las estimaciones incorrectas para renta=0 son 29+23, ya que la probabilidad estimada es superior a 0,5.

Sensibilidad del modelo

Es posible determinar el efecto en la probabilidad Pi, P(renta=1), de las variables explicativas. Por ejemplo, la siguiente figura muestra el cambio en dicha probabilidad con respecto a la variable tiempo y nivel educativo. Para el resto de variables explicativas en el modelo, edad, superficie y pasto, se utilizan sus valores medios. Así, en el modelo,

$$Pi = P(renta = 1|b'x) = \frac{1}{1+e^{-(-15,104+0,173*tiempo-0,033*edad+0,481*edu+0,004*sup-0,027*past)}}$$

utilizamos los valores medios edad= 49,8, superficie= 82,3 ha y porcentaje de pastos= 4,7. La variable tiempo tomó los valores 0-100 y nivel educativo 1-5. La figura 2 recoge esta información,

La figura muestra como para un valor de tiempo inferior al 65 por ciento, la probabilidad de encontrar un agricultor que tenga sólo ingresos agrarios es cero. Para un valor de tiempo igual al 85 por ciento dicha probabilidad varía desde el 0,2 para un nivel educativo mínimo, hasta 0,6 cuando

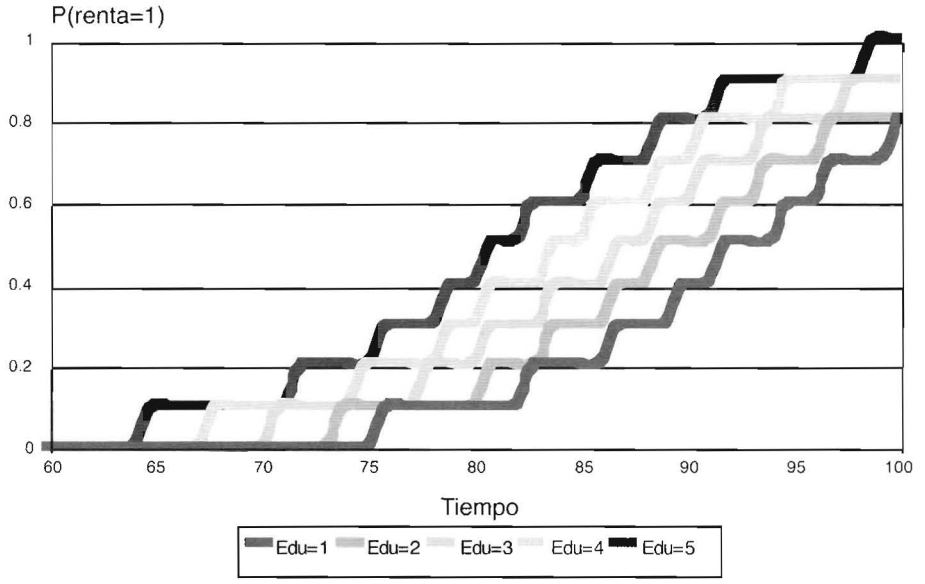


Figura 2. Cambio en la probabilidad estimada de renta exclusiva agraria para las variables explicativas Tiempo y Nivel educativo

Figure 2. Change in estimated probability for agrarian rent according to the explaining variables Time and Education level

el nivel educativo es máximo. Este análisis puede repetirse para otras variables (valor medio de nivel educativo= 1,9 y tiempo= 68,7), las variables continuas pueden convertirse en categóricas para analizarlas como el nivel educativo.

Conclusiones

El presente trabajo propone un modelo econométrico que explica la probabilidad de encontrar un agricultor cuya renta provenga exclusivamente de la actividad agraria, dados unos determinados valores de las variables explicativas *tiempo* (porcentaje de la actividad laboral del agricultor que dedica a la explotación), *edad*, *nivel educativo*, *superficie* y *pastos* (porcentaje de la explotación cubierta de pastos). De estas variables, *nivel educativo* y *tiempo* son, con diferencia, las variables que mayor peso tienen en el incremento de dicha probabilidad. Las variables *edad* y *pastos* tienen, por el contrario, un efecto negativo en esta probabilidad, aunque de menor importancia.

Son de destacar las variables que no parecen tener relación, contra lo que a priori podría esperarse, con la variable dependiente (renta exclusivamente agraria). Estas fueron: *regadío* (porcentaje de la explotación agraria en regadío), *propiedad* (porcentaje en propiedad) y orientación técnico productiva de la explotación: *herbáceos* (explotación exclusivamente con cultivos herbáceos), *cítricos* (presencia de cítricos)

y *olivar* (presencia de olivar).

Agradecimiento

Los autores quieren expresar su agradecimiento a los revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias.

Bibliografía

ALDRICH J., y NELSON F., 1984. Linear Probability, Logit and Probit Models. Sage Publications, Beverly Hills. California.

CRAGG J.G., UHLER R., 1970. The demand for automobiles. Canadian Journal of Agricultural Economics, 3, 386-406.

CRAMER J.S., 1991. The Logit Model for Economists. Edward Arnold Publishers. London.

DAOULI J., DEMOUSSIS M., 1995. Trabajo fuera de las explotaciones en la agricultura griega: una aplicación empírica. Investigación Agraria: Economía, 10 (1), 77-89.

DAVIDSON R., MACKINNON, 1984. Convenient Specification Tests for Logit and Probit Models. Journal of Econometrics, 25, 241-262.

ENGLE R., 1984. Wald, likelihood Ratio, and Lagrange Multiplier Test in Econometrics. En: Handbook of Econometrics. Vol. 2, Z. Griliches y M. Intriligator (Ed.). Ed. North Holland, Amsterdam.

GARCÍA P., SONKA S. T., MAZZACO M. A., 1983. A Multivariate Logit Analysis of Farmers' Use of Finantial Information. American Journal of Agricultural Economics, 65, 136-141.

GREENE W.H., 1993. Econometric Analysis. Prentice-Hall International. New Jersey.

MADDALA G.S., 1983. Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics. Cambridge University press. New York.

McFADDEN D., 1974. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. En: Frontiers in econometrics, 105-142. P. Zarembka (Ed.). Ed. Academic Press. New York.

MILLAN J. A., RUIZ P., 1987. Modelos Logit de Adopción de Innovaciones en Invernaderos de Almería. Investigación Agraria: Economía, 2, 115-125.

WONNACOTT T.H., y WONNACOTT R.J., 1990. Introductory Statistics for Business and Economics. John Wiley. Singapore.

(Aceptado para publicación el 29 de septiembre de 1998)

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 1999 DE LA ASOCIACIÓN INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

La Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA) acordó en Asamblea General celebrada en mayo de 1983, instaurar un premio anual de Prensa Agraria, con el objetivo de hacer destacar aquel artículo de los publicados en ITEA que reúna las mejores características técnicas, científicas y de valor divulgativo, y que refleje a juicio del jurado, el espíritu fundacional de AIDA de hacer de transmisor de conocimientos hacia el profesional, técnico o empresario agrario.

El día 9 de abril de 1987, la Junta Directiva de AIDA aceptando la propuesta del Jurado del Premio ITEA 1986 instituyó dos premios; uno para los artículos publicados en la sección de Producción Animal y otro para aquellos que aparezcan en la sección de Producción Vegetal.

Los premios se regirán de acuerdo a las siguientes

BASES

1. Podran concursar todos los artículos que versen sobre cualquier tema técnico-económico-agrario.
2. Los artículos que podrán acceder a los premios serán todos aquellos que se publiquen en ITEA en el año 1998. Consecuentemente, los originales deberán ser enviados de acuerdo con las normas de ITEA y aprobados por su Comité de Redacción.
3. El jurado estará constituido por las siguientes personas:
   a) Presidente de AIDA, que presidirá el jurado.
   b) Director de la revista ITEA, que actuará de Secretario.
   c) Jefe del Servicio de Investigación Agroalimentaria de Zaragoza (Diputación General de Aragón).
   d) Director del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   e) Jefe del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
   f) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
4. Los premios serán anuales y con una dotación de 50.000 ptas. cada uno.
5. Las deliberaciones del jurado serán secretas, y su fallo inapelable.
6. El fallo del jurado se dará a conocer en la revista ITEA, y la entrega del premio se realizarán con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

ITEA (1999), Vol. 95V N.° 1, 31-40

COMPARACIÓN DE RESPUESTAS DE TRES MODELOS DE ESTABILIDAD APLICADOS A NUEVE GENOTIPOS DE TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM* L.) EN CUATRO AMBIENTES DE MÉXICO

E. Gutiérrez D. R.
H. Fraga P.

Apdo. 940
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
27000 Torreón, Coahuila
México

RESUMEN

Este trabajo se inició en el año de 1995, comprendió la evaluación de nueve genotipos de trigo generados por la UAAAN-UL, en cuatro localidades de México (UAAAAN-UL Coah., Los Mochis Sin., Irapuato Gto. y Navidad N.L.). El diseño experimental fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones por localidad, únicamente se estudió la variable de rendimiento. Después de realizar los análisis por localidad y el análisis combinado (genotipos y ambientes), se aplicaron tres modelos de parámetros de estabilidad (EBERHART y RUSSELL, 1966; PERKINS y JINK'S, 1968, y el de FREEMAN y PERKINS, 1971), para comparar la clasificación que proporciona cada uno de ellos. Los objetivos generales planteados en el presente estudio fueron: comparar la eficiencia de tres modelos de parámetros de estabilidad y conocer el grado de adaptación de los genotipos en las localidades evaluadas.

Los resultados obtenidos indicaron que la línea AN-1461, presentó un comportamiento estable y tuvo un alto rendimiento, por lo que puede pasar al proceso para su registro como variedad comercial. El genotipo AN-V47-114 que registró un buen rendimiento, y tuvo una adaptación a ambientes desfavorables y además fue consistente, puede ser utilizado en programas de mejoramiento genético por las características que presenta. La línea AN-V3-097 presentó buen rendimiento en todas las localidades, por consiguiente es apropiado para realizar cruzamientos con otros materiales para buscar estabilidad en rendimiento. De los tres modelos de parámetros de estabilidad empleados, el de Eberhart y Russell, fue el más adecuado, tomando como base la clasificación que hace de los genotipos.

Palabras clave: Interacción, Parámetros, Adaptabilidad.

SUMMARY

RESPONSE COMPARISON OF THREE STABILITY MODELS APPLIED TO NINE WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L) GENOTYPES IN FOUR ENVIRONMENT OF MEXICO

The work began in the year of 1995, and consisted of the evaluation of nine wheat genotypes, which were released by UAAAN-UL, in four locations of Mexico (UAAAAN-UL in Torreón Coah., Los Mochis Sin., Irapuato Gto. and Navidad N.L.).

The complete randomized blocks design with four replicates for location, was used and only the variable yield was studied. After, data was analyzed by location and combined, thee stability parameters models were applied: Eberhart and Russell, 1966; Perkins and Jink's, 1968 and Freeman and Perkins, 1971, in order to compare the classification of each wheat genotype. The general objectives of the present study were to compare the efficiency of the three stability parameters models and to know the degree of adaptation of the wheat genotypes to the environments studied.

Results indicated that the AN-1461 line showed stable performance and high yield, therefore it can go further with the release process as a commercial variety. The AN-V47-114 genotype had good yield and adaptation to unfavorable conditions, besides, it was consistent, therefore it can be used in genetic programs which bred for adaptation to unfavorable environment. The line showed good yield in all location, so, it can be used in crossing program, in order to bred for getting stability. From the three stability parameters models studied, the Eberhart and Russell model was the most appropriate, based in the classification of the wheat genotypes.

Key words: Interaction, Parameters, Adaptability.

Introducción

El trigo es de los cereales de mayor importancia, debido a su alto valor nutritivo y a la gran superficie que se siembra de este cultivo, adquiriendo una gran trascendencia, al grado de ser un alimento básico de nuestro pueblo. La gran diversidad de ambientes existentes en el país, limita el uso de genotipos seleccionados, a causa del fenómeno de interacción genotipo-ambiente, ya que dada esta interacción, el fenotipo no siempre tiene una correlación alta con el genotipo sembrado (MÁRQUEZ, 1974; YAU, ORTIZ y SRIVASTAVA, 1991). Los parámetros de estabilidad son de las metodologías que permiten medir la interacción genotipo ambiente, existen varios modelos que se emplean con este fin, por ello es necesario conocer cuál de los modelos disponibles es el más apropiado.

Varios autores (GUTIERREZ, 1992; PALOMO, 1975; MARTÍNEZ y RAJARAM, 1985) coinciden en que es necesario buscar genotipos que presenten un amplio rango de adaptación a distintos ambientes, con el propósito de poder ampliar el área en que se pueden sembrar, al respecto, la mayoría de los trabajos de investigación en este aspecto, se han utilizado para liberar y registrar nuevas variedades mejoradas de cultivos agrícolas (CARBALLO, 1970; BRAUN *et al.*, 1992; GUTIERREZ, 1992), donde el modelo de Eberhart y Russell es el que más predomina, tomando como base la clasificación que hace de los genotipos, a través de los ambientes. Con referencia a lo anterior, se realizó un estudio cuyo objetivo principal fue: comparar la eficiencia de tres modelos de parámetros de estabilidad, para detectar el grado de adaptación de las variedades experimentales de trigo, en base al rendimiento de grano, considerando únicamente las localidades donde fueron sembrados los ensayos de evaluación.

Materiales y métodos

En el trabajo se evaluaron nueve genotipos experimentales de trigo formados por investigadores de la Universidad Autónoma

Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), que se originaron a partir de cruzamientos de trigos rusos con Mexicanos, en cuyas poblaciones en generaciones avanzadas y heterogéneas se aplicó el método de mejoramiento por pedigree para precocidad, resistencia a enfermedades, porte y para rendimiento, llegando a tener líneas con potencial productivo, las cuales con algunas evaluaciones y selecciones se redujeron, quedando los materiales a que nos referimos en este estudio, el cual se estableció en cuatro localidades durante el año de 1995: la primera en el campo experimental de la UAAAN-UL, localizada entre las coordenadas de 26°25' y 26°30' latitud norte y entre los meridianos 102° y 104° de longitud oeste de Greenwich, con 1.130 msnm, precipitación pluvial media anual de 218 mm y una temperatura media anual de 21,2°C; la segunda localidad se ubicó en Irapuato, Guanajuato, en terrenos de un productor-cooperante con una latitud de 20°41' norte y 101°20' de longitud y una altitud de 1.750 msnm, precipitación media anual de 686,4 mm y temperatura promedio anual de 22°C; la tercera en Navidad, N.L., encontrándose a una latitud norte de 25° y 101° de longitud, a 2.160 msnm, una precipitación de 690 mm y temperatura de 17,3°C promedio anual y la cuarta localidad en el Campo Experimental Valle del Fuerte del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y forestales) de Los Mochis, Culiacán, que se ubica en el paralelo 25°46' latitud norte y 108°49' longitud oeste, la cual tiene 15 msnm con precipitaciones al año de 750 mm y temperatura media anual de 23,6°C. El diseño experimental utilizado fue el bloques al azar con cuatro repeticiones por localidad. La parcela experimental consistió de 52 m^2 para las localidades de la UAAAN-UL, Irapuato y Navidad; en la localidad de Los Mochis fue de 8 m^2 (ocho surcos de 5 m de largo a 20 cm) surcos de 5 m de largo y con una parcela útil de 6 m^2 (seis surcos de 5 m a 20 cm). Se realizaron análisis de varianza por localidad para la característica de rendimiento. Posteriormente se efectuó un análisis combinado que involucró localidades y genotipos con el fin de definir si existía significancia estadística entre los tratamientos, las localidades y su interacción, para posteriormente aplicar los tres modelos de parámetros de estabilidad que se compararon.

Los modelos más comunes que miden la estabilidad de varios genotipos a través de los ambientes son: el modelo matemático propuesto por EBERHART y RUSSELL en 1966, siendo expresado por la ecuación matemática $Yij = \mu + \beta i\, lj + \delta ij$, que determina los efectos de la respuesta entre la variable dependiente e independiente, basados en la varianza debida a la regresión y desviación, mostrando un comportamiento lineal en los genotipo evaluados en varios ambientes, el Modelo de PERKINS y JINK'S descrito en el año de 1968, que basa su respuesta en la ecuación $Yijk = \mu + di + ej + gij + eij$, donde la regresión lineal es entre la interacción del genotipo – ambiente y los índices ambientales (regresión combinada), utilizando promedios de los tratamientos para expresar la heterogeneidad en los ambientes, y el Modelo de FREEMAN y PERKINS establecido en el año de 1971 con la formula de respuesta determinada como $Yijk = \mu + di + ej + gij + eijk$, donde los parámetros son estimados con los índices ambientales en forma independiente a partir de grupos de repeticiones, y el resto de grupos son utilizadas para calcular los valores de regresión y desviaciones, dando lugar a una división de los grados de libertad de los ambientes.

Para una mejor interpretación de los parámetros se hace uso de la tabla de clasi-

ficación propuesta por CARBALLO (1970), quien en función de los diferentes valores que pueden tomar los parámetros estimados, los coeficientes de regresión (bi) y las desviaciones cuadradas de la regresión (Sdi^2), que ubican la adaptación como:

Categoría	bi	Sdi^2	Adaptación
a)	= 1	= 0	Variedad Estable (E).
b)	= 1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente (TI).
c)	< 1	= 0	Responde bien en ambientes desfavorables y consistente (DC).
d)	< 1	> 0	Responde bien en ambientes desfavorables pero inconsistente (DI).
e)	> 1	= 0	Responde mejor en buenos ambientes y consistente (FC).
f)	> 1	> 0	Responde mejor en buenos ambientes, pero es inconsistente (FI).

Resultados y discusión

Los análisis estadísticos de varianza por localidad (ambiente), dio la información que se presenta en el cuadro 1, donde se observa que para la fuente de repeticiones se tiene significancia en las localidades de Los Mochis e Irapuato, mientras que para tratamientos solamente en la localidad de Navidad N.L. no hubo diferencia significativa con respecto al rendimiento de las variedades evaluadas. Los coeficientes de variación en su mayoría fueron aceptables, lo que indica que existió muy poca variación en el proceso de la recopilación de los datos (MARTÍNEZ y RAJARAM, 1985), con excepción del que se presenta en la localidad de Navidad con valor de 21,14%, el cual es considerado alto, tal vez debido a efectos ambientales que no fueron controlados adecuadamente, como por ejemplo, la nivelación (siembra en ladera), las heladas (2.000 msnm), lo que trae como resultado que no exista diferencia estadística tanto para bloque como para genotipos (CARBALLO y MÁRQUEZ, 1970).

El comportamiento promedio de las variedades experimentales por localidad se presenta en el cuadro 2, donde se aplicó la prueba estadística denominada Diferencia Mínima Significativa (DMS) en cada localidad, para comparar y clasificar las mejores variedades, indicando que en los ambientes donde hay condiciones favorables para el trigo, se presenta una mayor diferenciación estadística entre los genotipo (UAAAN-UL e Irapuato) y la localidad donde los materiales se comportaron de manera similar fue la de Navidad N.L., en la cual al realizar la prueba de medias DMS con un nivel de significancia de 0,05%, resultó con valor de 1,695, muy alto en comparación con los obtenidos en las otras localidades, haciendo que los genotipos presentaran rendimientos estadísticamente iguales; respecto a la localidad de los Mochis Sin., ésta tiene los rendimientos promedios bajos, ocasionados por la canti-

CUADRO 1
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA DE NUEVE GENOTIPOS EXPERIMENTALES DE TRIGO, ENSAYADOS EN CUATRO LOCALIDADES DE LAS ÁREAS TRIGUERAS DE MÉXICO
TABLE 1
VARIANCE ANALYSIS RESULTS OF NINE EXPERIMENTAL GENOTYPES OF WHEAT IN FOUR REPRESENTATIVES ENVIRONMENT OF THE AREAS OF MEXICO. 1996

LOCS.	UAAAN U-L, COAH.			LOS MOCHIS, SIN.		IRAPUATO, GTO.		NAVIDAD, N.L.	
C.V.	G.L.	C.M.	SIG.	C.M.	SIG.	CM.	SIG.	C.M.	SIG.
REP.	3	13,26	N.S.	56,23	*	126,34	*	256,50	N.S.
GEN.	8	235,61	**	165,83	**	628,56	**	385,36	N.S.
Error	24	21,02		38,31		63,01		353,42	
Total	35								
Media		4684,9		4034,3		6012,0		5494,0	
C.V.%		10,47		11,49		8,83		21,14	

* indica diferencia significativa al 5%.
** diferencia significativa al 1%.
N.S. no hay significancia.

dad de enfermedades que dañan a la planta de trigo, factor importante en la respuesta de las variedades en estudio. Las variedades con mejor rendimiento de grano en condiciones desfavorables de agua (localidad UAAAN-UL) y presencia de enfermedades (localidad Mochis) fueron AN-1447 y AN-V47-114, mientras que la variedad AN- 1461 respondió muy bien en todas las localidades donde fueron establecidos los ensayos.

Al conjuntar los datos de todas las localidades en un análisis de varianza combinado se detectó un efecto significativo tanto para ambientes, genotipos y la interacción genotipo-ambiente, condición para continuar con la aplicación de los modelos de parámetros de estabilidad, de acuerdo a lo indicado por investigadores, quienes han mencionado que al haber significancia en el análisis combinado, esto da alternativa para estimar los parámetros de estabilidad (PÉREZ, 1994; MÁRQUEZ, 1992; FERNÁNDEZ, 1991), además se tiene que la localidad con la media de rendimiento más alta fue la de Irapuato, seguido por Navidad, La UAAAN-UL y finalmente Los Mochis. El haber encontrado diferencia entre los ambientes, demuestra que son lo suficientemente distintos, de modo que se puede considerar que estas cuatro regiones cubren un rango de condiciones diversas para que los materiales se desarrollen de manera distinta, principalmente por la presencia de factores adversos que merman su rendimiento hasta un 80%. Al hablar de la importancia de la estimación de los parámetros de estabilidad (EBERHART y RUSSELL, 1966; los tratamientos con letras iguales indican que no hay diferencia significancia entre ellos, GHADERI, EVERSON y CRESS, 1980), se señala que una buena estimación de los coeficientes de regresión, puede ser obtenida en pocos ambientes bien representados si cubren el rango de respuestas esperadas, lo

CUADRO 2
COMPARACIÓN DE MEDIAS APLICANDO LA PRUEBA ESTADÍSTICA DE DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) DE LA CARACTERÍSTICA DE RENDIMIENTO DE NUEVE GENOTIPOS DE TRIGO EN CUATRO LOCALIDADES REPRESENTATIVAS DE LAS ÁREAS TRIGUERAS DE MÉXICO. 1996

TABLE 2

MEDIA'S COMPARATION APPLYING THE STATISTICS TEST OF MINIM DIFFERENCE SIGNIFICATIVE (MDS) OF THE YIELD CHARACTERISTIC OF NINE GENOTYPES OF WHEAT IN FOUR REPRESENTATIVES ENVIRONMENT OF THE AREAS OF MEXICO. 1996

		LOCALIDAD UAAAN-UL		LOCALIDAD MOCHIS			LOCALIDAD IRAPUATO			LOCALIDAD NAVIDAD		
TRAT.	GENOTIPO	MEDIA(kg/ha)	DMS	T	MEDIA (kg/ha)	DMS	T	MEDIA(kg/ha)	DMS	T	MEDIA (kg/ha)	DMS
8	AN - $V_{3\text{-}O97}$	5510,50	a	2	4867,50	a	9	7225,00	a	6	6066,75	a
2	AN - 1447	5392,25	ab	4	4647,75	a	7	6800,00	ab	5	5887,50	a
4	AN - $V_{47\text{-}114}$	5105,00	abc	7	4408,25	ab	8	6500,00	abc	7	5783,25	a
7	AN - 1461	4853,25	abcd	9	4335,25	ab	1	6100,00	bcd	1	5740,00	a
6	AN - 1434	4693,75	bcde	8	3783,50	bc	5	6016,75	cde	8	5716,75	a
9	AN – TONGO-91	4426,50	cdef	6	3645,75	c	4	5825,00	cde	9	5415,00	a
1	AN - 1467	4232,75	def	5	3629,00	c	2	5500,00	def	3	5050,00	a
3	AN - 1421	4134,75	ef	3	3550,00	c	3	5266,50	ef	4	5037,50	a
5	AN - 1469	3885,75	f	1	3441,75	c	6	4875,00	f	2	4750,00	a
		DMS al 5% = 717,53			DMS al 5% = 676,55			DMS al 5% = 775,32			DMS al 5% = 1695,0	

Los tratamientos con letras iguales indican que no hay diferencia significancia entre ellos.

cual coincide en este trabajo. El que la localidad de Irapuato, sea el ambiente con los rendimientos más altos, se explica por que los materiales en estudio, fueron seleccionados genética y fenotipicamente en sus generaciones iniciales en esta región del país, por lo cual están bien adaptados a estas condiciones (XIE y MOSJIDIS, 1996; GUTIÉRREZ, 1992). El hecho de que la localidad de Los Mochis localizada en el noroeste del México, sea la que presenta los rendimientos más bajos es debido a que las condiciones ambientales son propicias para algunas enfermedades, particularmente para dos de ellas: la roya de la hoja y carbón parcial, causados por *Puccinia recondita* Rob y Desm. F. sp Tritici Erickss y Henn, y *Tilletia indica* Mitra (BARRERAS, 1995), coincidiendo con otros investigadores (BRAUN *et al.,* 1992); quienes indicaron que para el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), la principal estación de mejoramiento o selección es Ciudad Obregón, Son., el cual es un lugar de alta productividad en el desierto de Sonora en el Noroeste de México, región donde también se localiza el Valle granero de Los Mochis.

Con el uso del modelo de EBERHART y RUSSELL, (1966), se encontró que dos de los materiales resultaron estables en los diferentes ambientes evaluados, de estos el AN-1461 tiene el mejor rendimiento, por lo que puede ser utilizado tanto en ambientes favorables como desfavorables, el genotipo AN-1421 es estable, pero no se puede recomendar por su bajo rendimiento; la línea AN-V47-114 tiene un buen rendimiento y responde en ambientes desfavorables, lo que la hace recomendable para ambientes pobres; algunos estudios (CARBALLO y MÁRQUEZ, 1970) establecieron que una variedad con rendimiento aceptable, con respuesta en ambientes desfavorables y consistente es un genotipo prometedor. Además se confirmó que la variedad ANTONGO 91 tiene una buena respuesta en ambientes favorables y es inconsistente, condición que coincide con otros trabajos (GUTIÉRREZ, 1992) que avalaron esta variedad (cuadro 3).

Este modelo estadístico, clasifica dos genotipos como estables (E), uno como TI que respondió bien en todos ambientes pero fue inconsistente, uno como DC que respondió mejor en ambientes desfavorables y es consistente, dos como DI (responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistente), un genotipo como FC (mejor respuesta en ambientes favorables y consistente) y uno como FI con mejor respuesta en ambientes favorables e inconsistente.

El modelo de PERKINS y JINK'S, (1968) (cuadro 3), clasifica todos los genotipos como DI según la escala utilizada (CARBALLO, 1970), la cual señala que presentaron coeficientes de regresión menores que *uno* y desviaciones cuadradas muy altas, indicando que los materiales evaluados son genotipos que responden mejor en ambientes desfavorables y son inconsistentes. Debido a que sólo se registró una sola clasificación de genotipos, podemos considerar que este modelo no fue el más apropiado de los tres que se emplearon, indicando el autor que se requiere un mayor rango en la diferenciación a través de localidades, condición que recomiendan de manera similar otros investigadores (BARRERA, 1995; PÉREZ, 1994 GUTIÉRREZ, 1992; PALOMO, 1975).

En el cuadro 3, se observa que el modelo de Freeman y Perkins clasificó a un genotipo que fue denominado estable E, uno lo clasifica como TI, que respondió bien en todos ambientes pero es inconsistente, uno como DC que respondió

CUADRO 3
MEDIAS DE RENDIMIENTO, PARÁMETROS DE ESTABILIDAD Y CLASIFICACIÓN DE ADAPTABILIDAD ESTIMADAS A TRAVÉS DE TRES MODELOS DE ESTABILIDAD AGRONÓMICA, PARA NUEVE GENOTIPOS EXPERIMENTALES DE TRIGO EN CUATRO LOCALIDADES REPRESENTATIVAS DE LAS ÁREAS TRIGUERAS DE MÉXICO. 1996

TABLE 3
MEDIA'S YIELD, STABILITY PARAMETERS AND CLASSIFICATION OF ADAPTABILITY ESTIMATED FOR THREE STABILITY MODELS AGRONOMIC, FOR NINE EXPERIMENT GENOTYPES OF WHEAT IN FOUR REPRESENTATIVES ENVIRONMENT AREAS OF MEXICO. 1996

	MODELO DE EBERHART Y RUSSELL					PERKINS Y JINK´S			FREEMAN Y PERKINS		
TRAT.	GENEA.	Kg/ha	Bi	S^2di	Clasif.	Bi	S^2di	Clasif.	Bi	S^2di	Clasif.
7	AN-1461	5461	1,19	-,59	E	0,19	12,99	DI	1,40	33,03	FI
8	$AN_{-v3-097}$	5378	1,22	1,18	TI	0,22	15,19	DI	0,13	17,36	DI
4	$AN_{-V47-114}$	5154	0,49	-,04	DC	-0,42	5,10	DI	0,61	-2,63	DC
2	AN-1447	5127	0,15	,05	DI	-0,98	11,84	DI	0,27	10,31	DI
1	AN-1467	4879	1,42	-,81	FC	0,42	15,42	DI	1.51	12,01	FI
5	AN-1469	4855	1,38	1,02	FI	0,38	16,86	DI	1,44	4,26	FI
6	AN-1434	4820	0,80	6,02	DI	-0,80	20,93	DI	0,99	4,66	TI
3	AN-1421	4500	0,91	-1,11	E	-0,91	9,28	DI	1,33	-8,16	E
9	AN-TONGO-91-TESTIGO	4350	1,39	3,38	FI	0,39	19,35	DI	1,59	3,93	FI

Bi = Coeficiente de regresión.
S^2di = Desviaciones cuadradas.
Clasif. = Grado de adaptación.
E = Estable.
FC = Buena respuesta en ambientes favorables y consistente.
FI = Buena respuesta en ambientes favorables e inconsistente.
DC = Buena respuesta en ambientes desfavorables y consistente.
DI = Buena respuesta en ambientes desfavorables e inconsistente.
TI = Responde bien en todos los ambientes pero inconsistente.

mejor en ambientes desfavorables y es consistente, dos como DI que respondieron mejor en ambientes desfavorables e inconsistente y cuatro como FI con mejor respuesta en ambientes favorables e inconsistentes, sobresaliendo que el genotipo estable es de bajo rendimiento (AN-1421) y no puede ser seleccionado para ser recomendado, por lo que la línea experimental AN-V47-114 fue la mejor por tener respuesta muy buena en ambientes desfavorables y consistente (DC), con este resultado se confirma que las variedades de mayor rendimiento no siempre son estables (PETERSON, 1992).Con los resultado obtenidos y al com-parar los tres modelos para los parámetros de estabilidad se observó que él propuesto por Eberhart y Russell es el que nos determina una mejor clasificación de los materiales, el modelo propuesto por Perkins y Jink's sólo clasifica a los genotipos en un sólo tipo y el modelo propuesto por Freeman y Perkins clasifica a los genotipos en un mayor número de categorías que el de Perkins y Jink's, pero en menos que el de Eberhart y Russell (cuadro 3). De

acuerdo a resultados de otras investigaciones, el mejor método, es aquel que detecta a las mejores variedades por su promedio de rendimiento y el buen comportamiento a través de los ambientes, o también que sean clasificadas como estables (E) con alto rendimiento, rendimiento alto en ambientes favorables y consistente (FC) y un rendimiento aceptable y consistente en ambientes desfavorables (DC), (CARBALLO y MÁRQUEZ, 1970; MÁRQUEZ, 1974; GHADERI *et al.*, 1980; FERNÁNDEZ, 1991); los genotipos AN-1461, AN, -V3-097 y AN-V47-114 con mayor rendimiento, están mejor clasificados por el modelo de Eberhart y Russell, resultando E, TI y DC respectivamente, mientras que para clasificar los materiales de menor rendimiento, fueron muy similares los tres métodos.

Conclusiones

El diferente comportamiento de los genotipos a través de los ambientes, nos indica que estas cuatro localidades difieren mucho en los factores principalmente climáticos y edáficos, propiciando una mejor estimación de los parámetros de estabilidad, ya que cubren el rango de respuesta esperado, dando confiabilidad en los resultados.

El índice ambiental con más alto promedio de rendimiento correspondió a la localidad de Irapuato, lugar donde se realizaron las primeras etapas de selección, lo que confirma que el ambiente en que se seleccionan los genotipos, influye en su adaptación a determinado ambiente, mientras que el índice ambiental más bajo lo encontramos en Los Mochis, que es un buen ambiente de selección de genotipos para factores adversos, por lo que es importante incluirlo en posteriores evaluaciones de materiales de trigo que genere la UAAAN-UL.

El modelo de Eberhart y Russell realzado en el año de 1966 es el más adecuado, tomando como base la clasificación que hace de los genotipos más sobresalientes, principalmente por el alto rendimiento y el comportamiento a través de los ambientes donde se evaluaron.

El modelo de Eberhart y Russell clasificó a la línea AN-1461 que se comportó estable(E) en los diferentes ambientes, y además tiene buena media de rendimiento (5.461 kg/ha), por lo que puede pasar al proceso para su registro como variedad comercial. Además, el genotipo AN-V47-114 que tiene un buen rendimiento (5.154 kg/ha) y una clasificación DC (buena respuesta en ambientes desfavorables y consistente) puede ser usado en programas de mejoramiento por su adaptación a condiciones desfavorables.

La línea experimental AN-V3-097, presenta buen rendimiento en todas las localidades, por consiguiente es buen patrón de cruzamiento con otros materiales para buscar estabilidad en rendimiento, debido a su comportamiento inconsistente reportado por los tres modelos en estudio.

Bibliografía

BARRERAS S.M.A., 1995. Huites F-95 y Choix M-95 nuevas variedades de trigo harinero para Sinaloa. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto técnico N.° 12.

BRAUN H. J., PFEIFFER W.H. and POLLMER W.G., 1992. Environments for Selecting Widely Adapted Spring Wheat. Crop Sci., Vol. 32 , 1420-1427.

CARBALLO C. A., 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y de la Mesa Central por su rendi-

miento y estabilidad. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. ENA Chapingo. México.

CARBALLO C. A. y MÁRQUEZ S.F.,1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. Agrociencia.,Vol. 5, 129-146.

EBERHART S. A. and RUSSELL W.A., 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. Crop Sci. Vol. 6, 36-40.

FERNÁNDEZ G.C.G., 1991. Analysis of genotype x environment interaction by stability estimates. Hort. Sci. Vol. 26, 947-950.

FREEMAN G. H. and PERKINS J. M., 1971. Environmental and genotype environmental components of variability VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these. Heredity. Vol. 27, 15-23.

GHADERI A., EVERSON E.H. and CESS C.E., 1980. Classification of environments and genotypes in wheat. Crop. Sci. Vol. 20, 707-710.

GUTIÉRREZ D.R., E., 1992. Parámetros de estabilidad aplicados en el mejoramiento de trigo (*Triticum aestivum*). XIV Congreso nacional de fitogenetica. Memoria. p. 391.

MÁRQUEZ S. F., 1974. El problema de la interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. Patena, A. C. Chapingo, México.

MARTÍNEZ S.J. y RAJARAM S., 1985. Resultados de los ensayos uniformes de trigo en la zona norte ciclo 1983-1984. SARH, INIA, Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste. Cd. Obregón, Son. México.

PALOMO G. A., 1975. Estimación de los Parámetros de Estabilidad y su Aplicación en Investigación Agrícola con Algodonero. Vol.1, CIANE, INIA. p. 2-4.

PÉREZ H.G., 1994. Interacción Genotipo-ambiente de 20 genotipos de maíz (Zea Mays L.) bajo el método de Freeman y Perkins. Tesis de Licenciatura. Torreón, Coahuila, México. UAAAN-UL. p. 2-4.

PERKINS J. M. and JINK'S J.L., 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. Multiple lines and crosses. Heredity. Vol. 23, 339-356.

PETERSON C.J., 1992. Similarities among test sites based on cultivar performance in the hard red winter wheat region. Crop. Sci. Vol. 32, 907-912.

XIE C. and MOSJIDIS J.A., 1996. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. Crop. Sci. Vol. 36, 572-576.

YAU S. K., ORTÍZ F.G. and SRIVASTAVA J.P., 1991. Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. Crop. Sci. Vol. 31, 571-576.

(Aceptado para publicación el 30 de septiembre de 1998)

ITEA (1999). Vol. 95V N.° 1, 41-66

RESPUESTA DEL SORGO AL DÉFICIT HÍDRICO EN INVERNADERO, I. FENOLOGÍA, CONSUMO DE AGUA EN LOS PROCESOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN Y TRANSPIRACIÓN, Y RENDIMIENTOS

M.J. Berenguer Merelo
J.M. Faci González

Unidad de Suelos y Riegos (SIA)
Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente
(DGA-CSIC)
Apartado 727
50080 Zaragoza
España

RESUMEN

En condiciones limitantes de agua es necesario conocer la respuesta de los cultivos a un suministro variable de agua y determinar el consumo de agua de éste en sus distintas etapas fenológicas, para así poder efectuar riegos estratégicos que minimicen las pérdidas de rendimiento del cultivo. Asimismo, para una utilización más eficiente y racional del agua es preciso conocer la distribución de la evapotranspiración (ET) en sus dos componentes, transpiración (T) y evaporación, así como la relación de estos procesos con el rendimiento.

El objetivo de este trabajo fue determinar la duración de las diferentes etapas fenológicas del sorgo y el consumo de agua en los procesos de ET y T en cada una de ellas en plantas de sorgo sometidas a un suministro variable de agua de riego. Además, se estableció la relación existente entre el rendimiento del cultivo frente al agua consumida en ambos procesos. Para ello se establecieron dos ensayos simultáneos de riego variable con plantas de sorgo cultivadas en contenedores bajo condiciones controladas de invernadero. En uno de los ensayos se determinó la ET mediante pesada y en el otro se determinó la T cubriendo la superficie de los contenedores para evitar la evaporación de la superficie.

El déficit hídrico afectó al consumo de agua de ambos procesos en todas las etapas fenológicas del sorgo, produciéndose los consumos máximos en el período que va de zurrón hinchado a floración media. Tanto la producción de materia seca como el rendimiento en grano mostraron una correlación lineal con los valores estacionales de ET y T, obteniéndose correlaciones más altas en el caso de la T. Además, el déficit hídrico produjo una reducción significativa en la eficiencia del uso del agua (EUA), aunque no de la eficiencia de la transpiración (TE).

Palabras clave: Sorgo, Invernadero, Fenología, Evapotranspiración, Transpiración, Déficit hídrico, Eficiencia del uso del agua, Rendimientos.

SUMMARY

SORGHUM RESPONSE TO WATER STRESS UNDER GREENHOUSE CONDITIONS. I. PHENOLOGY. EVAPOTRANSPIRATION, TRANSPIRATION AND YIELD.

Under limited water conditions, the knowledge of crop response to a variable supply of water and crop water use in the different phenological stages are very important parameters to establish strategic irrigation and minimize yield losses. Partitioning of evapotranspiration (ET) in transpiration (T) and soil evaporation is also a key factor for a more efficient use of water in irrigation.

The main goal of the present paper was to determine the duration and crop water use in ET and T in the different phenological stages of sorghum plants under a variable supply of irrigation water. Relations between sorghum yield and water use in both processes were studied. Two simultaneous irrigation experiments with sorghum plants cultivated in pots in a greenhouse were performed. In one experiment ET was obtained by weighing the individual pots. In the other, T was obtained by weighing the pots covered with aluminum foil to avoid soil evaporation.

Water stress affected sorghum water use in both processes during all the phenological phases. Maximum values were obtained in the booth stage. Dry matter production and grain yield were linearly correlated with seasonal ET and T, with higher correlations in the case of T. Water stress also produced a significant reduction in water use efficiency but did not affect transpiration efficiency.

Key words: Sorghum, Greenhouse, Phenology, Evapotranspiration, Transpiration, Water stress, Water use efficiency, Yield.

Introducción

En las zonas áridas y semiáridas, el principal factor limitante que determina la producción de los cultivos es el agua. En estas zonas la única alternativa válida para aumentar los rendimientos es el riego (FACI, 1986). Pero el riego no es una solución viable en todos los casos ya que el agua es un recurso escaso y con una demanda en continuo aumento. El incremento de la población y el aumento de las necesidades hídricas en sectores no agrícolas (abastecimiento urbano, industrial...) imponen una utilización más eficiente y racional del agua para mantener y aumentar la productividad de los regadíos. Por tanto, debido a la creciente escasez de agua de riego en gran parte de nuestros regadíos, ésta debe ser aplicada en las cantidades y épocas adecuadas, de manera que se pueda realizar una mejor planificación de los recursos hídricos disponibles y efectuar riegos estratégicos que minimicen las pérdidas de rendimientos de los cultivos (FACI *et al.*, 1988; FACI y BERCERO, 1989).

El efecto del estrés hídrico sobre la producción de grano y sus componentes en los cereales depende fundamentalmente de la etapa del ciclo biológico en la cual se produce el déficit hídrico, así como de su intensidad y duración (BEGG y TURNER, 1976; HOOKER, 1985; FISCHER, 1980; BRADFORD y HSIAO, 1982), siendo la etapa más sensible del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) la que va de zurrón hinchado a floración

(LEWIS *et al.*, 1974). El conocimiento de la distribución de la evapotranspiración (ET) en sus dos componentes transpiración (T) y evaporación (E), así como el estudio de sus interacciones es de gran importancia para establecer el efecto de diferentes prácticas agronómicas sobre el uso del agua por el cultivo, y para analizar las posibles consecuencias prácticas que del mismo se pueden derivar. Así, COOPER (1983) y COOPER y GREGORY (1987) indicaron que la relación E/T es el principal factor que afecta a la eficiencia del uso del agua de los cultivos.

Por otro lado, el sorgo posee unas características que lo hacen tolerante a las altas temperaturas, a la sequía y a la salinidad (MARTÍN *et al.*, 1976; DOORENBOS y KASSAM, 1979; KRIEG y LASCANO, 1990), permitiéndole obtener rendimientos económicos bajo condiciones limitantes de agua en comparación con otros cultivos de verano como el maíz. Por esta razón el sorgo podría ser una alternativa rentable a otros cultivos en zonas marginales del valle medio del Ebro donde el suministro de agua puede ser deficitario durante el periodo de riegos.

El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio detallado de la fenología del sorgo en plantas cultivadas en invernadero para determinar la duración de cada una de las etapas de su desarrollo y estudiar el consumo de agua en los procesos de evapotranspiración y transpiración en cada una de ellas. Además, se estableció la relación existente entre el rendimiento en grano y la producción de materia seca frente al agua consumida en ambos procesos.

Material y métodos

En el presente trabajo, el estudio de la fenología del cultivo del sorgo se ha realizado estableciendo once etapas de desarrollo a partir de los diez estados fenológicos definidos inicialmente por VANDERLIP y REEVES (1972). Las observaciones fenológicas en las plantas de todos los tratamientos se efectuaron con una frecuencia de uno a dos días.

La etapa correspondiente al estado fenológico, que estos autores definen como floración media, fue dividida en dos etapas que se denominaron emergencia de la inflorescencia y antesis. Se han introducido las definiciones de estas dos nuevas etapas y se han completado las definiciones de las etapas fenológicas del desarrollo de la panícula con nuevas aportaciones de las características observadas en la planta. Se consideró que el inicio de cada etapa se producía cuando el 50% de las plantas se encontraban en ese estado fenológico.

Se realizaron dos ensayos de forma simultánea en los cuales se estudió la respuesta de plantas de sorgo cultivadas en contenedores en el interior de un invernadero de cristal, a un suministro variable de agua de riego. En uno de los ensayos, que se denominó ensayo de evapotranspiración (ensayo ET), se determinó la ET de plantas individuales de sorgo. En el otro, que se denominó ensayo de transpiración (ensayo T), se determinó la T de plantas de sorgo en contenedores cubiertos en su superficie para evitar las pérdidas por evaporación.

En ambos ensayos se utilizaron contenedores de plástico de 16 l de capacidad y 0,6 Kg de peso que contenían 10 Kg de un substrato artificial secado al aire y con un contenido de humedad del 6%. Este substrato estaba compuesto por una mezcla de arena, turba y tierra en una proporción volumétrica respectiva de 1/2/1. La tierra poseía una textura franco-limosa y provenía del horizonte superficial de un suelo de

la finca experimental del Servicio de Investigación Agroalimentaria (S.I.A) en Montañana (Zaragoza). La humedad gravimétrica máxima retenida por el substrato era de 56,9%, y el punto de marchitamiento (succión a -1,5 MPa) fue de 6,4%.

El 22 de mayo de 1993 se realizó la siembra del sorgo (cv. P-8501) en una bandeja con alvéolos. Cuando las plántulas alcanzaron un estadio de cuatro hojas y una altura media de 16 cm se trasplantaron con el substrato de cada alvéolo a los contenedores. Después del trasplante, las macetas se regaron con 5 litros de agua.

En el ensayo de ET se establecieron 5 tratamientos diferenciales de riego con 4 repeticiones por tratamiento. Dichos tratamientos se realizaron de forma que la humedad del suelo se mantuvo entre ciertos límites, para lo cual se dieron dos riegos por semana de cantidades variables de agua, colocando las macetas en una balanza y añadiendo agua de riego hasta un peso preestablecido en cada tratamiento. Estos pesos fueron los siguientes:

1- Tratamiento 1. Peso máximo de substrato + humedad = 15 Kg.

2- Tratamiento 2. Peso máximo de substrato + humedad = 14 Kg.

3- Tratamiento 3. Peso máximo de substrato + humedad = 13 Kg.

4- Tratamiento 4. Peso máximo de substrato + humedad = 12 Kg.

5- Tratamiento 5. Peso máximo de substrato + humedad = 11,5 Kg.

De esta forma se creó un gradiente decreciente de humedad en el substrato desde el tratamiento 1 que fue el más regado hasta el tratamiento 5 donde se impuso el máximo estrés hídrico. Así, los contenedores de los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5, alcanzaron unos porcentajes de humedad gravimétrica (θ) máximos del 50,2%, 39,8%, 29,3%, 18,9% y 13,7% respectivamente.

En el ensayo de T se establecieron tres tratamientos de riego, con cuatro repeticiones, que coincidieron con los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de ET. Las macetas de este ensayo se mantuvieron cubiertas con papel de aluminio, sellando su superficie completamente, a lo largo de todo el ensayo para evitar la evaporación directa de la superficie del suelo. Las macetas sólo se descubrieron durante breves momentos al efectuar los riegos diferenciales dos veces por semana.

En los tratamientos 1 de ambos ensayos se colocó una bandeja debajo de cada una de las macetas para controlar el drenaje existente.

En todos los contenedores de todos los tratamientos de ambos ensayos se midió el agua aplicada en cada riego. Se aplicó un total de 28 riegos. Asimismo, se realizaron aplicaciones semanales de abono foliar en las hojas para la adecuada fertilización del cultivo.

En cada uno de los contenedores de cada tratamiento, el volumen de agua evapotranspirada (ensayo de ET) y transpirada (ensayo de T) se determinó como la diferencia de peso entre dos riegos consecutivos. Este valor se dividió por el número de días correspondiente al intervalo entre dos riegos consecutivos para obtener la tasa diaria de evapotranspiración (ensayo de ET) o transpiración (ensayo de T).

La temperatura del aire y la humedad relativa en el interior del invernadero se controlaron mediante un termohidrógrafo situado junto a los contenedores de las plantas de sorgo. También se caracterizó la radiación fotosintéticamente activa (PAR)

en el interior del invernadero, así como la existente en el ambiente exterior, mediante un medidor de radiación (PAR) modelo ELE. Así, se obtuvo que la cubierta de cristal del invernadero redujo en un 34% la radiación fotosintéticamente activa respecto a la del exterior.

El valor de la ET estacional de cada maceta se obtuvo mediante la suma de la ET estimada durante el periodo comprendido desde la siembra (0 DDS) y el estadio de 4 hojas (20 DDS), en que se realizó el transplante a las macetas, y la ET medida por diferencia de pesadas desde el día 20 DDS hasta el cosechado. La ET inicial de siembra a trasplante (20 días) se calculó multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_0) por el coeficiente de cultivo correspondiente a la fase inicial del mismo (Kci). La ET_0 se calculó a partir de datos meteorológicos mediante el método de FAO Blaney-Criddle (DOORENBOS y PRUITT, 1977).

El cosechado del cultivo de sorgo se realizó el 7 de octubre de 1993, después de alcanzada la madurez fisiológica, que en el sorgo ocurre cuando se forma una mancha negra en la base del grano maduro (MARTÍN *et al.*, 1976), ya que después de la formación de dicha mancha la translocación de nutrientes al grano es despreciable (EASTIN *et al.*, 1973). Las plantas de sorgo se separaron en hojas, tallos, vainas, raíces y panículas. Las raíces fueron separadas del substrato mediante lavado con chorro de agua a presión. Estos componentes de la planta se llevaron a estufa a 60°C hasta peso constante, y posteriormente se separó el grano de las panículas para la obtención del peso de grano, peso de mil granos, número de granos por panícula e índice de cosecha (IC). El IC se calculó como la relación entre la producción de grano seco y la materia seca total. Para determinar el peso de mil granos se utilizó un contador electrónico de semillas (modelo Numigral, Tripette et Renaud, París, Francia), y balanza de precisión.

Resultados y discusión

Fenología del sorgo. Etapas fenológicas

De acuerdo a las observaciones fenológicas realizadas en las plantas de sorgo se establecieron las siguientes etapas fenológicas:

ETAPA 0. Emergencia. El coleóptilo es visible en la superficie del suelo. Esto ocurre generalmente entre 3 y 10 días después de siembra, dependiendo de las condiciones ambientales (foto 1).

ETAPA 1. Aparición del collar de la tercera hoja. Ocurre aproximadamente 10 días después de la emergencia. Sin embargo el tiempo requerido para alcanzar esta etapa puede variar ampliamente con las condiciones ambientales (foto 2).

ETAPA 2. Aparición del collar de la quinta hoja. Esta etapa ocurre cerca de la tercera semana después de la emergencia. En este momento la primera hoja puede haberse perdido (foto 3).

ETAPA 3. Punto de diferenciación del desarrollo. Representa el cambio en el punto de desarrollo de la etapa vegetativa a la etapa reproductora. Aproximadamente de 7 a 10 hojas están completamente expandidas, dependiendo de la madurez del sorgo. Como criterio previo se toma cuando el cultivo está aproximadamente en la etapa de 8 hojas (foto 4). Esto ocurre aproximadamente a los 30 días de la emergencia. En

este tiempo comienza la elongación del tallo. También, pueden haberse perdido de 1 a 3 hojas. El tiempo desde emergencia a iniciación floral varía de 32 a 44 días para 12 variedades estudiadas de sorgo. PAULI *et al.* (1964) encontraron que el tiempo transcurrido desde siembra al punto de diferenciación del desarrollo es aproximadamente 1/3 del tiempo requerido para la madurez fisiológica, independientemente de la fecha de siembra o variedad.

ETAPA 4. Aparición de la hoja final en verticilo. Aparece la punta de la hoja bandera. En esta etapa ocurre la elongación rápida del tallo. Todas las hojas excepto las 3 ó 4 finales están completamente expandidas. Las 2 ó 3 más bajas probablemente se han perdido (foto 5).

ETAPA 5. Zurrón. Todas las hojas están completamente expandidas suministrando la máxima área foliar. La espiga está cercana a su longitud máxima y envuelta por la vaina de la hoja bandera (foto 6). En esta etapa comienza la elongación del pedúnculo y el resto del tallo se encuentra ya cercano a su longitud máxima.

ETAPA 6a. Emergencia de la inflorescencia. Es visible la parte superior de la inflorescencia (foto 7).

ETAPA 6b. Antesis. Aparecen los estambres en el 50% de la panícula (foto 8). Esto ocurre aproximadamente cuando han transcurrido 2/3 del tiempo desde emergencia a madurez fisiológica. El momento de inicio de esta etapa depende de los antecedentes de la planta y de las condiciones ambientales.

ETAPA 7. Grano pastoso blando. La materia seca del grano ha alcanzado la mitad de su peso final. El contenido del grano es cremoso, firme y difícilmente puede exprimirse. Al rayar con la uña desaparece la marca (foto 9). El peso del tallo ha disminuido ligeramente y sólo permanecen de 8 a 12 hojas funcionales.

ETAPA 8. Grano pastoso duro. La materia seca del grano ha acumulado 3/4 partes de su peso final. El contenido del grano está seco. Al rayar con la uña se mantiene la huella. Ha perdido el color verde, tornándose a marrón-rojizo (foto 10). Normalmente ya se ha producido una pérdida adicional de hojas.

ETAPA 9. Madurez fisiológica. El grano es muy duro, no se raya con la uña, y se caracteriza porque se produce una mancha negra en la base de dicho grano maduro (MARTÍN *et al.*, 1976). Después de la formación de dicha mancha la translocación de nutrientes al grano es despreciable (EASTIN *et al.*, 1973) (foto 11). Se alcanza el peso seco máximo de la planta. La humedad del grano en la madurez fisiológica varía con el material genético y antecedentes del cultivo (PAULI *et al.*, 1964).

Consumo de agua en los procesos de ET y T en las diferentes etapas fenológicas del sorgo

En la figura 1 se presenta la evolución de la humedad gravimétrica media del substrato (θ) de los contenedores en todos los tratamientos del ensayo de ET (a) y del ensayo de T (b).

Al comienzo del ensayo, la humedad gravimétrica (θ) fue similar para todos los tratamientos de riego, debido a que se partió de las mismas condiciones en el momento del inicio de los tratamientos de riego. En el tratamiento 1 el valor máximo de θ fue del 50,5% en ambos ensayos. En este tratamiento, no obstante, se observó una mayor variabilidad en el ensayo de ET



Foto 1. Etapa 0 del desarrollo del sorgo. Emergencia. El coleóptilo es visible en la superficie del suelo
Stage 0. Emergence. The coleoptile is visible in the soil surface



Foto 2. Etapa 1 del desarrollo del sorgo. Planta con el collar de la tercera hoja visible
Stage 1. Collar of the third leaf is visible



Foto 3. Etapa 2 del desarrollo del sorgo. Aparición del collar de la quinta hoja
Stage 2. Plant with visible collar of the fifth leaf



Foto 4. Etapa 3 del desarrollo del sorgo. Planta en un estado de nueve hojas correspondiente a la fase del punto de diferenciación del desarrollo
Stage 3. Plant with nine leaves

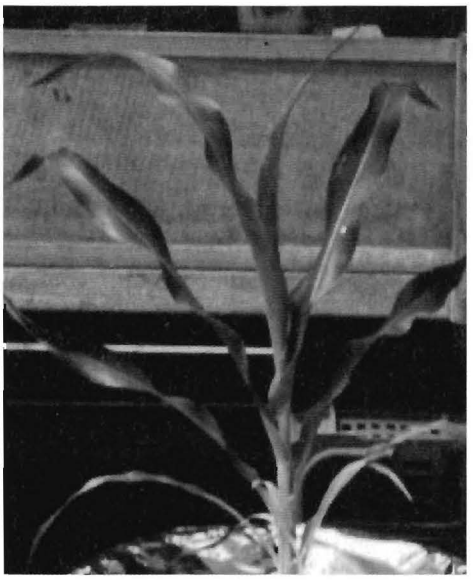


Foto 5. Etapa 4 del desarrollo del sorgo. Planta en la que se observa el extremo de la hoja bandera
Stage 4. The top of the flag leaf is visible

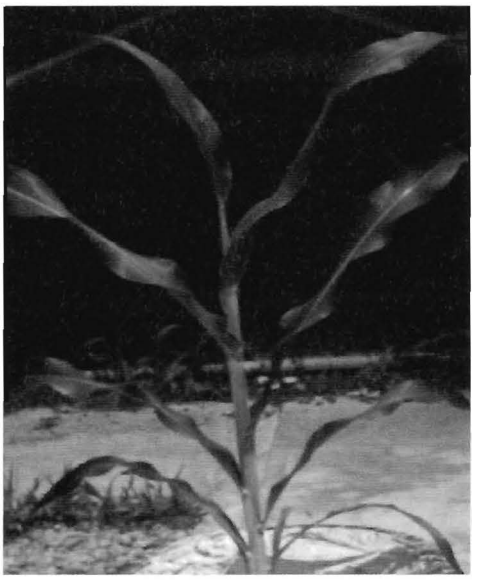


Foto 6. Etapa 5 del desarrollo del sorgo. Planta en estado de zurrón
Stage 5. Plant in boot stage



Foto 7. Etapa 6a del desarrollo del sorgo. Emergencia de la inflorescencia. Se pueden observar las primeras espiguillas de la inflorescencia
Stage 6a. Emergence of the panicle

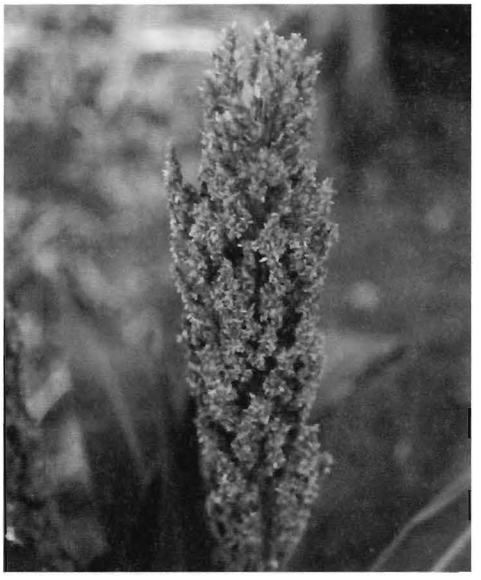


Foto 8. Etapa 6b del desarrollo del sorgo. Planta en fase de antesis. apreciándose los estambres
Stage 6b. Plant in anthesis

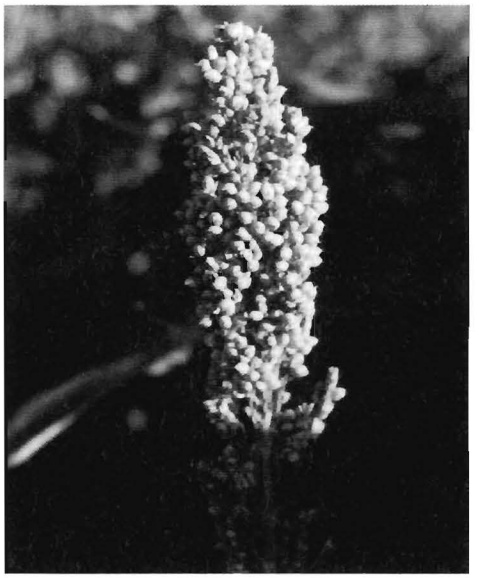


Foto 9. Etapa 7 del desarrollo del sorgo. Planta en fase de grano pastoso blando
Stage 7 Panicle with grain in soft dough stage

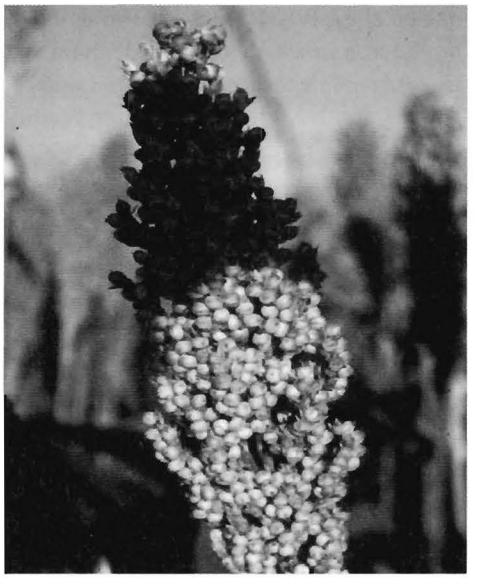


Foto 10. Etapa 8 del desarrollo del sorgo. Planta en fase de grano pastoso duro. Se aprecia el cambio de color del grano a marrón-rojizo (foto 8)
Stage 8. Panicle with grain in hard dough stage

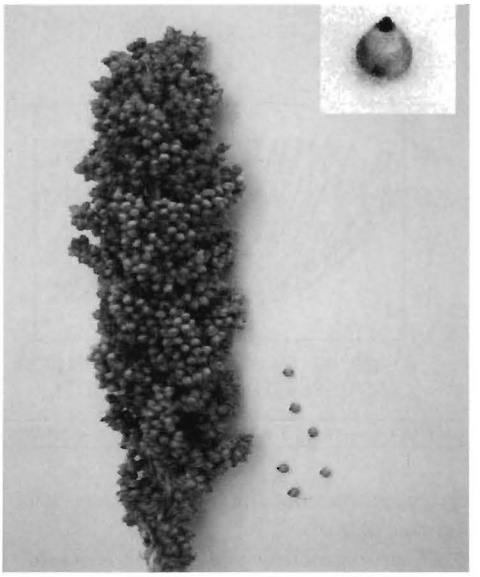


Foto 11. Etapa 9 del desarrollo del sorgo. Madurez fisiológica. Se puede observar la mancha negra en la base del grano maduro (MARTÍN *et al.*, 1976). Un detalle de este aspecto aparece en el extremo superior derecho de la foto
Stage 9. Physiological maturity

que en el de T. Así, en el ensayo de ET se produjeron unos descensos de humedad más fuertes, llegando a valores mínimos de 37,0% durante el periodo comprendido entre el día 59 y 73 DDT, que corresponde al periodo que va de zurrón hinchado a floración media. En el tratamiento 2, el valor de θ máximo alcanzado en el ensayo de ET fue de 39,8%. En el tratamiento 3, el valor de θ fue de 29,3% una vez alcanzado el peso preestablecido en los contenedores. Hay que destacar, al igual que en el tratamiento 1, la mayor variabilidad de θ en el ensayo de ET que en el ensayo de T. Así, los valores mínimos de θ alcanzados en el ensayo de ET llegaron al 18,1%, mientras que sólo llegaron al 21,5% en el ensayo de T. En el tratamiento 4 del ensayo de ET se observó un descenso gradual de θ hasta el día 41 DDT, fecha en la cual se alcanzó el peso establecido para este tratamiento. A partir de esta fecha el porcentaje de θ fue del 18,9% hasta el final del ensayo. En cuanto al tratamiento 5 de los ensayos de ET y T, el valor máximo de θ alcanzado fue del 13,7%. En el ensayo de ET se observó un descenso gradual de θ en el periodo inicial hasta el día 45 DDT. En el ensayo de T, dicho periodo se extendió hasta el día 60 DDT. Al igual que en los tratamientos 1 y 3, la variación de humedad del tratamiento 5 fue mayor en el ensayo de ET. Los valores mínimos de θ alcanzados fueron del 8,6% para el ensayo de ET y del 10,9% para el ensayo de T. Asimismo, se observó en todos los tratamientos que el rango de variación de θ entre riegos fue menor en el tratamiento 5 que en los demás tratamientos, debido probablemente a la escasa disponibilidad de agua en este tratamiento.

En los cuadros 1 y 2 se presentan los valores de la duración de las diferentes etapas fenológicas del cultivo de sorgo, así como el consumo de agua por los procesos de ET y T en dichas etapas, respectivamente.

La etapa fenológica de mayor duración correspondió a la de antesis (etapa 6b), con una duración media de 24 días en el ensayo de ET y de 23 días en el ensayo de T, no

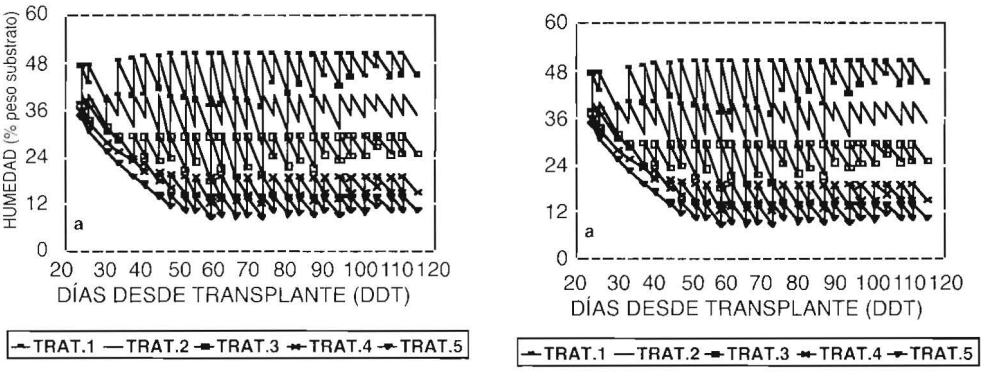


Figura 1. Evolución de la humedad gravimétrica del substrato alcanzada en los contenedores del ensayo de ET (a) y del ensayo de T (b)

Figure 1. Evolution of substrate water content in the ET experiment (a) and the T experiment (b)

CUADRO 1
DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS Y CONSUMO DE AGUA EN EL PROCESO DE ET EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE RIEGO
TABLE 1
DURATION OF THE PHENOLOGICAL STAGES AND WATER USE IN ET IN THE DIFFERENT TREATMENTS

Tratamiento	Etapa de Desarrollo	DDS	Duración de la etapa (días)	Consumo diario (cm3/pl/día)	Consumo total (cm3/pl)
Todos los tratamientos	0	7	13	–	–
Todos los tratamientos	1	20	15	223,5	3.352,1
1			17	244,7	4.160,8
2			19	220,8	4.195,9
3	2	35	19	203,1	3.859,6
4			19	186,7	3.547,1
5				195,2	3.708,3
1	3	52	15	246,2	3.693,8
2	3	54	13	227,2	2.954,2
3	3	54	14	154,2	2.158,8
4	3	54	19	102,3	1.944,6
5	3	54	21	85,8	1.801,3
1	4	67	5	280,7	1.403,9
2	4	67	5	278,4	1.392,1
3	4	68	5	203,0	1.015,0
4	4	73	4	152,3	609,2
5	4	75	4	123,4	493,8
1	5	72	6	344,5	2.006,9
2	5	72	7	249,8	1.748,7
3	5	73	6	248,5	1.491,3
4	5	77	4	165,6	662,5
5	5	79	3	141,2	423,7
1	6a	78	6	349,9	2.099,4
2	6a	79	6	231,4	1.388,4
3	6a	79	6	252,5	1.515,0
4	6a	81	6	155,8	934,6
5	6a	82	4	111,2	445,0
1	6b	84	23	280,8	6.457,5
2	6b	85	24	229,0	5.495,3
3	6b	85	24	201,6	4.839,1
4	6b	87	25	137,7	3.442,3
5	6b	86	24	110,9	2.662,5

CUADRO 1 (Continuación)

1	7	107	13	176,3	2.291.9
2	7	109	13	160.9	1.092,1
3	7	109	13	140,6	1.827.9
4	7	112	9	116.7	1.050.6
5	7	110	11	95.8	1.053.8
1	8	120	8	125.7	1.005,6
2	8	122	7	130,6	914.6
3	8	122	6	106.5	639,2
4	8	121	4	107,8	431,3
5	8	121	3	69.6	208.7
1	9	128	7*	146.6	1.026,2
2	9	129	6*	134.7	808.3
3	9	128	7*	122.7	858.8
4	9	125	10*	102,9	1.029.4
5	9	124	11*	86,2	948,7

* Estos valores corresponden al período que va desde el comienzo de la etapa 9 hasta cuatro días después del último riego, en que se realizó la cosecha.

existiendo prácticamente diferencias entre los tratamientos de riego aplicados.

En los ensayos de ET y T se observó un acortamiento de la etapa de grano pastoso duro (etapa 8) con el aumento del estrés hídrico. Así, esta etapa tuvo una duración de 8 y 11 días para las plantas del tratamiento 1 de los ensayos de ET y T, respectivamente, y de 3 y 7 días para las plantas del tratamiento 5 de ambos ensayos.

En la figura 2 se representa la duración de los periodos que van desde siembra hasta el inicio de la etapa de antesis y desde antesis a maduración fisiológica para los diferentes tratamientos de riego en los ensayos de ET y T.

En el ensayo de ET, la fecha de antesis sufrió un ligero retraso en los tratamientos más estresados (tratamientos 4 y 5), no existiendo diferencias significativas entre los demás tratamientos y el tratamiento más regado. Asimismo, se detectó un adelanto en la fecha de maduración con el aumento del estrés hídrico, y consecuentemente un acortamiento del periodo de llenado de grano. Así, se observó una diferencia de 6 días en este periodo entre los tratamientos extremos (figura 2a). El retraso sufrido en algunas etapas de este periodo se compensó con el adelanto de otras etapas en cada uno de los tratamientos (cuadro 1).

En el ensayo de T (figura 2b) se produjo un retraso en la fecha de floración de 4 días entre el tratamiento 1 y el tratamiento 5, y el periodo de llenado de grano se acortó en 4 días en el tratamiento 5. Es de destacar que la duración del periodo de llenado de grano en el tratamiento 5 (43 días) y en el tratamiento 3 (44 días) del ensayo de T, coincide con la duración de este periodo en los tratamientos 3 (43 días) y 1 (44 días) del ensayo de ET, respectivamente. Esto es debido a la mayor disponibilidad de agua

CUADRO 2
DURACIÓN DE LAS ETAPAS FENOLÓGICAS Y CONSUMO DE AGUA EN EL PROCESO DE TRANSPIRACIÓN (T) EN LOS TRATAMIENTOS 1, 3 Y 5
TABLE 2
DURATION OF THE PHENOLOGICAL STAGES AND WATER USE IN T IN THE TREATMENTS 1, 3 AND 5

Tratamiento Consumo	Etapa de desarrollo	DDS	Duración de la etapa (días)	Consumo diario (cm^3/pl/día)	Consumo (cm^3/pl)
Todos los tratamientos	0	–	–	–	–
Todos los tratamientos	1	–	–	–	–
1			15	51,9	778,7
3	2	35	19	38,7	736,0
5			19	39,9	758,5
1	3	50	13	90,4	1.175,4
3	3	54	14	78,6	1.101,2
5	3	54	14	65,6	918,8
1	4	63	5	151,4	756,9
3	4	68	5	120,3	601,7
5	4	68	5	58,08	290,4
1	5	68	7	152,3	1.066,2
3	5	73	6	182,4	1.094,6
5	5	73	7	94,2	659,6
1	6a	75	7	228,7	1.601,2Ç
3	6a	79	6	150,4	902,2
5	6a	880	6	59,6	357,5
1	6b	82	23	146,1	3.359,4
3	6b	85	22	121,1	2.664,1
5	6b	86	23	54,8	1.260,8
1	7	105	13	87,3	1.135,0
3	7	107	14	65,4	915,0
5	7	109	13	32,7	425,0
1	8	118	11	44,2	486,5
2	8	121	8	33,7	269,6
5	8	122	7	21,7	152,1
1	9	129	6*	39,9	239,2
3	9	129	6*	35,7	214,2
5	9	129	6*	20,8	124,6

* Estos valores corresponden al período que va desde el comienzo de la etapa 9 hasta cuatro días después del último riego, en que se realizó la cosecha.

en los tratamientos del ensayo de T al no consumirse agua en el proceso de evaporación, por lo que en el ensayo de T, estos tratamientos estuvieron menos estresados que sus equivalentes del ensayo de ET.

En los dos ensayos ET y T se observó un acortamiento del periodo de llenado del grano con el aumento del déficit hídrico. El periodo de llenado del grano tuvo un valor máximo de 47 días en el tratamiento 1 del ensayo de T, y un valor mínimo de 38 días en el tratamiento 5 del ensayo de ET.

Estos resultados concuerdan con los de IGARTUA (1990) obtenidos en dos ensayos realizados en 1987 y 1989 utilizando la técnica de la fuente lineal de aspersión con diferentes genotipos de sorgo, en los que observó un acortamiento del periodo de llenado de grano con el aumento del déficit hídrico, siendo éste de cuatro días para los tratamientos extremos en los dos ensayos. En el ensayo realizado en 1987, que soportó un déficit hídrico más severo, tanto las fechas de floración como de maduración se retrasaron con el aumento del déficit hídrico. Sin embargo, en el ensayo de 1989, el acortamiento del periodo de llenado del grano fue debido a un adelanto en la maduración, ya que la fecha de floración no se vio afectada por la falta de agua. FACI (1986), utilizando esta misma técnica de la

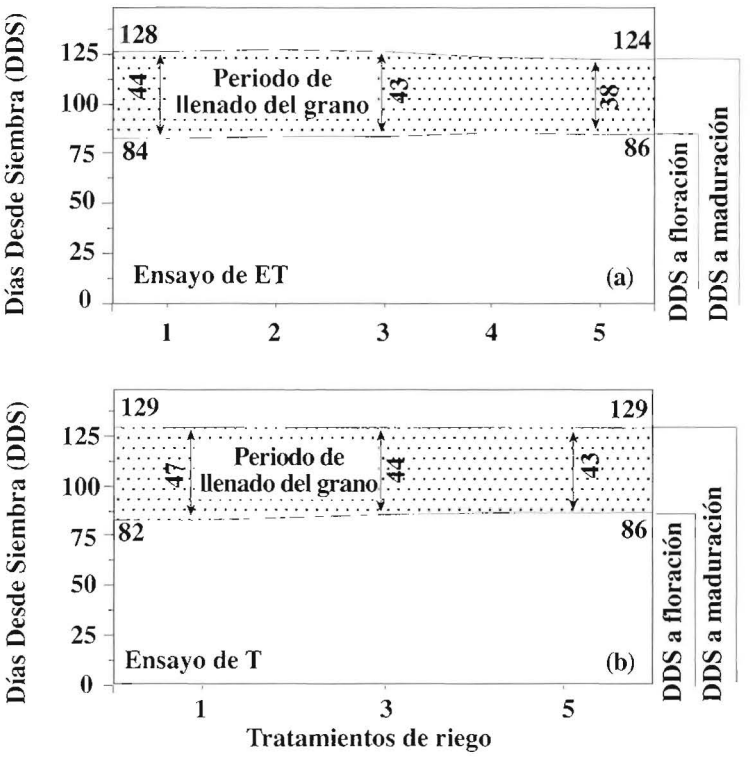


Figura 2. Respuesta fenológica al déficit hídrico en los ensayos de (a) evapotranspiración (ET) y (b) transpiración (T)

Figure 2. Phenological responses of treatments in the ET experiment (a) and in the T experiment (b)

fuente lineal con un cultivo de sorgo, llegó a la conclusión de que un déficit hídrico moderado indujo una maduración temprana comparada con la obtenida en ausencia de estrés o con un estrés hídrico severo.

Los resultados del presente trabajo confirman la importancia del efecto del déficit hídrico en la fenología y desarrollo del sorgo, acelerando o retrasando el desarrollo fenológico según la duración e intensidad del mismo (GARDNER *et al.*, 1981; DONE *et al.*, 1984 y DONATELLI *et al.*, 1992). Asimismo, GARDNER *et al.* (1981) y DONATELLI *et al.*, (1992) observaron que el desarrollo fenológico del sorgo no se afecta hasta que el estrés hídrico alcanza un valor umbral severo y persistente.

En todas las fases fenológicas y en ambos ensayos de ET y T se observa que los tratamientos diferenciales de riego han producido en general una variación considerable de los consumos medios de agua en las distintas etapas fenológicas, tanto en el ensayo de ET como en el ensayo de T. Los consumos mayores de ET y T se produjeron en los tratamientos que mantuvieron un nivel más alto de θ en el suelo y los consumos más bajos se obtuvieron en los tratamientos más secos.

Asimismo, se observó que los consumos mayores de ET y T en todos los tratamientos de riego se produjeron en las etapas 5 y 6a, que corresponden al periodo comprendido desde zurrón hinchado hasta comienzo de la antesis (etapa 6b), periodo en el cual las plantas presentaban el máximo desarrollo foliar. En el ensayo de ET, el consumo máximo de agua en ET en este periodo se produjo en el tratamiento 1 con un valor de 347,2 cm^3/pl y día y el mínimo en el tratamiento 5 con un valor de 126,2 cm^3/pl y día. En el ensayo de T, el consumo máximo en T en este periodo se produjo también en el tratamiento 1 con un valor de 190,5 cm^3/pl y día y el mínimo de 76,9 cm^3/pl y día en el tratamiento 5.

El valor máximo de la ET estacional fue de 21.616 cm^3/pl en el tratamiento 1 y el valor mínimo fue de 9.145 cm^3/pl en el tratamiento 5. Los valores de la ET estacional para los tratamientos intermedios se situaron entre estos extremos. El valor máximo de la T estacional fue de 10.131 cm^3/pl en el tratamiento 1 y de 4.480 en el tratamiento 5. Los consumos estacionales de agua en ET y T fueron significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$) en todos los tratamientos de los ensayos de ET y de T.

Rendimiento y componentes

El cuadro 3 presenta los valores medios de distintos parámetros productivos del sorgo para los diferentes tratamientos de riego en los ensayos de ET y T. Dichos valores se vieron muy afectados por el déficit hídrico, produciéndose un descenso gradual de estos parámetros a medida que aumentaba el déficit hídrico en ambos ensayos.

En el ensayo de ET se obtuvo un valor máximo de producción de materia seca total (MST) de 52,8 g/planta para el tratamiento 1, con un coeficiente de variación (CV) de 6,4%, y un valor mínimo de 18,6 g/planta (CV = 17,0%) para el tratamiento 5. Igualmente, el rendimiento en grano alcanzó un valor máximo de 19,3 g/planta en el tratamiento 1 con un CV de 20,7% y un valor mínimo de 3,0 g/planta en el tratamiento 5 (CV = 21,5%), observándose un descenso drástico de este parámetro con el incremento del déficit hídrico. Esto queda confirmado por el importante descenso del

índice de cosecha (IC) que alcanzó el valor máximo de 0,37 para el tratamiento 1 (CV = 17,4%) y el valor mínimo de 0,16 en el tratamiento 5 (CV = 19,1%). FACI y FERERES (1980), FACI (1986) e IGARTUA (1990), trabajando en condiciones de campo con diferentes regímenes de riego, encontraron disminuciones considerables del IC del sorgo en los tratamientos deficitarios de riego, aunque no tan acusados como los obtenidos en el presente trabajo.

Por el contrario, el peso seco de hojas, vainas y raíces no se vio tan afectado por el déficit hídrico encontrándose sólo diferencias significativas en el peso seco de hojas y vainas en el tratamiento 1 con respecto a los demás tratamientos. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas para el peso seco de raíces entre los diferentes tratamientos de riego.

En el ensayo de T se observó un menor efecto del déficit hídrico que en el ensayo de ET, sobre todo para el tratamiento más deficitario (tratamiento 5). Esto es debido fundamentalmente a la supresión de la evaporación (E) en el ensayo de T. El análisis de varianza conjunto del ensayo de ET y del ensayo de T permitió detectar, tanto para la MST como para el rendimiento en grano, que los tratamientos análogos diferían significativamente en ambos ensayos, siendo superiores en el ensayo de T. Es de destacar que en ambos ensayos la razón raíz/parte aérea se vio muy influenciada por el déficit hídrico, siendo esta influencia mayor en el caso del ensayo de ET.

De estos resultados se puede concluir que la MST, el rendimiento en grano seco, el IC y el peso seco de tallos en los ensayos de ET y de T se vieron muy afectados por el déficit hídrico, produciéndose un descenso gradual de estos parámetros a medida que aumentó el déficit hídrico. Por el contrario, este efecto fue mucho menor para los parámetros peso seco de hojas, vainas, peso de mil granos y especialmente para el peso seco de raíces.

Relación entre producción y la evapotranspiración estacional

Para el estudio de las relaciones existentes entre la ET estacional y los diferentes parámetros productivos se procedió al ajuste mediante análisis de regresión lineal simple ($y = a + bx$) de los valores experimentales obtenidos en el ensayo de ET de 1) la producción de la materia seca total (g/pl), 2) el rendimiento en grano seco (g/pl) y 3) el índice de cosecha frente a la evapotranspiración estacional (dm^3).

Los valores obtenidos de materia seca total, rendimiento en grano seco e índice de cosecha frente a la ET estacional se ajustaron bien al modelo de regresión lineal simple, tal como queda representado en la figura 3.

En el caso de la producción de la materia seca total y del rendimiento en grano, las ecuaciones de regresión fueron significativas ($\alpha = 0,05$) con unos altos coeficientes de determinación, 91,55 % y 86,17 % respectivamente. Reducciones de la ET estacional por debajo de la requerida para la máxima producción, se manifiestan en disminuciones en la producción tanto de la materia seca como del rendimiento en grano.

En el caso del IC, la regresión también fue significativa ($\alpha = 0,05$), aunque el coeficiente de determinación fue moderadamente alto (65,81%). Como con los dos parámetros anteriores, el IC disminuye al reducirse la ET estacional.

CUADRO 3
VALORES MEDIOS DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES DE LAS PLANTAS INDIVIDUALES DE LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y T. CADA VALOR CORRESPONDE A LA MEDIA DE CUATRO REPETICIONES

TABLE 3
YIELD AND YIELD COMPONENTS IN TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS. EACH VALUE IS THE MEAN OF FOUR REPLICATES

Tratam.	Mat. Seca Total (g)	Panículas (g)	Hojas (g)	Vainas (g)	Tallos (g)	Raíces (g)	Grano (g)	IC	Peso mil granos (g)	Raíz/MS aérea
VALORES DE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL ENSAYO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN										
1	52,80a	24,25a	4,49a	4,64a	11,21a	8,22a	19,35a	0,37a	20,94ab	0,19a
2	42,75b	21,41ab	3,21b	3,10b	6,77b	8,27a	18,18ab	0,42a	25,44b	0,24a
3	40,51b	17,74b	3,53ab	3,42b	7,47b	8,36a	14,81b	0.36a	24,04b	0,26a
4	23,71c	7,42c	2,95b	3,02b	3,96c	6,37a	5,67c	0,24ab	17,89ab	0,38b
5	18,56d	3,97c	3,01b	2,72b	2,33c	6,54a	3,00c	0,16c	13,20a	0,54c
VALORES DE RENDIMIENTO Y COMPONENTES DEL ENSAYO DE TRANSPIRACIÓN										
1	62,07a	32,72a	4,39a	4,39a	10,70a	9,88a	26,87a	0,43a	22,11a	0,19a
2	52,82a	26,92a	3,91ab	4,23a	9,19a	8,58a	22,12a	0,42a	20,90a	0,20a
5	34,62b	14,02b	3,22b	3,64a	5,08b	8,67a	10,96b	0,32b	15,80b	0,33b

* Los tratamientos seguidos de distinta letra indican que son significativamente diferentes a un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

Asimismo, se realizó un análisis de regresión simple con estas mismas variables transformadas a valores relativos respecto a sus valores máximos, frente a la ET estacional relativa, es decir como porcentaje de su valor máximo (cuadro 4).

En vista de estos resultados se puede concluir que existe una estrecha relación lineal simple tanto para la producción de materia seca como para el rendimiento en grano frente a la ET estacional.

Esto queda reflejado en numerosos trabajos previos realizados en condiciones de campo e invernadero, en los cuales se indica que para el cultivo de sorgo las relaciones entre el rendimiento en grano o la materia seca total y la ET estacional son esencialmente lineales (HANKS *et al.*, 1969; STEWART y HAGAN, 1973; STEWART *et al.*, 1975; BARRET y SKOGERBOE, 1980; FACI y FERERES, 1980; GARRITY *et al.*, 1982; HANKS, 1983; HOWELL y MUSICK, 1985; FACI, 1986; KRIEG y LASCANO, 1990).

Las relaciones entre producción de grano (Y) y ET son más complejas que para la materia seca, ya que la producción en grano es más sensible a reducciones de ET durante ciertas etapas de crecimiento (GARRITY *et al.*, 1982).

Relaciones entre diferentes parámetros de producción y la transpiración

En el ensayo de transpiración (T) se estudiaron las relaciones existentes entre la producción de materia seca total (g/pl), el rendimiento en grano seco (g/pl) y el índice de cosecha con la transpiración (dm^3), obtenida directamente mediante pesada en el periodo comprendido entre el inicio de los tratamientos (24 DDT) y la madurez fisiológica.

Al igual que en el caso de la ET estacional, las ecuaciones que mejor se ajustaron a los datos experimentales de producción de materia seca (g/pl), rendimiento en grano seco (g/pl) e índice de cosecha frente a la T fueron las de tipo lineal simple (figura 4). Se observa un fuerte descenso en dichas variables al disminuir la transpiración, obteniéndose unos coeficientes de determinación muy altos, tanto para la materia seca (95,76%) como para el rendimiento en grano (88,46%), siendo éstos mayores que para el caso de la ET estacional. En el caso del índice de cosecha también se encontró una relación lineal de este parámetro con la transpiración, siendo esta relación menor que en el caso de la ET ($R^2 = 52,62\%$).

En el cuadro 5 se presentan las ecuaciones de regresión lineal normalizadas de la materia seca, rendimiento en grano seco e índice de cosecha frente a la transpiración acumulada en el periodo considerado.

En condiciones controladas y con cultivos desarrollados en contenedores cubiertos numerosos autores han encontrado una estrecha relación lineal entre la transpiración y la producción de materia seca (DE WITT, 1958; ARKLEY, 1963; HANKS y RASMUSSEN, 1983). Sin embargo, en estudios de campo la transpiración es difícil de estimar, precisamente a causa de la evaporación del suelo. Así, HANKS *et al.* (1969) midieron la evapotranspiración y estimaron la transpiración para el cultivo de sorgo desarrollado en lisímetros. Estos autores estimaron la evaporación de agua desde el suelo, y por su sustracción de la ET estimaron la T. La materia seca se relacionó linealmente tanto con la ET como con la T. En el caso de la ET la función de producción de materia seca estaba desplazada hacia la derecha con respecto a la función de la T, que pasaba por el origen. Este desplazamiento fue debido a la evaporación

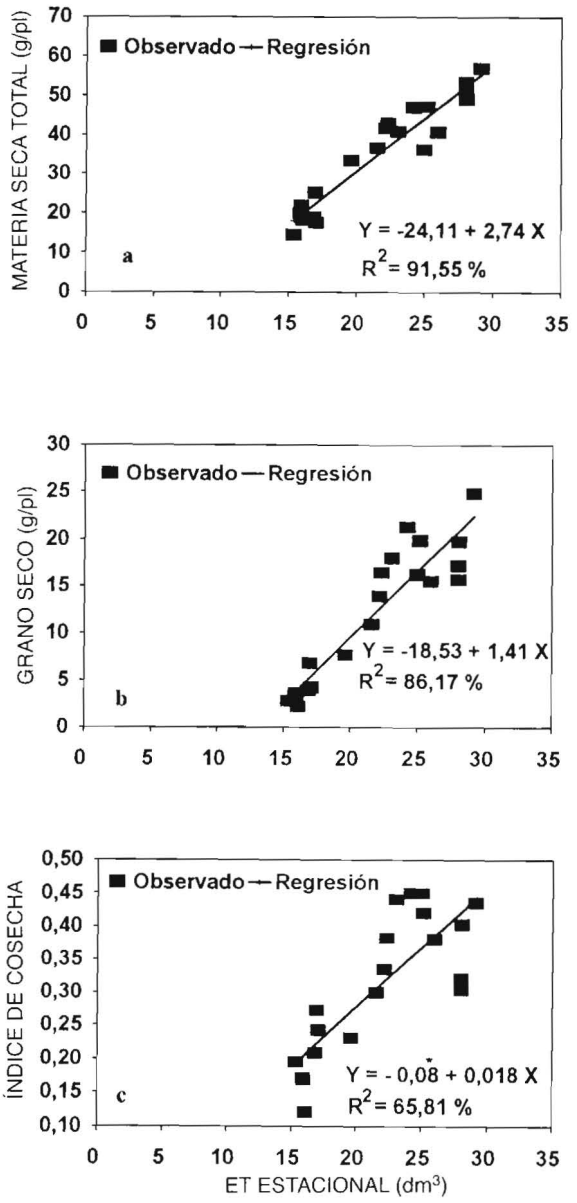


Figura 3. Rectas de regresión lineal de a) la materia seca total (g/pl), b) el rendimiento en grano (g/pl) y c) el índice de cosecha frente a la ET estacional (dm^3) del sorgo. Cada punto corresponde a un valor individual. * El intercepto no es significativo a un nivel de significación $\alpha = 0,05$

*Figure 3. Linear regression of a) dry matter, b) grain yield and c) harvest index against seasonal ET. Each point is an individual value. * The intercept is not significant at $\alpha = 0,05$ level of significance*

CUADRO 4
RECTAS DE REGRESIÓN LINEAL NORMALIZADAS DE LA MATERIA SECA TOTAL (Y'_1 %), RENDIMIENTO EN GRANO (Y'_2 %) E ÍNDICE DE COSECHA (Y'_3 %) FRENTE A LA ET ESTACIONAL (X, %). R2 = COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (%). n = NÚMERO DE PUNTOS DE LA REGRESIÓN

TABLE 4
NORMALIZED SIMPLE LINEAR EQUATIONS OF DRY MATTER, GRAIN YIELD AND HARVEST INDEX AGAINST SEASONAL ET. R^2 = DETERMINATION COEFFICIENT, n = NUMBER OF POINTS

Ecuación	R^2 (%)	n
$Y'_1 = -42{,}31 + 1{,}40\ X$	91,55	20
$Y'_2 = -74{,}63 + 1{,}65\ X$	86,17	20
$Y'_3 = -18{,}76^* + 1{,}17\ X$	65,81	20

* No es significativamente diferente de cero a un nivel de significación de $\alpha = 0{,}05$.

CUADRO 5
RECTAS DE REGRESIÓN LINEAL NORMALIZADAS DE LA MATERIA SECA TOTAL (Y'_1 %), RENDIMIENTO EN GRANO (Y'_2 %) E ÍNDICE DE COSECHA (Y'_3 %) FRENTE A LA T ESTACIONAL (X, %) DESDE EL COMIENZO DE LOS TRATAMIENTOS (24 DDT) A LA MADUREZ. R^2 = COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (%). n = NÚMERO DE PUNTOS DE LA REGRESIÓN

TABLE 5
NORMALIZED SIMPLE LINEAR EQUATIONS OF DRY MATTER, GRAIN YIELD AND HARVEST INDEX AGAINST SEASONAL T. R^2 = DETERMINATION COEFFICIENT, n = NUMBER OF POINTS

Ecuación	R^2 (%)	n
$Y_1' = 17{,}80 + 0{,}82\ X$	95,76	12
$Y_2' = -5{,}04^* + 1{,}07\ X$	88,46	12
$Y_3' = 49{,}19 + 0{,}47\ X$	52,62	12

* El valor del intercepto no es significativamente diferente de cero a un nivel de significación $\alpha = 0{,}05$.

desde la superficie del terreno hasta que el cultivo llegó a cubrir el suelo.

Lógicamente, la relación entre T y materia seca debería pasar por el origen. Sin embargo, en nuestro ensayo, la relación materia seca total (MST) frente a la transpiración (T) también fue de tipo lineal (figura 4), aunque no pasaba por el origen debido a que no se consideró la transpiración existente en el periodo inicial, desde nascencia hasta el comienzo de los tratamientos, que fue de 37 días. Para corregir los

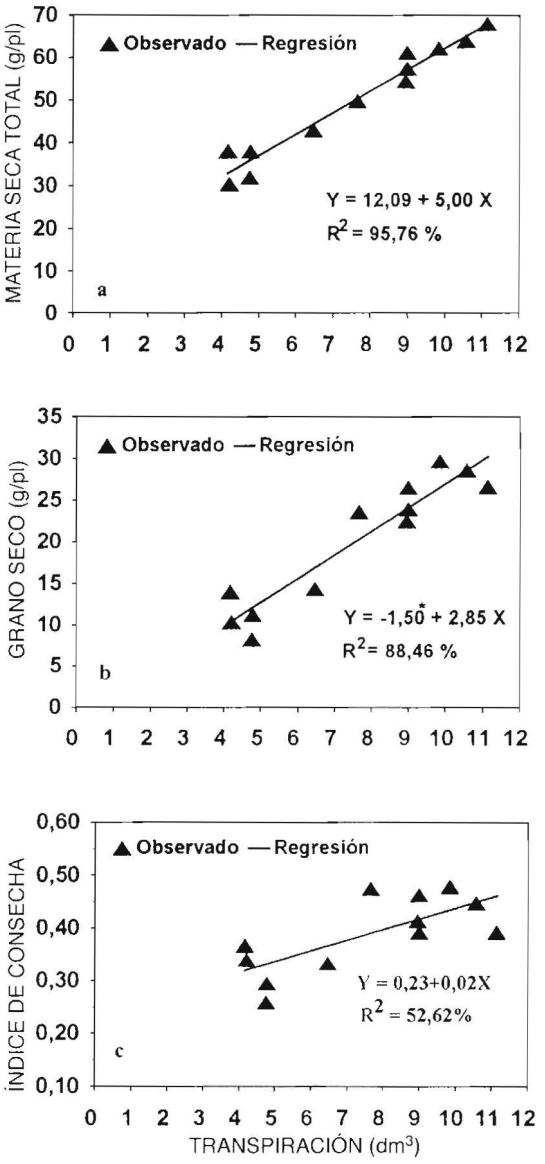


Figura 4. Rectas de regresión lineal simple de a) materia seca (g/pl), b) rendimiento en grano (g/pl) y c) índice de cosecha frente a la transpiración acumulada (dm^3) desde el comienzo de los tratamientos (24 DDT) hasta la madurez. Cada punto corresponde a una observación individual. * El valor del intercepto no es significativamente distinto de 0 ($\alpha = 0,05$)

*Figure 4. Simple linear regression between a) dry matter production, b) grain yield and c) harvest index against seasonal transpiration. Each point is an individual value. * The intercept is not significantly different of 0 ($\alpha = 0,05$)*

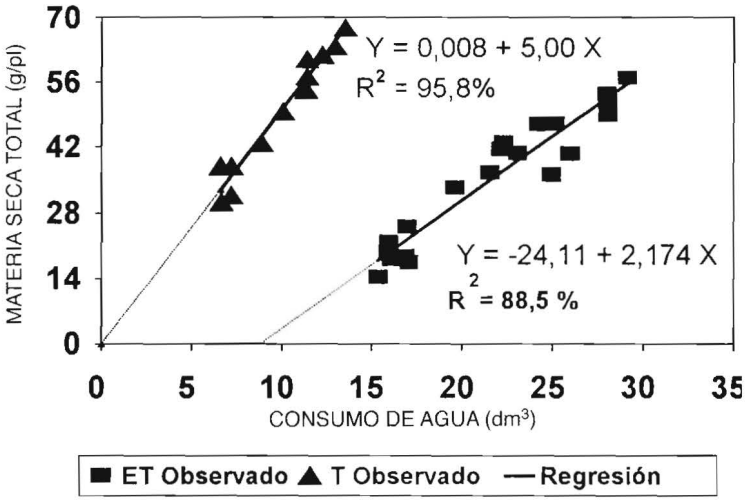


Figura 5. Rectas de regresión lineal entre la materia seca (g/pl) frente al agua consumida en ET y T. La ET estacional está comprendida desde siembra a madurez y la T es considerada desde nascencia a madurez

Figure 5. Simple linear regressions of dry matter (g/pl) against water use in ET and T. Seasonal ET includes water use from planting till maturity and seasonal T includes water use since emergence till maturity

valores de T de esta relación se sumó la T inicial estimada como el producto de los 37 días por la T media diaria en el inicio del cultivo. Este valor fue de 2,4 dm^3. Sumando este valor estimado de transpiración en este periodo (37 días) a la transpiración acumulada desde el comienzo de los tratamientos a la madurez fisiológica, se obtuvo la ecuación de la producción de materia seca total frente a la transpiración de la figura 5.

Se observa que la recta de regresión en el caso de la producción de materia seca total (MST) pasa prácticamente por el origen, con una ordenada en el origen, 0,008, no significativamente diferente de cero ($\alpha = 0,05$). La recta de regresión de la MST frente a la evapotranspiración (ET) presenta un desplazamiento a la derecha con respecto a la recta de regresión de la MST frente a la transpiración (T) (figura 4). Estos resultados (en los que se incluye la transpiración estimada desde nascencia hasta el comienzo de los tratamientos) coinciden con los de HANKS *et al.* (1969). Se interpreta que este desplazamiento se debe a la evaporación del agua desde el suelo (HANKS, 1974).

Las funciones de producción de la materia seca total frente a la transpiración presentan unos coeficientes de determinación más altos que cuando se analizan frente a la ET estacional. Esto es previsible ya que la producción de materia seca de la parte aérea y la fotosíntesis están estrechamente relacionadas, así como la fotosíntesis y la transpiración. La transpiración relativa es un buen indicador de las cantidades relativas de intercambios gaseosos (CO_2 y H_2O)

que tienen lugar en la superficie foliar a través de los estomas.

Eficiencia del uso del agua (EUA)

El cuadro 6 muestra los valores de eficiencia del uso del agua (EUA) para los tratamientos del ensayo de ET y los de la eficiencia de transpiración (TE) para los tratamientos del ensayo de T.

Los valores medios de la eficiencia del uso del agua (EUA) para la producción de materia seca total variaron entre un máximo de 1,86, para el tratamiento más regado, y un mínimo de 1,17 para el tratamiento más estresado. Los valores medios de la EUA para el rendimiento en grano manifestaron una tendencia muy similar, obteniéndose el valor máximo de 0,73 en el tratamiento 2 y el mínimo de 0,19 en el tratamiento 5.

De esta forma, se advierte un descenso de la EUA tanto para la materia seca total como para el rendimiento en grano con el déficit hídrico. Esto queda confirmado por el análisis de varianza y la comparación de medias mediante el test de Duncan (α= 0,05) que indicó un descenso de la EUA en la materia seca total y en el rendimiento en grano con el aumento del estrés hídrico. Así, los tratamientos más regados (1, 2 y 3) fueron significativamente diferentes de los tratamientos más estresados (4 y 5), tanto para la materia seca como para el rendimiento en grano (cuadro 3).

BLUM *et al.* (1990) trabajando con diferentes genotipos de sorgo en condiciones similares a las de este ensayo, es decir cultivado en macetas en condiciones de invernadero, encontraron que la EUA media tanto para la producción de biomasa como para la del rendimiento en grano se redujo

CUADRO 6
EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA) Y EFICIENCIA DE TRANSPIRACIÓN (TE) DE LA MATERIA SECA TOTAL Y DEL GRANO (EN g/kg DE AGUA EVAPOTRANSPIRADA Y TRANSPIRADA RESPECTIVAMENTE)
TABLE 6
WATER USE EFFICIENCY (EUA) AND TRANSPIRATION EFFICIENCY (TE) OF DRY MATTER AND GRAIN YIELD (IN g/Kg OF EVAPOTRANSPIRATION AND TRANSPIRATION RESPECTIVELY)

Tratamiento	EUA (g/kg ET)		TE (g/kg T)	
	Mat. seca	Grano	Mat. seca	Grano
1	1,86a	0,68a	4,94a	2,14a
2	1,71a	0,73a	–	–
3	1,82a	0,66a	5,04a	2,10a
4	1,33b	0,32b	–	–
5	1,17b	0,19b	5,03a	1,60a

* Valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes al nivel de significación $\alpha = 0,05$.

con el estrés hídrico, siendo el porcentaje de reducción mayor en el caso del rendimiento en grano. Asimismo, encontraron que la EUA variaba entre los diferentes genotipos estudiados.

La eficiencia de transpiración (TE) de la materia seca total (g/Kg) se mantuvo prácticamente constante en todos los tratamientos del ensayo de T. La TE del rendimiento en grano tuvo una ligera disminución con el déficit hídrico pero el análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) en la TE de la materia seca total y del rendimiento en grano, entre ninguno de los tratamientos (cuadro 6). Esto indica que existió una disminución similar tanto en el proceso de transpiración como en el de asimilación en los tratamientos deficitarios, quizás debido al cierre estomático que restringió ambos procesos. Hay que destacar los mayores valores de TE que los correspondientes valores de la EUA tanto de la materia seca como del rendimiento en grano, debido probablemente a la alta evaporación del agua del suelo en los contenedores del ensayo de ET.

AL-HAMDANI *et al.* (1991), en un ensayo con cuatro genotipos de sorgo cultivados en macetas en cámara de crecimiento, encontraron que la TE (expresada como la razón entre la asimilación neta de CO_2 y la transpiración) aumentaba cuando el potencial hídrico disminuía, aunque el análisis de varianza sólo detectó diferencias en la TE con respecto al estrés hídrico en uno de los cuatro genotipos estudiados. Estos autores observaron que una disminución del potencial hídrico afectaba más a la transpiración que a la asimilación de CO_2. Aunque este hecho habría que tomarlo con cierta precaución, ya que tal como se ha indicado el análisis estadístico sólo encontró diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) en la TE entre los tratamientos hídricos aplicados en uno de los genotipos considerados.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo han permitido caracterizar la duración y los consumos de agua en los procesos de evapotranspiración (ET) y transpiración (T) en las diferentes etapas fenológicas establecidas en las plantas de sorgo sometidas a distintos suministros de riego. El déficit hídrico afectó al consumo de agua en todas las fases fenológicas del sorgo. Los valores máximos en todas las fases fenológicas se produjeron en el tratamiento más regado y los mínimos en el tratamiento menos regado. Las reducciones en los consumos de agua en ET en los tratamientos más deficitarios en las distintas fases fenológicas estuvieron comprendidas entre el 20% y el 65%. En el caso de la T estas reducciones variaron entre el 23% y el 74%.

Los valores máximos de ET y T en condiciones de invernadero se produjeron en las fases de zurrón hinchado y emergencia de la inflorescencia (etapas 5 y 6a), con unos consumos medios en el tratamiento más regado del orden de 347 y 190 cm^3/pl día, respectivamente. En el tratamiento menos regado estos consumos máximos fueron de 126 y 77 cm^3/pl día en ET y T respectivamente.

La producción de materia seca total y el rendimiento en grano de las plantas de sorgo cultivadas en condiciones de invernadero, se vieron muy afectadas por el déficit hídrico, produciéndose una mayor reducción del rendimiento en grano que de la materia seca, hecho que queda reflejado en la fuerte disminución del índice de cosecha

(IC). En el ensayo de ET el IC varió de 0,42 en el tratamiento 2 a 0,16 en el tratamiento 5. En el ensayo de T el IC varió entre 0,43 en el tratamiento 1 a 0,32 en el tratamiento 5.

La relación entre la producción de materia seca total y del rendimiento en grano seco de las plantas individuales de sorgo cultivadas en invernadero frente a la ET estacional fue de tipo lineal simple, con unos altos valores del coeficiente de determinación. Estos coeficientes de determinación fueron mayores en el caso de la materia seca que en el caso del rendimiento en grano. La relación entre la materia seca total y el rendimiento en grano frente a la transpiración también fue de tipo lineal simple, con mejores correlaciones que en el caso de las relaciones obtenidas frente a la ET.

Los resultados del trabajo indicaron que la eficiencia del uso del agua (EUA), tanto de la materia seca total como del rendimiento en grano de las plantas cultivadas en invernadero, solo se vio afectada significativamente a partir de un valor umbral de déficit hídrico. Se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos mas regados (tratamientos 1, 2 y 3) y los tratamientos más deficitarios (tratamientos 4 y 5). La reducción de la EUA de la materia seca total y del rendimiento en grano respecto a los tratamientos más regados fue del 52% y del 74%, respectivamente.

La eficiencia de transpiración (TE), tanto de la materia seca total como del rendimiento en grano, no se vio afectada significativamente por el déficit hídrico. Los valores medios de la TE fueron de 5,0 g/Kg y de 1,9 g/Kg para la materia seca total y el rendimiento en grano, respectivamente.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) por la concesión de una beca para la realización de tesis doctoral a Mª José Berenguer Merelo, en la que se incluye este trabajo, y por la financiación de los proyectos 8084, SC93-059 y SC93-057.

A Begoña Díaz del Cuvillo y Asunción Salvador por su colaboración en las tareas realizadas en el invernadero.

Bibliografía

AL-HAMDANI S.H., MURPHY M., TODD G.W., 1991. Stomatal conductance and CO2 assimilation as screening tools for drought resistance in sorghum. Can. J. Plant Sci., 71:689-694.

ARKLEY R.J., 1963. Relationships between plant growth and transpiration. Hilgardia, 34:559-584.

BARRET J.W., SKOGERBOE, G.V., 1980. Crop production functions and the allocation and use of irrigation water. Agric. Water Manag., 3:53-64.

BEGG J.E., TURNER N.C., 1976. Crop water deficits. Avd. Agronomy, 28:161217.

BLUM A., RAMAIAH, S., KANEMASU E.T., PAULSEN G.M., 1990. The physiology of heterosis in Sorghum with respect to environmental stress. Annals of botany, 65:149-158.

BRADFORD K.J., HSIAO T.C., 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: Physiological Plant Ecology. II: Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of plant physiology. New Series, Vol.12(d). Lange, O.L., Nobel, P.E., Osmond, C.B., Ziegler, H. (Eds.) SpringerVerlag, Berlin. 747 pp.

COOPER P.J.M., 1983. Crop management in rainfed agriculture with special reference to water use efficiency. Proceeding of the 17th Coll.International. Potash Institute Bern.: 63-79.

COOPER P.J.M., GREGORY P.J., 1987. Soil water management in the rainfed farming systems of the Mediterranean region. Soil Use and Management, 3(2): 57-62.

DE WIT C.T., 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Landbouk, Onderz. N° 64. Wageningen, The Netherlands.

DONATELLI M., HAMMER G.L., VANDERLIP R.L., 1992. Genotype and water limitations effects on phenology, growth, and transpiration efficiency in grain sorghum. Crop Sci., 32:781-786.

DONE A.A., MYERS R.J.K., FOALE M.A., 1984. Responses of grain sorghum to varying irrigation frequency in the ord irrigation area. I Growth development and yield. Aust. J. Agric. Res., 35:17-29.

DOORENBOS J., KASSAM A.H., 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 33. FAO, Roma. 212 pp.

DOORENBOS J., PRUITT, W.O., 1977. Crop water requirement's. FAO Irrigation and Drainage, Paper 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. 144 pp.

EASTIN T.D., HULTQUIST, T.H., SULLIVAN, C.Y., 1973. Physiological maturity in grain sorghum. Crop Sci., 13:175-178.

FACI J.M^{a}., 1986. Respuesta de los cultivos de sorgo y trigo a un suministro variable de agua de riego. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 238 pp.

FACI J.M^{a}., ARAGÜES, R., QUILEZ D., 1988. Estudios para la mejora de la eficiencia del riego en un polígono de riego del Valle del Ebro. Riegos y Drenajes XXI, 20:35-42.

FACI J.M^{a}. y BERCERO A., 1989. Estrategias frente a la sequía. Surcos de Aragón, 15:16-19.

FACI J.M^{a}., FERERES E., 1980. Responses of grain sorghum to variable water supply under two irrigation frequencies. Irrig. Sci., 1:149-159.

FISCHER R.A., 1980. Influence of water stress on crop yield in semid arid regions. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. p. 323-340. Turner, N.C., Kramer, P. (Eds.) Wiley and Son, New York, U.S.A.

GARDNER W.R., BLAD B.L., GARRITY, D.P., WATTS D.G., 1981. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. Irrigation Sci., 2:213-224.

GARRITY D.P., WATTS D.G., SULLIVAN C.Y., GILLEY J.R., 1982. Moisture deficits and grain sorghum performance: Evapotranspirationyield relationships. Agronomy J., 74:815-820.

HANKS R.J., 1974. Model for predicting plant growth as influenced by water use. Agron. J., 66:660-665.

HANKS R.J., 1983. Yield and wateruse relationships: An overview. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. (Eds.). "Limitations to efficient water use in crop production". Am. Soc. Agron., U.S.A.: 393-411.

HANKS R.J., GARDNER H.R., FLORIAN R.L., 1969. Plant growthe vapotranspiration relations for several crops in the Central Great Plains. Agron. J., 61:3034.

HANKS R.J., RASMUSSEN V.P., 1983. Crop production and plant water stress. Avd. Agron., 35:193-215.

HOOKER M.L. 1985. Grain sorghum yield and yield component response to timing and number of irrigations. Agron. J., 77:810-812.

HOWELL, T.A., MUSICK J.T., 1985. Relationship of dry matter production of field crops to water consumption. Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale, Paris, 11-14 sept. 1984. INRA. París, 247-269.

IGARTUA, E., 1990. Análisis genético de caracteres de valor agronómico en sorgo para grano (Sorghum bicolor L. Moench). Tesis Doctoral. Univ. País Vasco. 245 pp. Inédita.

KRIEG D.R., LASCANO R.J., 1990. Sorghum. pp. 719-789. In: Irrigation of agricultural crops. Stewart, B.A. & Nielsen, D.R. (Eds). Agronomy n° 30. Am. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin, U.S.A.

LEWIS R.B., HILER E.A., JORDAN W.R., 1974. Susceptibility of grain sorghum to water deficit at three growth stages. Agron. J., 66:589591.

MARTÍN J.H., LEONARD W.H., STAMP D.L., 1976. Principles of field crop production. McMillan, New York, U.S.A. 1118 pp.

STEWART J.I., HAGAN R.M., 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. J. Irrig. Drain. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 99:421439.

STEWART J.I., MISRA R.D., PRUITT W.O., HAGAN R.M., 1975. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. Transactions of ASAE: 270-280.

VANDERLIP R.L., REEVES H.E., 1972. Growth stages of Sorghum (*Sorghum bicolor,* (L.) Moench). Agronomy J., 64:13-16.

(Aceptado para publicación el 16 de noviembre de 1998)

ITEA (1999), Vol. 95V N.° 1, 67-92

RESPUESTA DEL SORGO AL DÉFICIT HÍDRICO EN INVERNADERO, II. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y MORFOLÓGICAS

M.J. Berenguer Merelo
J.M. Faci González

Unidad de Suelos y Riegos (SIA)
Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente
(DGA-CSIC)
Apartado 727
50080 Zaragoza
España

RESUMEN

El sorgo debido a sus particulares características es considerado como un cultivo tolerante a la sequía y a las altas temperaturas, lo que le permite obtener rendimientos económicos bajo condiciones limitantes de agua en comparación con otros cultivos de verano como el maíz.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta de distintos caracteres fisiológicos y morfológicos del sorgo a un suministro variable de agua de riego en condiciones de invernadero y determinar las relaciones existentes entre ellos. Para ello se dispuso de plantas de sorgo cultivadas en contenedores bajo condiciones de invernadero, a las que se aplicaron cinco tratamientos diferenciales de riego, de manera que el estrés se impuso de una manera gradual y progresiva hasta el final del ciclo del cultivo.

El déficit hídrico afectó notablemente al crecimiento y desarrollo de las plantas de sorgo, produciendo una disminución de la altura, materia seca, área foliar, número de nudos, longitud de los entrenudos y del pedúnculo. También se detectó un efecto del déficit hídrico en el desplazamiento de las curvas de contenido relativo de agua (CRA) frente al potencial hídrico foliar (Ψ_{hoja}), en la relación peso de raíz: peso de la parte aérea y en el grosor de las raíces. Asimismo, el déficit hídrico produjo cambios en la exposición foliar del cultivo manifestados en las variaciones del índice de enrollamiento (IR) y del ángulo de inserción foliar.

Palabras clave: Sorgo, Invernadero, Déficit hídrico, Crecimiento, Nudos, Sistema radical, Morfología, Índice de enrollamiento, Ángulo de inserción.

SUMMARY
SORGHUM RESPONSE TO WATER STRESS UNDER GREENHOUSE CONDITIONS. II. PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS

Due to its special characteristics, sorghum is considered a drought resistance crop tolerant to high temperatures. Thus, sorghum can maintain yields under water limited conditions in relation to other summer crops such as corn.

The main goal of the present paper was to study the response of different physiological and morphological characteristics to a variable water supply under greenhouse conditions. The relationships between them were also studied.

Sorghum plants were cultivated in containers with five irrigation treatments producing a gradient of water stress in the plants.

Plant growth and development were affected by water stress. Plant height, dry matter production, leaf area, number of nodes, length of internodes and peduncle were reduced with water deficit. The characteristic curve of the relation between relative water content and leaf water potential changed with water stress. Water deficit produced important changes in the foliar exposure of sorghum plants. Rolling index and leaf insertion angle in stressed plants were modified.

Key words: Sorghum, Greenhouse, Water stress, Growth, Roots, Morphology, Rolling index, Leaf insertion angle.

Introducción

El déficit hídrico puede afectar negativamente a gran número de procesos fisiológicos y bioquímicos que se producen en el cultivo del sorgo, tales como la transpiración, fotosíntesis, respiración, reacciones metabólicas, absorción de nutrientes minerales y transporte de asimilados. La integración de todos estos efectos en el crecimiento y desarrollo del cultivo es muy compleja, afectando a la morfología y anatomía foliar y finalmente a la producción del cultivo de sorgo (HSIAO, 1973; BOYER y MCPHERSON, 1975; BEGG y TURNER, 1976; BRADFORD y HSIAO, 1982; HSIAO y BRADFORD, 1983). Los diferentes procesos fisiológicos no son afectados de igual manera e intensidad por el déficit hídrico, siendo unos procesos más sensibles que otros. En todo caso, los efectos del déficit hídrico dependen de la intensidad de la sequía y del período en que se produce.

Una primera consecuencia del estrés hídrico es una acusada reducción del área foliar, que afecta a su vez a la tasa de transpiración por unidad de área foliar (ROSENTHAL *et al.*, 1987) y al proceso de fotosíntesis. Otra importante acción del déficit hídrico es la inducción al cierre estomático que provoca también un descenso de la transpiración y una disminución en la asimilación de CO_2 debido a la reducción de su transporte hacia el interior de las hojas (HSIAO y BRADFORD, 1983).

Sin embargo, las plantas de sorgo son capaces de soportar períodos de sequía mediante procesos destinados a reducir las pérdidas de agua o mejorando la absorción de ésta. Así, la transpiración puede reducirse por ciertas características morfológicas del sistema aéreo de las plantas, como son la disminución del área foliar y la aceleración de la senescencia foliar de las hojas inferiores (TURNER, 1979). Otros mecanismos de adaptación de las plantas al déficit hídrico que restringen el área efectiva útil, una vez que la planta ha adquirido el desarrollo completo de su área foliar, son los cambios en el ángulo de inserción, en la orientación y en el enrollamiento de las hojas (BEGG, 1980; JORDAN, 1983). Estos mecanismos reducen la radiación interceptada por las hojas, y por tanto minimizan la transpiración y los daños de altas tempera-

turas (BEGG, 1980; JORDAN, 1983; SMITH y ULLBERG, 1989; FLOWER *et al.*, 1990., MATTHEWS *et al.*, 1990). Además, el enrollamiento foliar puede alterar el microclima de la superficie foliar de tal modo que los estomas pueden permanecer abiertos y continuar la fotosíntesis sin sufrir tasas altas de pérdida de agua por transpiración (MATTHEWS *et al.*, 1990). Del mismo modo, los movimientos foliares que orientan las hojas en dirección paralela a la radiación incidente reducen también la radiación recibida sobre las hojas (BEGG y TURNER, 1976; TURNER, 1979; BEGG, 1980; TURNER y BEGG, 1981).

Otra vía que permite a las plantas tolerar la sequía consiste en el mantenimiento de la tasa de absorción de agua. Esto puede lograrse mediante un mayor desarrollo del sistema radical y una baja resistencia al flujo hídrico a través de la planta (BLUM, 1979; TURNER, 1979). Así, en numerosas especies vegetales se ha observado un incremento de la relación entre el peso del sistema radical y el de la parte aérea con el estrés hídrico, debido a una mayor disminución relativa de la parte aérea o a un incremento en el desarrollo radical o a ambos (PARSONS, 1982), ofreciendo de esta manera menor resistencia al flujo hídrico a través de la planta. Asimismo, este mayor crecimiento radical podría permitir una mayor exploración de volumen de suelo, permitiendo a la planta funcionar y sobrevivir durante más tiempo a bajos contenidos hídricos del suelo (HSIAO y ACEVEDO, 1974; TURNER y BEGG, 1981).

Numerosos autores han puesto de manifiesto la eficacia del sorgo para realizar ajuste osmótico en condiciones de sequía, tanto en campo como en invernadero (FERERES *et al.*, 1978; JONES y TURNER, 1978; ACEVEDO *et al.*, 1979; GIRMA y KRIEG, 1992; PREMACHANDRA *et al.*, 1992; BASNAYAKE *et al.*, 1993). Así, en las plantas de sorgo sometidas a estrés hídrico se puede producir una acumulación de solutos, que permite aumentar la presión osmótica y mantener la presión de turgor a bajos potenciales hídricos (TURNER y JONES, 1980; RADIN, 1983).

Además, el ajuste osmótico afecta también a otros procesos fisiológicos de la planta relacionados con el rendimiento (TURNER y JONES, 1980; WRIGHT *et al.*, 1983b). Así, mantiene los estomas abiertos y la tasa de fotosíntesis, retarda el enrollamiento y la senescencia foliar, y permite el desarrollo radical a potenciales hídricos foliares más bajos (TURNER y JONES, 1980; WRIGHT *et al.*, 1983b; HSIAO *et al.*, 1984).

El presente trabajo comprende el estudio de distintas respuestas fisiológicas y morfológicas de las plantas de sorgo sometidas a un suministro variable de agua de riego en condiciones de invernadero.

Material y métodos

En un invernadero se realizaron dos ensayos simultáneos de riego con plantas de sorgo cultivadas en contenedores abiertos (ensayo de ET) y en contenedores cubiertos (ensayo de T). En el ensayo de ET se establecieron cinco tratamientos de riego y en el ensayo de T tres tratamientos de riego coincidentes con los extremos e intermedio del ensayo de ET. En el apartado de material y métodos del primer artículo de esta serie se detallan las características de ambos ensayos (BERENGUER y FACI, 1999). En ambos ensayos se realizaron las siguientes medidas:

Altura del cultivo

La altura del cultivo se midió como la distancia desde el suelo hasta el ápice de la

hoja superior extendida, excepto en el caso de que la panícula sobrepasara a éste, en cuyo caso se midió hasta el extremo superior de la panícula. Las medidas se realizaron en todos los tratamientos a intervalos semanales.

Área foliar y número de hojas

El área foliar se determinó a partir del método no destructivo de medida directa de la anchura máxima y longitud de las hojas.

La superficie foliar de una planta se obtuvo sumando las áreas de todas las hojas de la misma. El área de las hojas se obtuvo mediante las expresiones:

$A = L \times B \times 0{,}50$ en hojas no desarrolladas

$A = L \times B \times K$ en hojas desarrolladas

donde :

A = Área de la hoja (cm^2).

L = Longitud de la hoja extendida (cm).

B = Anchura máxima de la hoja (aproximadamente a 2/3 del ápice) (cm).

K = Coeficiente.

Para la obtención experimental del coeficiente K, se realizaron varios muestreos de hojas completamente desarrollas a lo largo del ciclo del cultivo en las cuales se midió su área, longitud y anchura máxima de forma directa con un medidor de área foliar marca LICOR modelo LI-3000 A. El coeficiente K se obtuvo como la pendiente de la recta de regresión lineal simple del área foliar frente al producto de la anchura máxima por la longitud de las mismas hojas.

En estos mismos muestreos se obtuvieron los valores individuales de K para las hojas banderas y restantes hojas en los distintos tratamientos.

También se contó el número de hojas verdes al menos dos veces por semana para controlar el desarrollo de las plantas en cada tratamiento.

Índice de enrollamiento y ángulo de inserción foliar.

Se realizó un seguimiento horario del índice de enrollamiento (IR) y del ángulo de inserción foliar en diferentes fechas después de alcanzarse la superficie foliar máxima de las plantas de sorgo. Para ello se marcó la hoja completamente desarrollada anterior a la bandera al inicio de las medidas.

El IR se determinó, en las plantas pertenecientes a los cinco tratamientos establecidos, mediante la siguiente expresión:

$$IR = 1 - \frac{L}{L_l}$$

donde:

L = Medida de la proyección de la anchura de la hoja enrollada (cm).

L_l = Anchura máxima de la hoja totalmente extendida (cm).

El IR utilizado en este trabajo es el valor complementario del "rolling index" propuesto originalmente por BEGG (1980) como la relación entre la proyección de la anchura de la hoja enrollada (L) y la anchura de la hoja cuando está totalmente expandida (L_l).

En las mismas hojas marcadas de los tratamientos 1, 3 y 5 de los ensayos ET y T se determinó el ángulo de inserción mediante la medida del ángulo de abertura de un compás, cuyos brazos se situaban uno

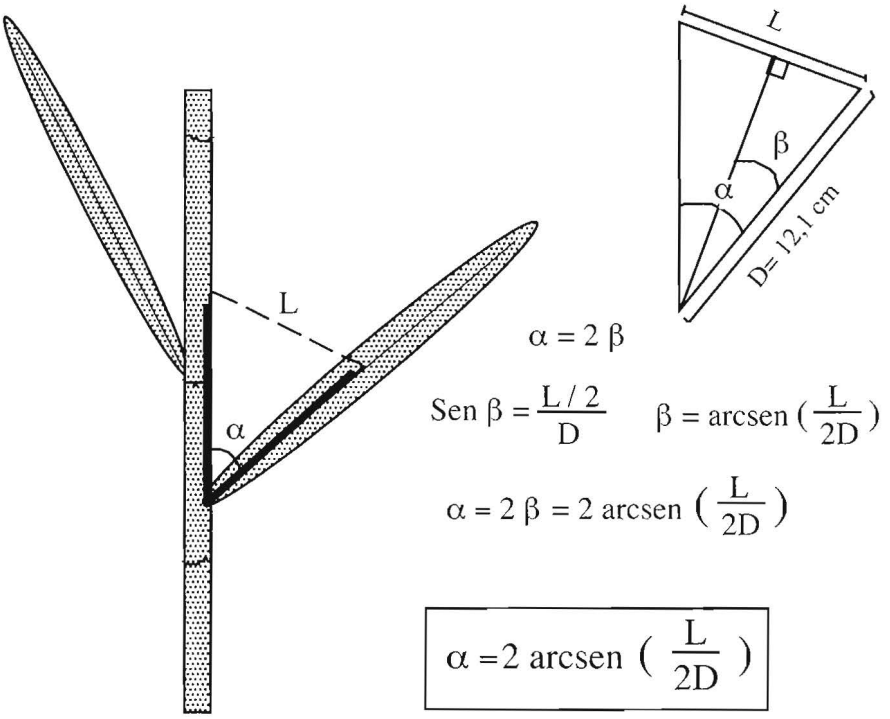


Figura 1. Esquema del método de medida del ángulo de inserción foliar
Figure 1. *Squematic representation of the method used to measure leaf insertion angle*

pegado al tallo y otro junto al nervio de la hoja cuyo ángulo se pretendía medir (BERENGUER, 1996) (figura 1). La medida era obtenida proyectando esta abertura del compás sobre una regla. Posteriormente esta medida, expresada en cm se transformaba en grados mediante la fórmula expresada en la figura 1. Un valor del ángulo de 90°C indicaría una inserción horizontal de la hoja en el tallo.

Relación entre el contenido relativo de agua de la hoja (CRA) y su potencial hídrico foliar (Ψ_{hoja})

Para obtener la relación entre el contenido relativo de agua de la hoja (CRA) y su potencial hídrico (Ψ_{hoja}) se muestrearon hojas de sorgo de los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de ET en la fase de antesis. Estas hojas se llevaron al laboratorio donde se pesaron inmediatamente después de su recolección para conocer su peso fresco, posteriormente se colocaron en una cámara a 4°C, donde se saturaron por inmersión parcial en agua destilada hasta conseguir su completa turgencia. Seguidamente las hojas se sacaron del agua y se secaron con toallas de papel, pesándolas a continuación para obtener el peso turgente y exponiéndolas a continuación a las condiciones ambientales del laboratorio para que se fueran secando poco a poco. Durante este proceso de desecación se fueron tomando medidas del po-

tencial hídrico de la hoja, así como de su peso a intervalos de tiempo frecuentes. Estos intervalos fueron de cinco minutos al comienzo hasta 20 minutos al final de la desecación. Una vez finalizadas las medidas, las hojas se secaron a estufa a 60°C hasta peso constante, para determinar su peso seco (FACI, 1986; KOIDE *et al.*, 1991). Las medidas correspondientes de potencial hídrico de las hojas ((Ψ_{hoja}) se realizaron con una cámara de presión modelo 3005 de Soilmoisture Equipment Corporation (SCHOLANDER *et al.*, 1965). Para ello la hoja se enrolló alrededor de la vena central de la hoja y se colocó en el agujero circular del tapón de silicona de la cámara de presión. Asimismo, el contenido relativo de agua (CRA) se calculó como la relación entre el peso del agua presente en la muestra, en un instante dado, y el peso máximo de agua que puede contener a plena turgencia:

$$CRA = \left(\frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ turgente - Peso\ seco}\right) \times 100$$

Distribución de la materia seca

Una vez alcanzada la madurez fisiológica, las plantas de sorgo se separaron en hojas, tallos, vainas, raíces y panículas. Las raíces se separaron del substrato mediante lavado con chorro de agua a presión sobre un tamiz, continuando con un posterior lavado en el laboratorio. Estos componentes de la planta se llevaron a estufa a 60°C hasta peso constante. Además en todas las repeticiones de los tratamientos de ambos ensayos se determinó el número de raíces nodales de diámetro mayor de 1mm que emergían directamente de los verticilos o nudos de la raíz (BLUM *et al.*, 1977; JORDAN *et al.*, 1979; KRIEG, 1983; YAMAUCHI *et al.*, 1987b; CANH *et al.*, 1989; PARDALES y KONO., 1990; GALAMAY *et al.*, 1991), y se clasificaron según su diámetro medido a 2 cm de su base de inserción a dichos verticilos radicales. También se midió el número de nudos del tallo, longitud de los entrenudos y longitud del pedúnculo definida como la distancia desde el último nudo hasta la base de la panícula.

Resultados y discusión

Desarrollo vegetativo

Evolución del número de hojas y desarrollo foliar.

La figura 2 presenta la evolución del número de hojas verdes a lo largo del ciclo del cultivo de sorgo en los ensayos de: (a) evapotranspiración (ET) y (b) transpiración (T).

En el ensayo de ET (figura 2a) se observa al comienzo del cultivo un aumento gradual del número de hojas verdes en todos los tratamientos, siendo los tratamientos 4 y 5 los primeros en alcanzar el máximo número de hojas (8,8 hojas el día 45 DDT y el día 38 DDT, respectivamente), seguidos posteriormente por los tratamientos 1, 2 y 3 en los días 53 DDT, 52 DDT y 53 DDT, respectivamente. En el tratamiento 5 se observa una senescencia foliar más temprana a partir del día 42 DDT. A partir del día 66 DDT se produce una estabilización del número de hojas en 4,8 hojas, para posteriormente disminuir gradualmente en el periodo de maduración fisiológica. En los tratamientos 1, 3 y 4 se observa una disminución más drástica del número de hojas en el periodo comprendido entre el día 55 y el día 66 DDT, para disminuir también a continuación gradualmente hasta el final del

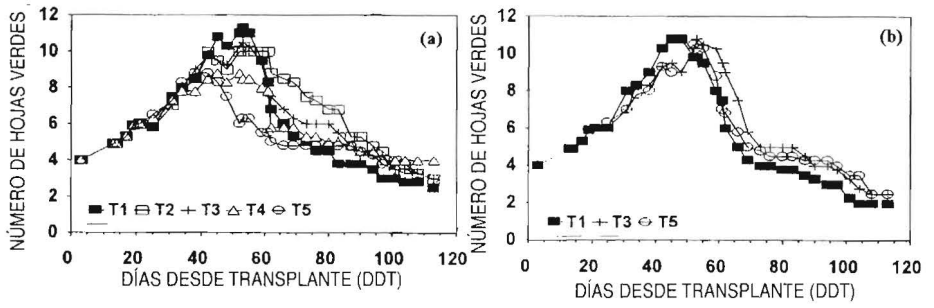


Figura 2. Evolución del número de hojas verdes a lo largo del ciclo del cultivo de sorgo para los tratamientos del ensayo de ET (a) y del ensayo de T (b). Cada valor corresponde a la media de cuatro repeticiones. El coeficiente de variación varió del 0 al 35%

Figure 2. Evolution of the number of green leaves in the treatments of the ET (a) and T (b) experiments. Each value is the mean of four replicates. The variation coefficient varied from 0% to 35%

ciclo del cultivo. A partir de esta fecha y hasta el final del ensayo, estos tratamientos junto al tratamiento 2 mantuvieron un comportamiento similar, aunque el tratamiento 1 siempre mantuvo un menor número de hojas que los demás tratamientos.

La figura 2b presenta la evolución del número de hojas verdes en los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de T. Al inicio del desarrollo del cultivo, los tres tratamientos presentan una evolución similar, hasta el día 31 DDT, en el cual el tratamiento 1 comienza a tener un mayor número de hojas, siendo los tratamientos 3 y 5 similares. A partir del día 53 DDT comienza a disminuir el número de hojas en todos los tratamientos.

En el cuadro 1 se presentan los valores medios del número máximo de hojas verdes y del área foliar máxima alcanzada (AF) por las plantas pertenecientes a los diferentes tratamientos de riego aplicados en el ensayo de ET y en el ensayo de T.

El análisis de comparación de medias mediante el test de Duncan (α=0,05), (STEEL y TORRIE, 1985), indicó que existían diferencias significativas (α = 0,05) en el número máximo de hojas verdes de las plantas pertenecientes a los tratamientos más regados (tratamientos 1, 2 y 3) y las pertenecientes a los tratamientos más estresados (tratamientos 4 y 5) del ensayo de ET. Sin embargo, no detectó diferencias significativas (α = 0,05) entre el máximo número de hojas verdes de las plantas de los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de T (cuadro 1).

Los valores máximos del AF en los tratamientos 1 y 5 del ensayo de ET fueron de 1112,2 y 581,6 cm^2/planta respectivamente, siendo estos valores de 1148,1 y 881,3 cm^2/planta para los tratamientos 1 y 5 del ensayo de T.

El análisis de varianza de los valores máximos de AF que se alcanzó el día 53 DDT en los diferentes tratamientos del en-

CUADRO 1
VALORES MEDIOS DEL NÚMERO MÁXIMO DE HOJAS VERDES (N) Y ÁREA FOLIAR MÁXIMA ALCANZADA (AF) POR LAS PLANTAS DE SORGO EN LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y T. CADA VALOR CORRESPONDE A UNA MEDIA DE CUATRO REPETICIONES

TABLE 1
MEAN VALUES OF THE MAXIMUM NUMBER OF GREEN LEAVES (N) AND MAXIMUM LEAF AREA (AF) OF THE SORGHUM PLANTS IN THE TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS. EACH VALUE IS THE MEAN OF FOUR REPLICATES

	Ensayo ET		Ensayo T	
Tratamiento	N	AF (cm^2)	N	AF (cm^2)
1	11,3 a	1112,2 a	10,8 a	1148,1 a
2	10,0 b	888,8 a	-	-
3	10,5 ab	959,2 a	10,8 a	1001,5 a
4	8,8 c	479,2 b	-	-
5	8,8 c	581,6 b	10,5 a	881,3 a

* Tratamientos seguidos de distinta letra indican que son estadísticamente diferentes a un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

sayo de ET y su posterior comparación de medias mediante el test de Duncan indicó que los tratamientos 1, 2 y 3 fueron significativamente diferentes de los tratamientos 4 y 5 a un nivel de significación $\alpha = 0,05$. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en el AF máximo en los diferentes tratamientos del ensayo de T (cuadro 1).

De estos resultados se deduce que todos los componentes del desarrollo foliar (número total de hojas, extensión y senescencia foliar) fueron afectados por el déficit hídrico en el ensayo de ET. Los resultados obtenidos están en concordancia con la literatura, donde se señala que la disminución del tamaño de las hojas individuales es el primer factor que contribuye a la disminución del área foliar, pues el desarrollo expansivo es probablemente el proceso más sensible al déficit hídrico bajo condiciones controladas de desarrollo (TURNER y BEGG, 1981; TURNER y BURCH, 1983). El crecimiento vegetativo en general, y la expansión foliar en particular se inhiben severamente por moderados niveles de estrés hídrico (HSIAO, 1973; DE JUAN VALERO y MARTÍN DE SANTA OLALLA, 1993). Así, RAWSON *et al.* (1980) y MERRIEN *et al.* (1981) en estudios con girasol y JORDAN (1983) con sorgo indicaron que la duración del área foliar de hojas individuales no se afectaba severamente por déficits hídricos desarrollados gradualmente, aunque producían un desarrollo foliar moderado debido esencialmente a la reducción de la superficie unitaria de cada hoja. Sin embargo, déficits hídricos desarrollados rápidamente podían acelerar la senescencia de las hojas inferiores.

Altura del cultivo

La figura 3 muestra la variación de la altura media del cultivo de sorgo a lo largo del ensayo en los diferentes tratamientos de riego aplicados en los ensayos de evapotranspiración (ET) (a) y transpiración (T) (b).

Se puede observar que los valores máximos de 120,9 cm y 110,7 cm se obtuvieron en los tratamientos 1 de los ensayos de ET y T, respectivamente. Por el contrario, los valores mínimos de 61,2 cm y 77,2 cm se alcanzaron en los tratamientos 5 de los ensayos de ET y T (cuadro 2).

El análisis de comparación de medias mediante el test de Duncan indicó que no existían diferencias significativas (α=0,05) en la altura máxima alcanzada en los tratamientos 1, 2 y 3 del ensayo de ET. Sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas entre los valores de altura máxima de estos tratamientos y la de los tratamientos 4 y 5, siendo estos últimos, a su vez significativamente diferentes entre sí. En el ensayo de T solo se detectaron diferencias significativas (α = 0,05) en el tratamiento más deficitario (tratamiento 5) respecto a los tratamientos 1 y 3 (cuadro 2). Estos resultados indican que la altura del cultivo de sorgo estuvo muy influida por el déficit hídrico en los tratamientos menos regados (tratamientos 4 y 5) (cuadro 2). Numerosos autores también observaron disminuciones en la altura del sorgo debido a reducciones en el suministro de agua, tanto en condiciones de campo como en condiciones de invernadero (CHAUDHURI y KANEMASU, 1982; VUELVAS y TIJERINA, 1989; IGARTUA, 1990; DONATELLI *et al.*, 1992).

Es de destacar que todos los tratamientos alcanzaron la altura máxima en la etapa 6b (de antesis), excepto el tratamiento 5. En este tratamiento, la altura fue prácticamente constante a partir del día 55 DDT, correspondiente a la etapa de la aparición de la hoja bandera (etapa 4). Esto puede ser debido a una menor elongación del pedúnculo, así como a la menor longitud de los

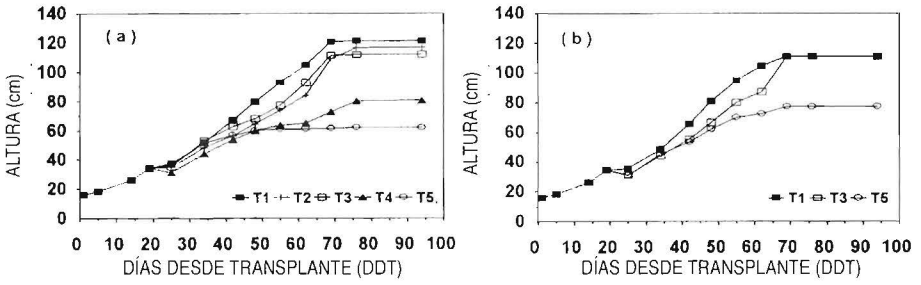


Figura 3. Evolución estacional de la altura media (cm) del sorgo en los tratamientos del ensayo de ET (a) y en el ensayo de T (b). Cada punto representa la media de cuatro medidas. El coeficiente de variación (CV) osciló entre 0,47 y 23,7%

Figure 3. Seasonal evolution of plant height in treatments of the ET (a) and T (b) experiments. Each point is the mean of four replicates. Coefficient of variation varied between, 0,47 % and 23,7 %

CUADRO 2
VALORES MEDIOS DE LA ALTURA MÁXIMA DE LAS PLANTAS EN LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y T. EL VALOR ENTRE PARÉNTESIS CORRESPONDE AL DÍA DESPUÉS DEL TRASPLANTE (DDT) EN QUE SE ALCANZARON.

TABLE 2
MEAN VALUES OF THE MAXIMUM HEIGHT OF THE PLANT IN TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS. VALUES BETWEEN BRACKETS INDICATE THE DAY AFTER TRANSPLANTING WHEN THEY WERE REACHED

	Altura (cm)	
Tratamiento	Ensayo ET	Ensayo T
1	120,88 a (69 DDT)	110,75 a (69 DDT)
2	116,88 a (76 DDT)	–
3	112,00 a (69 DDT)	110,88 a (69 DDT)
4	80,25 b (76 DDT)	–
5	61,13 c (55 DDT)	77,25 b (69 DDT)

Valores seguidos de distinta letra son estadísticamente diferentes a un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

CUADRO 3
VALORES MEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) DEL NÚMERO DE NUDOS DEL TALLO EN LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y T

TABLE 3
MEAN VALUES AND VARIATION COEFFICIENT (CV) OF THE NUMBER OF NODES IN THE STEM OF THE PLANT IN TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS

		Nº Nudos	
Ensayo	Tratamiento	Media	CV (%)
ET	1	7,0 a	0,0
ET	2	7,0 a	0,0
ET	3	7,0 a	11,7
ET	4	7,8 b	6,4
ET	5	8,0 b	0,0
T	1	6,5 a	8,9
T	3	7,0 a	0,0
T	5	7,0 a	0,0

Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes para un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

entrenudos en este tratamiento, por lo que las hojas extendidas siempre superaron a la longitud de la panícula (cuadro 3 y 4, figura 4).

Crecimiento del tallo: número de nudos, longitud de los entrenudos y del pedúnculo.

Los cuadros 3 y 4 presentan el número de nudos y la longitud de los entrenudos del tallo, respectivamente, para los diferentes tratamientos de riego aplicado en los ensayos de ET y T. El entrenudo 1 (cuadro 4) corresponde al situado en la base del tallo, y el entrenudo 7 o en su defecto el entrenudo 6 en aquellos tratamientos donde no existe el 7, corresponde al situado en la parte superior del tallo, colindante con la base del pedúnculo.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre el número de nudos (7,0) de los tratamientos 1, 2 y 3 del ensayo de ET, siendo este número significativamente diferente al número de nudos en los tratamientos 4 y 5 (7,8 y 8,0, respectivamente). Es de destacar la escasa variabilidad entre las medidas, con unos coeficientes de variación que oscilan entre el 0,0% y el 11,6%. En el ensayo de T no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (cuadro 3).

En el cuadro 4 se observa una disminución de la longitud de todos los entrenudos con el aumento del déficit hídrico. La mayor reducción en la longitud de los entrenudos se produjo en los cuatro entrenudos superiores (entrenudos 3, 4, 5 y 6), siendo esta reducción menor en los dos primeros entrenudos.

Las plantas de los tratamientos más estresados del ensayo de ET (tratamientos 4 y 5) tuvieron un entrenudo más que los restantes tratamientos. Este entrenudo tuvo una longitud menor en el tratamiento más deficitario (tratamiento 5). Parece como si este aumento del número de nudos con el déficit hídrico se hiciera principalmente en detrimento de la longitud de los 4 entrenudos superiores (cuadro 4).

En todos los tratamientos de ambos ensayos de ET y T se observa un incremento de la longitud de los entrenudos conforme aumenta la posición de dicho entrenudo en el tallo. En general, también se observa que el último entrenudo de las plantas con seis entrenudos es de mayor longitud que el que ocupa la misma posición en las plantas que poseen un mayor número de nudos (cuadro 4). Debido a este hecho y a que no existe el mismo número de repeticiones de los entrenudos 6 y 7, el análisis estadístico sólo se ha realizado hasta el entrenudo 5.

El análisis de varianza y posterior comparación de medias ($\alpha = 0,05$) confirmó los resultados anteriores, detectando que la longitud de los entrenudos disminuía a medida que aumentaba el estrés hídrico, encontrándose una clara diferencia significativa en la longitud de los entrenudos 1, 2, 3, 4 y 5 entre el tratamiento más regado y el tratamiento más estresado del ensayo de ET (cuadro 4).

Por el contrario, en el ensayo de T el análisis de varianza no indicó diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) en el número de nudos de los diferentes tratamientos. Sin embargo, al igual que en el caso del ensayo de ET, la longitud de los entrenudos sí fue afectada por el estrés hídrico, observándose una disminución de la longitud de los entrenudos a medida que aumenta el estrés. Así, en todos los entrenudos los valores máximos de longitud se obtienen en el tratamiento 1 y los mínimos en el tratamiento 5, aunque con reducciones menores que en el ensayo de ET (cuadro 4). De esta manera, el análisis de varianza y posterior com-

CUADRO 4
VALORES MEDIOS DE LA LONGITUD DE LOS ENTRENUDOS Y DEL TALLO (CM) EN TODOS LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y DE T. CADA VALOR CORRESPONDE A LA MEDIA DE CUATRO REPETICIONES

TABLE 4
MEAN VALUES OF THE LENGTH (CM) OF THE INTERNODES AND STEM IN TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS. EACH VALUE IS THE MEAN OF FOUR REPLICATES

Ensayo	Entrenudos							
Trat	1	2	3	4	5	6	7	Tallo
ET 1	1,03 a	1,65 a	5,48 a	8,03 a	8,25 a	11,20	-	35,62 a
ET 2	0,63 b	1,08 bc	1,93 bc	5,40 b	7,75 a	12,28	-	29,05 ab
ET 3	0,95 a	1,28 b	3,03 b	7,05 ab	6,93 a	8,40(1)	-	25,52 bc
ET 4	0,58 b	0,88 c	1,45 bc	2,80 c	3,50 b	3,75	7,03	18,22 cd
ET 5	0,55 b	0,83 c	1,13 c	1,80 c	2,38 b	1,90	3,45	12,02 d
T 1	0,98 a	1,65 a	3,88 a	6,70 a	9,90 a	10,50 (1)	-	28,35 a
T 3	0,95 a	1,30 ab	3,10 a	6,00 a	6,13 b	9,43	-	26,90 a
T 5	0,80 a	1,18 b	2,30 a	5,00 a	4,58 b	4,30	-	18,15 b

Valores seguidos de diferente letra son significativamente diferentes $\alpha = 0,05$.
(1) En estos valores medios sólo se han considerado las plantas que tenían ese entrenudo, siendo el número de éstas superior al 50% de las plantas medidas.

paración de medias mediante el test de Duncan ($\alpha = 0,05$) no detectó diferencias significativas en la longitud de los entrenudos 1, 3 y 4 ,y si detectó diferencias significativas en la longitud de los entrenudos 2 y 5 de las plantas pertenecientes al tratamiento 1 y las del tratamiento 5.

De estos resultados se puede deducir que el déficit hídrico afecta más a la longitud de los entrenudos que al número de nudos, hecho que queda plasmado en la literatura para diferentes cultivos (DE JUAN VALERO y MARTÍN DE SANTA OLALLA, 1993).

El cuadro 4 presenta también los valores de la longitud total (suma de las longitudes de todos los entrenudos existentes en el tallo), observándose una disminución gradual de la longitud total del tallo con el incremento del estrés hídrico en ambos ensayos. Así, se obtuvieron los valores máximos de 35,62 cm y 28,35 cm en el tratamiento 1 de los ensayos de ET y T, respectivamente, y los valores mínimos de 12,03 cm y 18,15 cm en el tratamiento 5 de ambos ensayos. El análisis de varianza y comparación de medias ($\alpha = 0,05$; test Duncan) detectó diferencias significativas en la longitud total del tallo entre los tratamientos 1, 2 y 3 frente a la del tratamiento 5 en el ensayo de ET. Igualmente, el análisis estadístico realizado en el ensayo de T, indicó una diferencia significativa ($\alpha = 0,05$) en la longitud total del tallo de los trata-

mientos 1 y 3 frente al tratamiento 5 (cuadro 4).

La figura 4 presenta la longitud final del pedúnculo alcanzada en cada tratamiento de riego aplicado en los ensayos de ET (a) y T(b), medida desde la inserción del pedúnculo al tallo hasta la base de la panícula.

La longitud del pedúnculo se vio afectada por el estrés hídrico, alcanzando los valores máximos (62,9, 67,6 y 64,3 cm, respectivamente) en los tratamientos 1, 2 y 3 del ensayo de ET y el valor mínimo (27,4 cm) en el tratamiento 5. El análisis de varianza y posterior comparación de medias (α = 0,05, test de Duncan) indicó que la longitud del pedúnculo no difería significativamente en los tratamientos 1, 2 y 3 del ensayo de ET. La longitud del pedúnculo de estos tratamientos resultó ser significativamente diferente a la de los tratamientos más deficitarios (4 y 5). Respecto al ensayo de T, el análisis estadístico también indicó que la longitud del pedúnculo del tratamiento 5 (41,0 cm) fue significativamente diferente (α = 0,05) a la de los tratamientos 1 y 3 (58,9 y 62,1 cm), no siendo diferente significativamente la de estos últimos, entre sí. IGARTUA (1990) en un ensayo realizado con sorgo en condiciones de campo también observó una tendencia general a la disminución de la longitud del pedúnculo conforme aumentaba el estrés hídrico, aunque existió mayor variabilidad en sus medidas.

Morfología foliar: relaciones entre el área de la hoja y sus dimensiones. Coeficiente K

El cuadro 5 presenta los coeficientes de las regresiones lineales entre el área foliar de las hojas bandera y normales y el producto de su longitud y su anchura máxima obtenidas para los distintos tratamientos del ensayo ET y T.

Al no ser la ordenada en el origen significativamente diferente de cero en ninguno

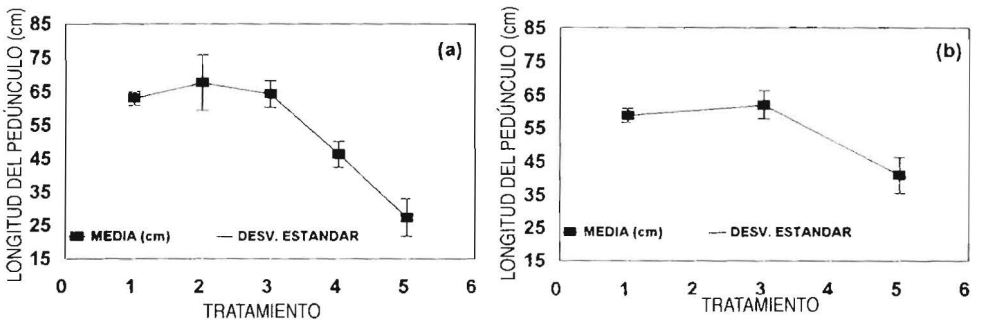


Figura 4. Longitud media (cm) del pedúnculo en los tratamientos de los ensayos de ET (a) y T (b). Cada punto representa la media de cuatro repeticiones. La longitud de la barra representa el valor de la desviación estándar

Figure 4. Peduncle length (cm) in treatments of the ET (a) and T (b) experiments. Each value is the mean of four replicates. Length of the bar indicates the value of the standard deviation

de los casos estudiados, las regresiones se hicieron pasar por el origen.

El análisis estadístico de comparación de las ecuaciones de regresión con el método propuesto por DIXON (1985) indicó que tanto para las hojas normales como para las hojas bandera no hubo efecto significativo de los tratamientos (cuadro 5). Por ello se realizó un análisis de regresión conjunto con todas las hojas normales y bandera de todos los tratamientos. El coeficiente de la regresión pasando por el origen para el conjunto de hojas normales fue de 0,71, y para el conjunto de las hojas bandera de 0,65, con un R2 de 98,06 y 98,55%, respectivamente (cuadro 5).

Posteriormente, se efectuó una comparación de las regresiones del conjunto de hojas normales con el de hojas bandera, mostrando que existía una diferencia significativa entre ellas. Esto indica que las hojas bandera difieren en su forma de las hojas normales. Para profundizar en las causas de estas diferencias se estudiaron independientemente las relaciones de la longitud y la anchura máxima de las hojas con su área.

Para ambas relaciones tanto en las hojas bandera como en las hojas normales, se detectó que el mejor ajuste lo proporcionó

CUADRO 5
COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE, PASANDO POR EL ORIGEN, ENTRE EL ÁREA FOLIAR (Y, cm^2) Y EL PRODUCTO DE LA LONGITUD POR LA ANCHURA MÁXIMA (X, cm^2) EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS, SEPARANDO LAS HOJAS NORMALES DE LAS HOJAS BANDERA: n = NÚMERO DE PUNTOS DE LA REGRESIÓN, c = PENDIENTE, R^2 = COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (%)

TABLE 5
COEFFICIENTS OF THE SIMPLE LINEAR REGRESSIONS PASSING TROUGH THE ORIGIN BETWEEN THE LEAF AREA (Y) AND THE PRODUCT OF LEAF LENGTH AND MAXIMUM WIDTH IN THE DIFFERENT TREATMENTS FOR THE NORMAL AND FLAG LEAVES. n = NUMBER OF POINTS, c = SLOPE, R^2 = COEFFICIENT OF DETERMINATION

	Y = cX					
	Hojas normales			Hojas bandera		
Tratamiento	n	c	R^2	n	c	R^2
1	26	0,73 a	91,55	9	0,65 a	96,80
2	25	0,70 a	98,87	4	0,65 a	98,77
3	35	0,70 a	96,08	9	0,66 a	99,63
4	17	0,70 a	99,07	4	0,62 a	99,41
5	22	0,71 a	95,47	7	0,61 a	88,56
Todos	125	0,71	98,06	33	0,65	98,55

Valores seguidos de la misma letra indican que no son significativamente diferentes a un nivel de significación $\alpha = 0,01$.

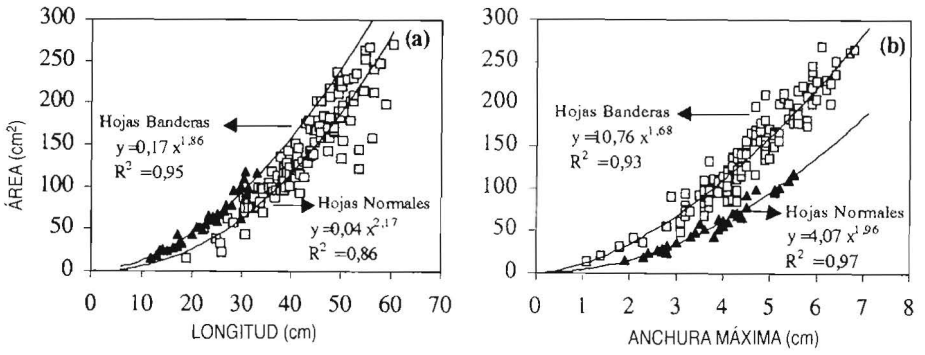


Figura 5. Curvas de regresión potencial de las hojas bandera y normales entre el área foliar y la longitud (a) y la anchura máxima (b)

Figure 5. Potential regression curves between leaf area of normal and flag leaves and the length (a) and maximun width (b)

el modelo potencial. El análisis de comparación de estas ecuaciones potenciales (DIXON, 1985) indicó que las hojas normales eran significativamente diferentes de las hojas bandera, tanto en longitud como en anchura máxima. La figura 5 presenta los datos experimentales de la longitud y anchura máxima, tanto de las hojas normales como de las hojas bandera, así como la curva de regresión potencial obtenida. En estas gráficas se puede apreciar que para un mismo área foliar, las hojas bandera son más cortas y anchas que las hojas normales de pequeña área foliar.

Sistema radicular

Distribución de las raíces según su diámetro.

El cuadro 6 muestra el número de raíces, clasificadas según su diámetro en los tratamientos de los ensayos de ET y T.

En el ensayo de ET se observa que el déficit hídrico no afectó al número de raíces comprendidas entre los tres primeros intervalos, afectando por el contrario a las raíces mayores de 4 mm de diámetro. El análisis de varianza realizado sólo detectó diferencias significativas en el número de raíces de diámetro mayor de 4 mm entre las plantas de los tratamientos 1,2 y 3 y las pertenecientes a los tratamientos 4 y 5.

En el ensayo de T, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas en el número de raíces en ninguno de los intervalos de diámetro considerados, excepto en el intervalo comprendido entre 2 y 3 mm, en el cual el número de raíces en los tratamientos 1 y 3 diferían significativamente ($\alpha = 0,05$) al del tratamiento 5 (cuadro 7).

En cuanto al número total de raíces de diámetro mayor de 1 mm, se detectó una disminución gradual de éstas con el incremento del déficit hídrico. El máximo número de raíces se encontró en los tratamientos más regados de los ensayos de ET y T, mientras que el mínimo se encontró en el tratamiento menos regado de ambos ensayos, con un valor de 13,5 (cuadro 6).

CUADRO 6
NÚMERO DE RAÍCES NODALES CLASIFICADAS SEGÚN SU DIÁMETRO EN LOS TRATAMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE ET Y T. CADA VALOR ES LA MEDIA DE CUATRO REPETICIONES

TABLE 6
NUMBER OF ROOTS CLASIFIED BY DIAMETER SIZE IN TREATMENTS OF THE ET AND T EXPERIMENTS. EACH VALUE IS THE AVERAGE OF FOUR REPLICATES

		Número de raíces según su diámetro				
Ensayo	Tratamiento	1-2 mm	2*-3 mm	3*-4 mm	>4 mm	>1mm (Total)
ET	1	5,25 a	3,25 a	5,25 a	3,75 a	17,50 a
ET	2	5,25 a	3,00 a	4,50 a	3,25 a	16,00 ab
ET	3	6,00 a	4,00 a	4,25 a	2,50 a	16,75 a
ET	4	4,75 a	5,00 a	4,25 a	0,25 b	14,25 bc
ET	5	5,00 a	5,50 a	3,00 a	0,00 b	13,50 c
T	1	5,25 a	3,25 a	7,75 a	2,75 a	19,00 a
T	3	5,25 a	3,25 a	7,75 a	1,50 a	17,75 a
T	5	4,25 a	4,50 b	3,25 a	1,50 a	13,50 b

* No se incluye el primer valor del intervalo.
Valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes al nivel de significación $\alpha = 0,05$.

En el análisis de comparación de medias se detectaron diferencias significativas (α = 0,05) entre los tratamientos 1, 2 y 3 y el tratamiento 5 del ensayo de ET, así como entre los tratamientos 1 y 3 frente al tratamiento 5 del ensayo de T.

De estos resultados se deduce que el número total de raíces nodales de diámetro mayor de 1 mm disminuyó con el déficit hídrico, desapareciendo incluso las de diámetro mayor de 4 mm en las plantas de los tratamientos más estresados.

Relación raíz/parte aérea

En el cuadro 7 se presentan los valores de la materia seca total, peso seco de raíces y la relación peso raíz/peso materia seca aérea de los distintos tratamientos de los ensayos de ET y T.

En ambos ensayos se observa un descenso gradual significativo del peso de la materia seca total a medida que aumenta el déficit hídrico. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas (α = 0,05) en el peso seco de las raíces entre los diferentes tratamientos de riego aplicados, tanto en el ensayo de ET como en el de T. Estos efectos quedan reflejados en el incremento de la relación peso del sistema radical frente a la materia seca de la parte área, siendo esta relación de 0,19 y de 0,54 para los tratamientos 1 y 5, respectivamente, del ensayo de ET, y de 0,19 y de 0,33 para los tratamientos 1 y 5 del ensayo de T (cuadro 7).

Asimismo, la distribución de la materia seca total en los distintos componentes de

la planta (panícula, hojas, vainas, tallo y raíces) difirió notablemente en los diferentes tratamientos de riego aplicados en ambos ensayos (figuras 6). La máxima contribución de panícula (52,7%) se obtuvo en el tratamiento 1 del ensayo de T y el mínimo (21,4%) en el tratamiento 5 del ensayo de ET. Por el contrario, la contribución de las raíces fue mayor en los tratamientos estresados. Así, la contribución de las raíces a la materia seca total fue del 35,2% en el tratamiento 5 del ensayo de ET frente al 15,6% del tratamiento 1 del mismo ensayo.

En el ensayo de T la contribución de raíces a la materia seca fue de 25,3% en el tratamiento 5 y de 15,9% en el tratamiento 1. La menor contribución de las raíces en el tratamiento 5 del ensayo de T fue debida al menor déficit hídrico sufrido por este tratamiento respecto al tratamiento análogo del ensayo de ET, al ser suprimida la evaporación del suelo.

Adaptaciones morfológicas

Índice de enrollamiento foliar (IR)

La figura 7 presenta las oscilaciones diarias del índice de enrollamiento foliar (IR) del cultivo de sorgo para todos los tratamientos de riego aplicados en el ensayo de ET en tres fechas del ciclo del cultivo. En las tres fechas de medida el IR en los tratamientos 1, 2 , 3 y 4 prácticamente no varió a lo largo del día, encontrándose las hojas completamente extendidas. Sin embargo, en el tratamiento 5 se observa una variación del IR a lo largo del día. Así, las plantas de este tratamiento alcanzaron el valor

CUADRO 7
VALORES MEDIOS DE LA MATERIA SECA TOTAL (MST), PESO SECO DE RAÍCES Y RELACIÓN PESO RAÍZ/PESO MATERIA SECA AÉREA (MS) DE LAS PLANTAS INDIVIDUALES EN LOS ENSAYOS DE ET Y T. CADA VALOR CORRESPONDE A LA MEDIA DE CUATRO REPETICIONES

TABLE 7
MEAN VALUES OF TOTAL DRY MATTER (MST), ROOT WEIGHT AND THE RELATION ROOT WEIGHT/AEREAL DRY WEIGHT IN THE ET AND T EXPERIMENTS. EACH VALUE IS THE AVERAGE OF FOUR REPLICATES

Ensayo	Trat.	MST (g)	Rraíces (g)	Rraíces/MS Aérea
ET	1	52,80 a	8,22 a	0,19 a
ET	2	42,75 b	8,27 a	0,24 a
ET	3	40,51 b	8,36 a	0,26 a
ET	4	23,71 c	6,37 a	0,38 b
ET	5	18,56 d	6,54 a	0,54 c
T	1	62,07 a	9,88 a	0,19 a
T	3	52,82 a	8,58 a	0,20 a
T	5	34,62 b	8,67 a	0,33 b

* Los tratamientos seguidos de distinta letra indican que son significativamente diferentes a un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

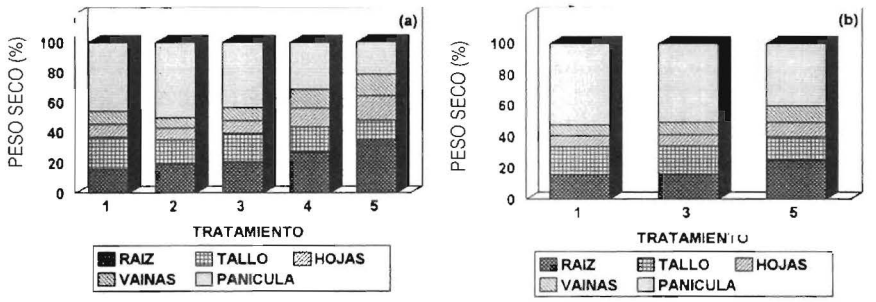


Figura 6. Contribución de la materia seca total en los diferentes componentes de la planta de sorgo (panícula, hojas, vainas, tallo y raíces), expresada en tanto por ciento (%) para los tratamientos de los ensayos de ET (a) y T(b)

Figure 6. Sorghum yield components (panicle, leaves, sheets, stem and roots) in treatments of the ET (a) and T (b) experiments

máximo a mediodía solar, cuando las hojas presentan la mínima exposición de área foliar y el valor mínimo a primeras horas de la madrugada y de la noche cuando la demanda evaporativa es baja y las hojas se encuentran expandidas.

El análisis de varianza realizado con los valores máximos de IR, considerando los factores tratamientos y fechas detectó diferencias significativas (α= 0,05) tanto para el factor tratamiento de riego como para el factor fecha de medida. La comparación de medias mediante el test de Duncan (α= 0,05) indicó que el tratamiento 5 fue significativamente diferente de los restantes tratamientos de riego que no difirieron significativamente entre ellos y que los valores de IR en las tres fechas consideradas del desarrollo del cultivo fueron significativamente diferentes entre sí.

En el cuadro 8 se presentan los valores máximos medios del IR, así como su coeficiente de variación (CV) para los diferentes tratamientos en las tres fechas de medida.

En el tratamiento 5 se observa una notable disminución del IR a medida que avanza el desarrollo del cultivo. De este modo, el efecto del enrollamiento sobre la reducción del área efectiva en el tratamiento 5 fue de un 65, 40 y 19% para las tres fechas consideradas, respectivamente. Este mayor enrollamiento producido el 18 de agosto (68 DDT) respecto a las otras fechas pudo ser debido a la mayor radiación incidente, a la mayor temperatura y a la menor humedad relativa existente en esta fecha.

Los resultados obtenidos en este ensayo son similares a los obtenidos por BEGG (1980) en un estudio de evolución diaria del IR realizado con sorgo. En ese estudio el IR varió a lo largo del mismo día desde valores de 0,68 para hojas de los tratamientos estresados a valores de 0 para las hojas de los tratamientos bien regados a lo largo del mismo día. Este mismo autor encontró que las relaciones entre IR y el potencial hídrico foliar (ψ_{hoja}) mostraron una marcada reducción en el IR cuando el ψ_{hoja} era menor de -1,4 MPa. Asimismo, JORDAN

(1983) indicó que el ψ_{hoja} umbral del sorgo para que se produzca el enrollamiento foliar estaba próximo a -1,0 MPa. Varios autores (WRIGHT *et al.*, 1983b; MATTHEWS *et al.*, 1990) indicaron que los diferentes genotipos de sorgo difieren en la capacidad para el enrollamiento foliar y en el ψ_{hoja} al cual ocurre el enrollamiento foliar.

Ángulo de inserción foliar

La figura 8 presenta las oscilaciones diarias del ángulo de inserción foliar de la penúltima hoja de las plantas de sorgo en los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de ET en dos fechas diferentes del desarrollo del cultivo. Se puede observar una fuerte reducción del ángulo de inserción en el tratamiento 5 respecto a los restantes tratamientos, siendo los ángulos de los tratamientos 1 y 3 más próximos entre sí.

Se realizó un análisis de varianza factorial cuyos factores fueron tratamientos, fechas y horas. Este análisis indicó que no existían diferencias significativas entre los valores del ángulo de inserción foliar a lo largo de las diferentes horas de medida (α = 0,05), por lo que no existe un patrón de variación horaria del ángulo de inserción foliar. Sin embargo, el análisis detectó diferencias significativas entre los ángulos de inserción foliar de las plantas pertenecientes a los diferentes tratamientos de riego aplicados, así como entre las dos fechas en las cuales se realizaron las medidas. Tampoco se detectó una interacción significativa entre estos factores analizados. Posteriormente, se realizó una comparación de medias entre los tratamientos mediante el test de Duncan (α= 0,05), encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tres tratamientos de riego aplicados y entre las diferentes fechas de medida consideradas. Así, para las dos fechas consideradas el ángulo medio del tratamiento 5 es del orden de 23,4 grados, menor que el de los restantes tratamientos, estando el tratamiento 1 siempre por debajo del tratamiento 3 en las dos fechas consideradas.

CUADRO 8
VALORES MÁXIMOS DEL ÍNDICE DE ENROLLAMIENTO (IR) Y SU COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV, %) EN EL ENSAYO ET EN TRES FECHAS. CADA VALOR ES EL PROMEDIO DE TRES MEDIDAS TOMADAS EN LA PENÚLTIMA HOJA EN TRES PLANTAS

TABLE 8
MAXIMUM VALUES OF THE ROLLING INDEX (IR) AND ITS VARIATION COEFFICIENT (CV) IN THE ET EXPERIMENT IN THREE DATES. EACH VALUE IS THE AVERAGE OF THREE MEASUREMENTS IN THREE PLANTS

	18 de agosto		31 de agosto		14 de septiembre	
Trat.	IR	CV (%)	IR	CV (%)	IR	CV (%)
1	0,03	1,18	0,00	0,0	0,01	1,35
2	0,02	0,17	0,00	1,51	0,00	0,00
3	0,02	0,09	0,01	1,35	0,00	0,00
4	0,04	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,65	16,06	0,40	13,58	0,19	9,94

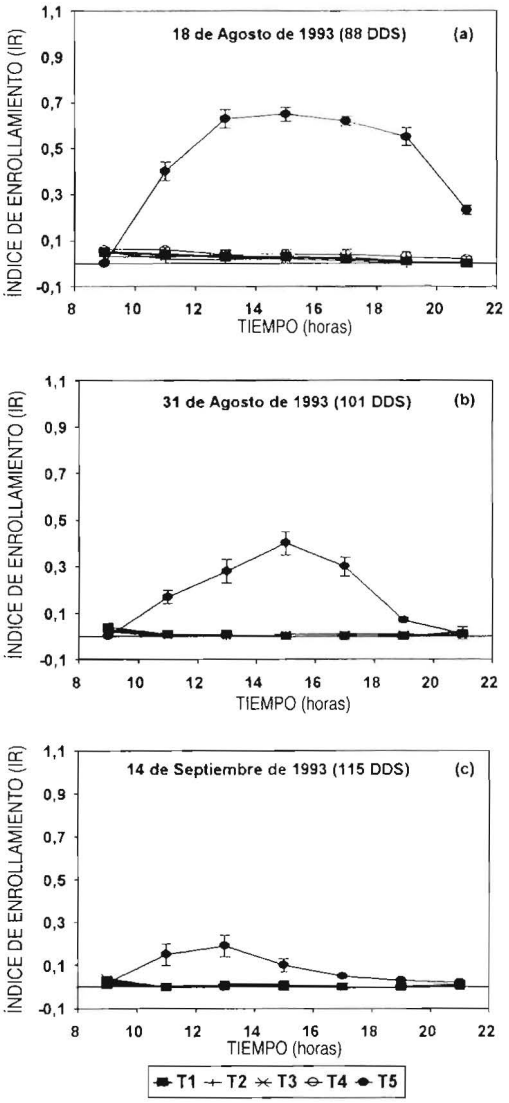


Figura 7. Evolución del índice de enrollamiento foliar (IR) del sorgo en los tratamientos del ensayo de ET en el día 18 de agosto (a), 31 de agosto (b) y 14 de septiembre (c). Cada valor corresponde al promedio de tres medidas tomadas en la penúltima hoja en las mismas tres plantas para las tres fechas consideradas. En el eje de las X se indica la hora local (hora solar +2)

Figure 7. Daily evolution of the rolling index (IR) of sorghum in treatments of the ET experiment on august 18th (a), august 31st (b) and September 14th (c). Each value is the average of three measurements in three plants. X axis indicates the local time (solar time + 2 hours)

Se observa que el día 18 de agosto (68 DDT), correspondiente a la etapa de antesis, las hojas se mantienen más verticales. Los ángulos de inserción foliar fueron de 42,8°, 48,3° y 22,2° para los tratamientos 1, 3 y 5 respectivamente. Estos resultados contrastan con los del día 31 de agosto (81 DDT), en que se alcanzan ángulos de 48,5°, 53,2° y 24,6° en los tratamientos 1, 3 y 5, respectivamente. Esto pudo ser debido probablemente a la menor demanda evaporativa el día 31 de agosto o una mayor edad del cultivo o a una combinación de ambos factores.

Relación entre contenido relativo de agua (CRA) y el potencial hídrico foliar (ψ_{hoja})

En la figura 9 se presenta la relación entre el contenido relativo de agua (CRA) y el potencial hídrico foliar (ψ_{hoja}), denominada curva característica, obtenida en las hojas bandera de dos plantas de los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de ET cuando el cultivo se encontraba en la etapa 6b de antesis (105 DDS).

Estas curvas características se obtuvieron mediante ajustes polinomiales de tercer grado de los datos experimentales. El ajuste resultó similar en los tratamientos 1 y 3, por lo que finalmente solo se representan dos curvas, una conjunta para los tratamientos 1 y 3 y otra correspondiente al tratamiento 5.

La relación entre ψ_{hoja} y CRA obtenida en el tratamiento 5 fue diferente a la obtenida en los tratamientos 1 y 3. Así, para un mismo valor de ψ_{hoja}, las plantas que sufrieron un mayor déficit hídrico (tratamiento 5) mantuvieron un valor más alto de CRA que las plantas que no sufrieron es-

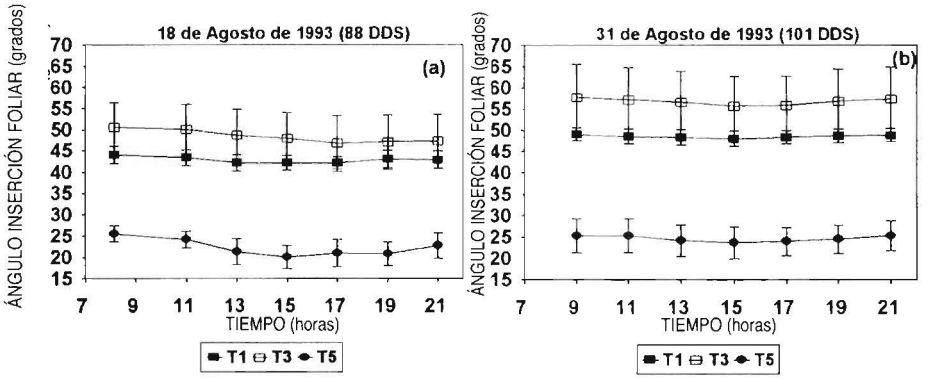


Figura 8. Evolución diurna del ángulo de inserción medido en la penúltima hoja de los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo de ET el 18 de agosto (68 DDT) (a) y el 31 de agosto (81 DDT) (b) de 1993. Cada punto corresponde al promedio de tres medidas. La longitud de la barra vertical indica el doble del error estándar

Figure 8. Daily evolution of leaf insertion angle in treatments 1, 3 and 5 of the ET experiment in august 18th (a) and august 31st (b) of 1993. Each point is the average of three measurements. The length of the bar indicates twice the standard error

trés, indicando una adaptación de las mismas al estrés hídrico. Estas alteraciones en las curvas de ψ_{hoja} frente al CRA a causa del estrés hídrico también han sido observadas por varios autores para el cultivo de sorgo, considerándolas como una adaptación al estrés hídrico ya que le permite mantener la presión de turgor a ψ_{hoja} bajos (JONES y TURNER, 1978; ACEVEDO *et al.*, 1979; WRIGHT *et al.*, 1983b; FACI, 1986; GIRMA y KRIEG, 1992).

Representando en una gráfica 1/ ψ_{hoja} frente a CRA (KOIDE *et al.*, 1991) en los tratamientos extremos (tratamientos 1 y 5) se encontró que el potencial osmótico a turgencia completa (100% de CRA) en la hoja bandera 1 fue de -1,22 MPa en el tratamiento 1 y de -1,49 MPa en el tratamiento 5. Estos valores fueron de -1,0 MPa y de -1,43 MPa para los correspondientes tratamientos de la hoja bandera 2 (figura 10). El ψ_{hoja}de la hoja bandera 1 a turgor cero fue de -1,49 MPa para el tratamiento 1 y de -1,90 MPa para el tratamiento 5. Para la hoja bandera 2 estos valores fueron de -1,08 MPa para el tratamiento 1 y de -1,52 MPa para el tratamiento 5.

Estos valores sugieren que existe una notable diferencia en el estado hídrico de las hojas de sorgo de plantas bien regadas y bajo estrés hídrico. Así, se detecta que los potenciales osmóticos (π) para un mismo contenido de agua (100% CRA) son más bajos en las hojas estresadas (tratamiento 5) que en las hojas de las plantas bien regadas (tratamiento 1).

Estos datos evidencian la existencia de un ajuste osmótico en el sorgo en respuesta al estrés hídrico en condiciones de invernadero. No obstante, hay que destacar que el tratamiento que manifestó el mayor grado de ajuste osmótico (tratamiento 5) fue el de menor crecimiento vegetativo y producción, indicando que posiblemente tuvo una adaptación a la sequía, pero a costa de una reducción del crecimiento y desarrollo del cultivo.

Algunos de los procesos morfológicos y fisiológicos más importantes, tales como elongación foliar, apertura estomática, y fotosíntesis son directamente afectados por la reducción del potencial de turgor foliar (ACEVEDO *et al.*, 1979; TURNER y JONES, 1980). El mantenimiento del turgor mediante el ajuste osmótico durante el cambio en el estado hídrico de la planta podría mantener los procesos metabólicos de la planta y ayudar en su desarrollo y supervivencia (TURNER y JONES, 1980; TURNER y BEGG, 1981).

Conclusiones

El déficit hídrico en condiciones de invernadero afectó al crecimiento vegetativo del sorgo, produciendo una reducción en el número y tamaño de hojas, área foliar y altura del cultivo.

En las plantas cultivadas en invernadero, la relación peso seco de raíz: parte aérea aumentó con el déficit hídrico. Esta relación varió entre 0,19 en el tratamiento más regado y 0,54 en el más deficitario. Sin embargo, el número total de raíces nodales de diámetro mayor de 1 mm disminuyó con el déficit hídrico, llegando incluso a desaparecer las de diámetro mayor de 4 mm en las plantas de los tratamientos más estresados.

En condiciones de invernadero, el déficit hídrico no afectó significativamente ni a la morfología de las hojas normales ni a la de las hojas banderas. Sin embargo, la morfología de la hoja bandera fue significativa-

mente diferente a la de las restantes hojas de la planta, tanto en condiciones óptimas de riego como en condiciones de déficit hídrico severo, siendo más anchas que las hojas normales para una misma área foliar.

El índice de enrollamiento (IR) y el ángulo de inserción foliar fueron dos parámetros de gran interés para detectar estrés hídrico severo en las plantas de sorgo. En las plantas más estresadas se alcanzaron los valores máximos de índice de enrollamiento (IR) de 0,65 alrededor de mediodía solar, y los valores mínimos (próximos a 0) a primera hora de la mañana y últimas de la tarde, cuando la planta se recupera del estrés hídrico del mediodía. Las plantas de los tratamientos más regados se encontraban extendidas durante todo el día con IR cercanos a 0.

Asimismo, se detectó una reducción del ángulo de inserción foliar en las plantas más estresadas, sin detectarse variaciones a lo largo del día, con valores mínimos de 23,4°. Los valores máximos del ángulo de inserción foliar en las plantas más regadas fueron de 50,7°.

El desplazamiento de la curva de contenido relativo de agua (CRA) frente al potencial hídrico foliar (ψ_{hoja}) observado en las plantas del tratamiento más estresado respecto al tratamiento más regado, en condiciones de invernadero, indica una adaptación del sorgo al déficit hídrico mediante el ajuste osmótico. Sin embargo, este tratamiento fue a su vez el más afectado por el estrés hídrico, tanto en su desarrollo vegetativo como en sus rendimientos finales, lo que indica que existió una adaptación al déficit hídrico pero a costa de una reducción en su crecimiento y producción.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) por la concesión de una

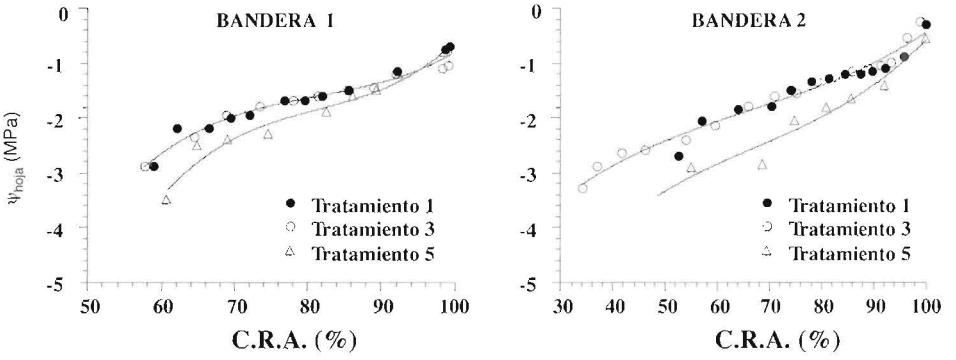


Figura 9. Relación entre el contenido relativo de agua (CRA) y el ψ_{hoja} en la misma hoja bandera en la fase de antesis para los tratamientos 1, 3 y 5 del ensayo ET. Cada punto corresponde a una observación individual. Las líneas son polinomios de tercer grado ajustados por regresión

Figure 9. Relation between relative water content (CRA) and leaf water potential (ψ_{hoja}) in the flag leaf during anthesis stage of treatments 1,3 and 5 of the ET experiment. Each point is an individual observation. Lines are third degree polinomial curves adjusted with regression

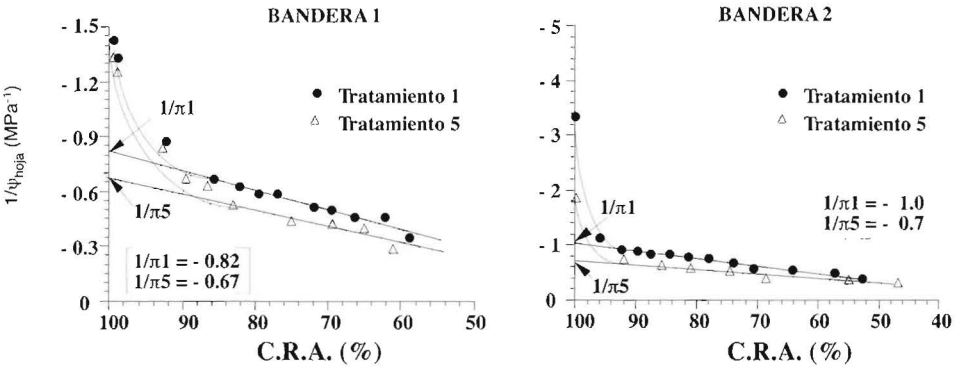


Figura 10. Relación entre la inversa del potencial osmótico (1/π) y el contenido relativo de agua (CRA) para las hojas bandera en la fase de antesis. La línea recta define las relaciones entre 1/π y CRA. El intercepto de esta línea con el eje de las Y representa la inversa del potencial osmótico a completa hidratación ($1/\pi_{100}$)

Figure 10. Relationship between the reciprocal of tissue osmotic potential (1/π) and relative water content (CRA) in flag leaves during anthesis stage. The straight line defines the relation between 1/π y CRA .The intercept with Y axis represents the reciprocal of osmotic potential at full hydration ($1/\pi_{100}$)

beca para la realización de tesis doctoral a Mª José Berenguer Merelo, en la que se incluye este trabajo, y por la financiación de los proyectos 8084, SC93-059 y SC93-057.

A Begoña Díaz del Cuvillo y Asunción Salvador por su colaboración en las tareas realizadas en el invernadero, y a Miguel Izquierdo y Jesús Gaudó por su ayuda en la extracción de raíces.

Bibliografía

ACEVEDO E., FERERES E., HSIAO T.C., HENDERSON D.W., 1979. Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. Plant Physiol., 64: 476-80.

BASNAYAKE J., LUDLOW M.M., COOPER M., HENZELL R.G., 1993. Genotypic variation of osmotic adjustment and desiccation tolerance in contrasting sorghum inbred lines. Field Crops Research, 35: 51-62.

BEGG J.E., 1980. Morphological adaptations of leaves to water stress. In: Turner, N.C. & Kramer, P.J. (Eds.). "Adaptation of plants to water and hight temperature stress". Wiley, New York, U.S.A.: 33-42.

BEGG J.E., TURNER N.C., 1976. Crop water deficits. Avd. Agronomy, 28: 161-217.

BERENGUER M.J., 1996. Respuesta del sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) a un suministro variable de riego en condiciones de campo y en ambientes controlados. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 462 pp.

BERENGUER M.J., FACI J.M., 1999. Respuesta del sorgo al déficit hídrico en invernadero. I. Fenología, consumo de agua en los procesos de evapotranspiración y transpiración, y rendimientos. ITEA Vol 95V n.° 1.

BOYER J.S., MCPHERSON H.G., 1975. Physiology of water deficits in cereals crops. Avd. Agronomy., 27: 1-23.

BLUM A., 1979. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: A case for sorghum. In: Musell, H. & Staples, R.C. (Eds.). "Stress physiology in crop plants". Wiley Interscience, New York, U.S.A.: 429-445

BLUM A., ARKIN G.F., JORDAN W.R., 1977. Sorghum root morphogenesis and growth. I. Effects of maturity genes. Crop. Sci., 17: 149-153

BRADFORD K.J.,CHAUDHURI U.N., KANEMASU E.T., 1982. Effect of water gradient on sorghum growth, water relations and yield. Can. J. Plant. Sci.., 62: 599-607.

CAHN M.D., ZOBEL R.W. BOULDIN DR. 1989. Relationships between noot elongation rate and diameter and duration of growth of lateral roots of maize. Plant and Soil, 119 :271-279.

CHAUDHURI U.N., KANEMASU E.T. 1982. Effect of water gradient on sorghum growth, water relations and yield. Can. J. Plant. Sci. 62: 599-607.

DE JUAN VALERO J.A. y MARTÍN DE SANTA OLALLA F.J. (Eds.), 1993. Agronomía del riego. Ed. Mundi-Prensa, Madrid 732 pp.

DIXON W.S. (Ed.), 1985. BMDP Statistical Sftware. University of California Press. Berkeley. 734 pp.

DONATELLI M., HAMMER G.L., VANDERLIP R.L., 1992. Genotype and water limitations effects on phenology, growth, and transpiration efficienty in grain sorghum. Crop Sci., 32: 781-786.

FACI J.M.ª, 1986. Respuesta de los cultivos de sorgo y trigo a un suministro variable de agua de riego. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 238 pp.

FERERES E., ACEVEDO E., HENDERSON D.WQ., HSIAO T.C. 1978. Seasonal changes in water potential and turgor maintenance in sorghum and maize under water stress. Plant, Physiol. 44: 261-167.

FLOWER D.J., USHA RANI A., PEACOK J.M., 1990. Influence of osmotic adjustment on the growth, stomatal conductance and light interception of contrasting sorghum lines in a harsh environment. Aust. J. Plant Physiol., 17: 91-105.

GALAMAY T., KONO Y., YAMAUCHI A., SHIMIZU M., 1991. Comparative root anatomy of seminal and nodalroot axes of summer cereals with special reference to the development of hypodermic and cortical sclerenchuma. Japan. Jour. Crop. Sci., 60 (1): 184-190.

GIRMA F.S., KRIEG D.R., 1992. Osmotic adjustment in sorghum. I. Mechanisms of diurnal osmotic potential changes. Plant Physiol., 99:577-582. HSIAO T.C., 19783. Plant response to water stress. Ann. Rev. Plant. Physiol., 24: 519-570.

HSIAO T.C., 1973. Plant response to water stress. Ann. Rev. Plant. Physiol., 24: 519-570.

HSIAO T.C., ACEVEDO E. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. Agricultural Meteorology, 14: 59-84.

HSIAO T.C., BRADFORD K.J., 1983. Physiological consecuences of cellular water deficits. In: Taylor, H.M.; Jordan, W.R. & Sinclair, T.R. (Eds). "Limitations to efficient water use in crop production". American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, U.S.A.: 227-265.

HSIAO T.C., O'Toole J.C., YAMBAO E.B., TURNER N.C., 1984. Influence of osmotic adjustment of leaf rolling and tissue death in Rice (Oryza sativa L.). Plant Physiology, 75: 338-341

JONES M.M., TURNER N.C., 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. Plant Physiol., 61:122-126.

JORDAN W.R., 1983. Whole plant response to water deficit: An overview. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan & T.R. Sinclair (Eds). "Limitations to efficient water use in crop production". American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.: 289-317.

JORDAN W.R., MCCRARY M., MILLER F.R., 1979. Compensatory growth in the crown root system of sorghum. Agronomy J., 71: 803-806.

IGARTUA E., 1990. Análisis genético de caracteres de valor agronómico en sorgo para grano (Sorghum bicolor L. Moench). Tesis Doctoral. Univ. País Vasco. 245 pp. Inédita.

KRIEG D.R., 1983. Sorghum. In: Teare, I.D. & Peet, M.M. (Eds.). "Crop water relations". U.S.A.: 351-388.

KOIDE R.T., ROBICHAUX R.B., MORSE S.R., SMITH C.M., 1991. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds). "Plant Physiological Ecology. Field methods and instrumentation". Chapman & Hall, London, U.K. 457 pp.

MATTHEWS R.B., AZAM-ALI S.N., PEACOCK J.M., Response of four sorghum lines to mid-season drought. II. Leaf characteristics. Field Crops Res., 25: 297-308.

MERRIEN A., BLANCHET R., GELFI N., 1981. Relationships between water supply, leaf area development and survival, and production in sunflower (H. Annuus L.). Agronomie., 1(10): 917-922.

PARDALES J.R., KONO J., 1990. Development of sorghum root system under increasing drought stress. Japan Jour. Crop. Sci., 59 (4): 752-761.

PARSONS L.R., 1982. Plant Responses to Water Stress. In: Meryl, G., Christiansen, N., Lewis, C.F. (Eds.). "Breeding Plants for less favourable environments". John Wiley and Sons, New York, U.S.A.: 175-192.

PREMACHANDRA G.S., SANEOKA H., FUJITA K., OGATA S., 1992. Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in Sorghum. Journal of Experimental Botany. 43 (257): 1569-1576

RADIN J.W., 1983. Physiological consequences of cellular water deficits: osmotic adjustment. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. (Eds.). "Limitations to efficient water use in crop production". ASA, CSSA & SSSA., Madison, WI., U.S.A.: 267-276.

RAWSON H.M., CONSTABLE G.A., HOWE G.N., 1980. Carbon production on sunflower cultivar in field and controlled environments. II. Leaf growth. Aust. J. Plant. Physiol. 7: 575-586.

ROSENTHAL W.D., ARKIN G.F., SHOUSE P.J., JORDAN W.R., 1987. Water deficits effects on transpiration and leaf growth. Agronomy J., 79: 1019-1026.

SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.T., BRADSTREET E.D., HEEMINGSEN E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. Science, 148: 339-346.

SMITH, M., ULBERG, D., 1989. Effect of leaf angle and orientation on photosynthesis and water relations in Silphium Terebinthinaceum. Am. J. Bot., 76(12): 1714-1719.

STEEL R.G.D., TORRIE J.H., 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos. (Segunda edición, primera en castellano). McGraw-Hill. México. 622 pp.

TURNER N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop pants. In: Musell, H., Staples, R.C. (Eds.). "Stress physiology in crop plants". Wiley Interscience, New York, U.S.A.: 343-372.

TURNER N.C., BEGG J.E., 1981. Plant water relations and adaptation to stress. Plant Soil. 58: 97-131.

TURNER N.C., BURCH G.J., 1983. The role of water in plants. In: Teare, I.D. & Peet, M.M. (Eds.). "Crop water relations". John Wiley & Sons, New York, U.S.A.: 73-126.

TURNER, N.C., JONES M.M., 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. Turner & Kramer (Eds.). Wiley Interscience, New York, U.S.A.

VUELVAS M.A. y TIJERINA L., 1989. Respuesta de dos líneas de sorgo a diferentes regímenes de humedad en el suelo en dos etapas fenológicas del bajío. Agrociencia.,78: 27-48.

WRIGHT G.C., SMITH R.C.G., MORGAN J.M., 1983b. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. ii. Physiological responses. Aus. J. Agric. Res., 34: 637-651.

YAMAUCHI A., KONO Y., TAT SUMI J., 1987b. Quantitative analysis on root system structures of upland rice and maize. Japan J. Crop. Sci., 56(4): 608-617.

(Aceptado para publicación el 16 de noviembre de 1998)

ITEA (1999), Vol. 95V N.° 1, 93-105

CONSERVACIÓN FRIGORÍFICA DE PLANTAS DE APIO (*APIUM GRAVEOLENS* L.) UTILIZANDO PELÍCULAS BIODEGRADABLES Y BIODESINTEGRABLES[1]

A. Chaves*
J. Fernández Lozano**
J.C. Limongelli**
A. Mugridge*

*CIDCA: Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos
CONICET-Fac. Cs. Exactas UNLP. 47 y 116
La Plata (CP 1900)

**Cátedra de Horticultura: Fac. Agronomía
UBA. Av. San Martín 4453 C. Fed.
Buenos Aires (CP 1417)

Argentina

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar el comportamiento de materiales biodegradables y biodesintegrables como empaquetamiento, se efectuó un ensayo de conservación de plantas enteras de apio, envueltas con dichos films y almacenadas en cámaras frigoríficas a 0°C.

Se envasaron plantas en forma individual, utilizando las películas: Mater-bi Z (biodegradable), Ecostar 15% (biodesintegrable) y PVC (no degradable).

El período total de almacenamiento fue de 28 días, extrayéndose muestras para su análisis cada 7 días y parte de ellas transferidas a 20°C durante otros 7 días, para simular el período de comercialización y luego evaluar sus características.

Se analizaron las variaciones de pérdida de peso, textura, contenido de clorofilas, composición atmosférica desarrollada dentro del envase, etc.

Las plantas de apio fueron totalmente comercializables aún después de 28 días de almacenamiento a 0°C, independientemente de la película usada en el empaquetado.

Cuando luego del período de almacenamiento a 0°C, las plantas se transfirieron a 20°C durante 7 días, se observó un decaimiento importante de la calidad, resultando no comercializables en todos los casos. El deterioro se produjo por un descenso rápi-

1. Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación; Programa Nacional Prioritario de Tecnología de Alimentos. Proyecto: "Estudio de Nuevas Alternativas en Envases para Alimentos con Materiales Biodegradables y/o Biodesintegrables".

do en el contenido de clorofila (especialmente en las plantas empaquetadas con Ecostar) y por la pérdida de peso registrada (los valores más altos se hallaron en las plantas recubiertas con el film Mater-bi Z).

Sin embargo, con tiempos menores (2-3 días) de permanencia a 20°C, resultaron comercializables las plantas empaquetadas con los films: PVC y Ecostar 15%.

Palabras clave: Apio, Atmósfera modificada, Conservación, Películas biodegradables y biodesintegrables, Películas plásticas.

SUMMARY
REFRIGERATED CONSERVATION OF CELERY PLANTS (APIUM GRAVEOLENS L.) WRAPPED WITH BIODEGRADABLE AND BIODESINTEGRABLE FILMS

The behavior of biodegradable and biodesintegrable packaging materials was studied for the storage at 0°C of whole celery plants. Individual plants were wrapped with the following films: Mater-bi Z (biodegradable), Ecostar 15% (biodesintegrable) and PVC (non-degradable). The total storage period was 28 days, and samples were taken every 7 days. Part of each sample was analized inmediately and the remaining part transferred to 20°C, kept at that temperature for 7 days to simulate a commercialization period and then analized. We determined weight loss variations, texture, chlorophyll content and composition of the atmosphere developed inside the package.

It was found that celery plants kept commercial quality even after 28 days of storage at 0°C, regardless of the film used. In all samples removed over the storage period at 0°C and kept at 20°C for 7 days, a considerable quality decrease was observed. The damage was caused by a rapid decrease in chlorophyll content (particulary in plants wrapped with Ecostar) and by the weight losses found, which were highest in plants covered with Mater-bi Z film.

However, when the exposure to 20°C (2-3 days) was shorter, the plants wrapped with PVC and Ecostar 15% film kept commercial quality.

Key word: Biodegradable and biodesintegrable films, Celery, Modified atmosphere, Plastic films, Storage.

Introducción

Desde hace algunos años está ocurriendo una transformación en la tecnología de la producción de apio, aumentando la proporción de cultivo que se efectúa en invernadero. Esto ha traído como consecuencia una mejora en la calidad comercial del producto.

Con la finalidad de mantener en el tiempo, luego de cosecha, esa calidad, se están implementando nuevas prácticas de manejo postcosecha. Las principales pérdidas en esta etapa son debidas a deshidratación y amarilleamiento. Es así que algunos productores han comenzado a utilizar films para envolver las plantas de apio y reducir estas pérdidas.

Smith et al. (SMITH, R.B. y REYES, A.A., 1988) hallaron que atmósferas controladas conteniendo 1-2% de O_2 y 2-4% de CO_2 fueron óptimas en el almacenamiento de

apio; por otra parte, MUGRIDGE *et al.* (MUGRIDGE, A. y CHAVES, A., 1990) encontraron que atmósferas modificadas conteniendo 1-2% de CO_2 y 18-19% de O_2 (ligeramente inferior al aire) conservaron durante más tiempo las características de calidad de plantas de apio cv. La Plata.

La utilización de películas para obtener una atmósfera modificada permitirían reducir, entre otras cosas, la pérdida de peso por deshidratación (HOTCHKISS, J.H., 1988) y el amarilleamiento (SELMAN, J.D., 1993). Las películas que se utilizaron en los trabajos citados no son degradables.

Los materiales con características biodegradables y biodesintegrables aún no son utilizados comercialmente. La difusión del uso de este tipo de materiales representaría un significativo aporte en la preservación del medio ambiente.

Se define como "envase biodegradable" aquel que está constituido por un material tal que permite mantener completamente su integridad durante su manufactura, vida de estantería y uso, y que, al ser desechado, comienza a degradarse por influencia de agentes del medio ambiente. Si estos agentes son entes biológicos -principalmente microorganismos- el término degradable se transforma en biodegradable (MOLLO, M. y col., 1996).

Los films denominados "biodegradables" son de dos tipos: 1) totalmente biodegradables y 2) biodesintegrables. Un representante de los primeros es el denominado Mater-bi y entre los segundos se halla el Ecostar.

Mater-bi Z, es un plástico biodegradable que contiene 60% de almidón y sus derivados en una matriz de un poliester alifático (PCL: policaprolactona como base mayoritaria) que también biodegrada, aunque más lentamente que el almidón (RÖPER *et al.*, 1993). Mater-bi se convierte en los mismos productos que los residuos orgánicos: típicamente CO_2, H_2O, metano y biomasa orgánica. Es compostable de forma muy parecida al papel y biodegrada en forma aeróbica y anaeróbica (ANÓN., 1991).

Ecostar es una matriz de polietileno que contiene almidón en la proporción indicada; es biodesintegrable pues lo que se degrada es el almidón pero no la matriz (ANÓN., 1991).

En este trabajo, se propone estudiar el uso de diferentes materiales plásticos flexibles con características de biodegradabilidad, en cuanto a su comportamiento en la conservación refrigerada de apio para consumo fresco. Para la realización de los ensayos se utilizó: una película biodesintegrable (Ecostar), una biodegradable (Mater-bi) y otra de uso comercial sin esas propiedades (PVC).

Materiales y métodos

Material Vegetal: Se utilizaron plantas enteras de apio variedad Golden Boy, cultivadas en la zona de producción del cinturón hortícola de Buenos Aires (La Plata). El cultivo fue realizado bajo invernadero, lo cual aseguró plantas de óptima calidad. Una vez cosechadas, las plantas, fueron lavadas con solución de hipoclorito de sodio (200 ppm) y luego se eliminó el agua en exceso por corriente de aire a temperatura ambiente. El peso promedio de cada planta fue 0,780 Kg.

Acondicionamiento: Las plantas fueron seleccionadas y empaquetadas con las siguientes películas: Ecostar 15%, Mater-bi Z y PVC como control. Cada bolsa, perfec-

tamente sellada, contenía una planta de apio. Las características de los films utilizados se muestran en el cuadro 1.

La película de "Ecostar" fue realizada en el CITIP (Centro de Investigación Tecnológico para la Industria Plástica) - INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial). La película fue procesada a partir de un concentrado de Ecostar (master batch) en matriz de polietileno de baja densidad. El film se obtuvo por extrusión.

Mater-bi Z fue provista por la firma comercial Novamont de Italia, que la desarrolló.

El film PVC (cloruro de polivinilo RF-50) fue producido por la firma CASCO S.A.

Almacenamiento: Luego de empaquetadas, las plantas de apio fueron colocadas en cámara refrigerada a 0°C. Una muestra inicial y las correspondientes a 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento refrigerado fueron transferidas a una cámara a 20°C, durante 7 días, para simular el período de comercialización. Si bien éstas condiciones no se presentan en la comercialización normal de la especie en estudio, se la consideró útil como una situación extrema de mercadeo; se tomó muestra a los 3 y 7 días de permanencia a 20°C.

Diseño de la experiencia: Se empleó un diseño factorial, siendo los factores: las películas bajo estudio y el tiempo de almacenamiento. Se realizaron cuatro réplicas por cada tiempo de almacenamiento y cada película. De las cuatro muestras extraídas en cada período de almacenaje, dos se analizaron en el momento de la salida de cámara y dos fueron transferidas a 20°C, durante 7 días más, realizándose luego las determinaciones correspondientes.

Los resultados fueron analizados mediante un ANOVA. Los valores medios se compararon mediante el test LSD empleando un grado de significación α=0,05.

Determinaciones

Composición atmosférica: La composición de la atmósfera desarrollada dentro de

CUADRO 1
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS UTILIZADAS PARA REALIZAR LOS EMPAQUETAMIENTOS
TABLE 1
TECHNICAL PROPERTIES OF PLASTIC FILMS USED IN PACKAGING

Película	Permeabilidad O_2	Permeabilidad CO_2	Transmisión vapor H_2O	Espesor (μ)
Ecostar 15%	3.600 [1]	4.400 [1]	0,0172 [4]	5
Mater-bi Z	1,8 [2]	13,4 [2]	1,0 [4]	23
PVC	166,3 [3]	718,9 [3]	0,006[5]	15

[1] cm^3 mm/día m^2 atm; 23 °C, 50% HR.
[2] cm^3 mm/día m^2 atm; 23 °C, 45% HR.
[3] cm^3 mm/día m^2 atm; 23 °C, 0% HR.
[4] g mm/día m^2; 23 °C, 85% HR.
[5] g mm/día m^2; 38 °C, 100% HR.

los envases se determinó mediante cromatografía gaseosa empleando un cromatógrafo Shimadzu GC 6A con columnas de silica gel y tamiz molecular 5A conectadas en serie y un detector de conductividad térmica. Como gas transportador se utilizó H_2. La muestra gaseosa se tomó con jeringa a través del film. La perforación se tapó inmediatamente con cinta adhesiva. Los resultados se expresan en % (v/v) del gas correspondiente.

Pérdida de peso: Se determinó por diferencia entre el peso inicial de las bolsas conteniendo las plantas de apio y el correspondiente a los distintos períodos de almacenamiento. Para las muestras transferidas a 20°C la diferencia de peso se estableció respecto al peso de las mismas muestras a la salida de cámara. Se empleó una balanza granataria con exactitud ±1 g. Los resultados se expresaron en g%.

Textura: Con el fin de evaluar el grado de fibrosidad de los pecíolos se empleó una máquina Instron 1040 equipada con una tijera Warner Bratzler (velocidad de avance de la cuchilla 10 cm/min); se utilizó una celda de carga de 50 kg. Se midió la fuerza máxima de corte en la zona recta del pecíolo. Se realizaron varios cortes por pecíolo de la hoja 10 a partir del centro de la planta. Los resultados se expresaron en kg.

Clorofila: Las clorofilas fueron extraídas con acetona utilizando, igual que para la determinación de textura, la zona recta de los pecíolos correspondientes a las hojas 6 a 14, previamente congeladas y trituradas. El contenido de clorofilas se determinó colorimétricamente por el método de Bruinsma a 663, 652 y 645 nm.

Observaciones organolépticas: Luego de cada período de almacenamiento y simulación de la etapa de comercialización, las bolsas fueron abiertas y se realizó la observación de las plantas. Se evaluó el aspecto general, el grado de deshidratación, la textura y esponjosidad de los pecíolos, el aroma, el desarrollo de olores extraños, el color, el grado de amarilleamiento, el pardeado de la zona de corte, el crecimiento interno y la presencia de daños fisiológicos y patológicos.

Resultados y discusión

Composición atmosférica: Los valores obtenidos para la composición atmosférica, expresada en porcentaje de CO_2, desarrollada dentro de los empaquetamientos realizados con las películas PVC y Ecostar 15% permanecieron siempre inferiores a 0,1%, es decir que la composición de la atmósfera prácticamente no se modificó, durante todo el almacenamiento refrigerado. En los envases realizados con la película Mater-bi Z el tenor de CO_2 aumentó hasta 1,5% a los 21 días a 0°C, para luego permanecer constante, hallándose diferencias significativas entre los tiempos de almacenamiento (figura 1).

El pasaje a 20°C significó, en todos los casos, un aumento en el porcentaje de CO_2. Para las plantas empaquetadas con los films PVC y Ecostar 15% los valores sólo se incrementaron ligeramente, manteniéndose inferiores a 1%, mientras que para los envases realizados con Mater-bi Z el incremento fue notoriamente superior ($p<0,05$). Cuando la película utilizada fue Mater-bi Z, el aumento en el tenor de dióxido de carbono fue similar para todos y cada uno de los períodos de almacenamiento, pasando de aproximadamente 1% (finalizado el período de refrigeración) a 6-7% (luego de los 7 días a 20°C).

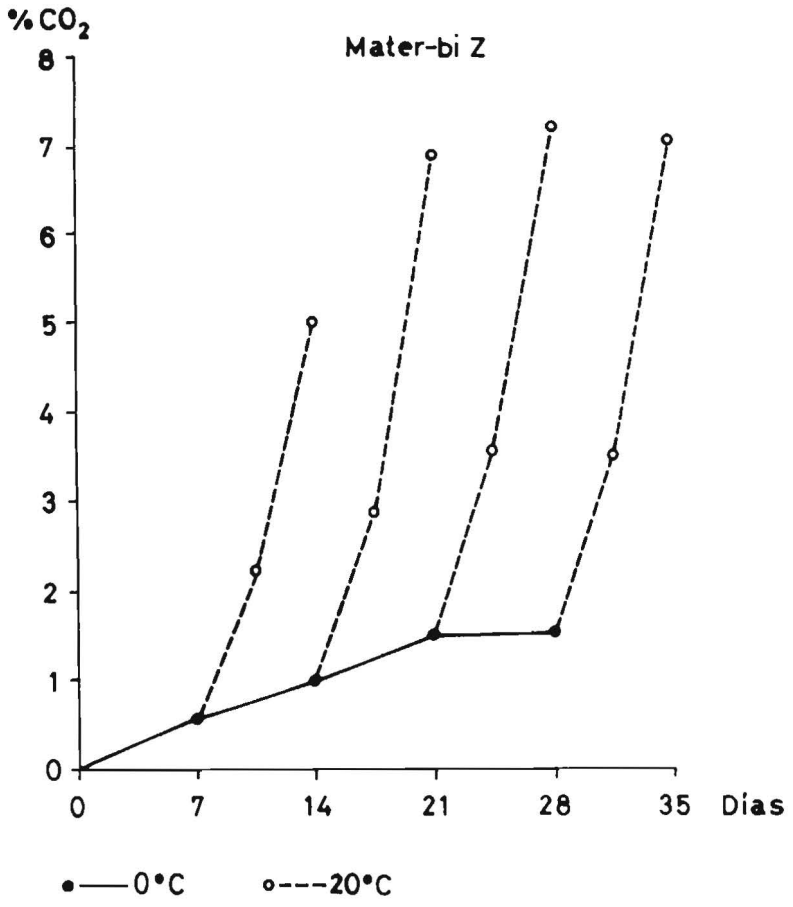


Figura 1. Porcentaje de CO_2 desarrollado dentro de los empaquetamientos realizados con la película Mater-bi Z, almacenados a 0°C durante 7, 14, 21 y 28 días y luego transferidos a 20°C durante 2 y 7 días. (LSD=0,64)

Figure 1. Changes in CO_2 content (%) in the internal atmosphere of the packages made with Mater-bi Z containing one celery plant, stored at 0°C for 7, 14, 21 and 28 days and then transferred at 20°C for 2 and 7 days. (LSD=0,64)

Los niveles de O_2 alcanzados durante el almacenamiento a 0°C fueron de aproximadamente 21% para las atmósferas desarrolladas en los empaquetamientos realizados con las películas PVC y Ecostar y de 19,5% cuando se utilizó el film Mater-bi Z. Luego del pasaje a 20°C los valores fueron próximos a 20% cuando se utilizó PVC y Ecostar y del 14% para Mater-bi Z.

Según KADER (1992) con concentraciones de O_2 entre 1-4% y de CO_2 entre 0-5%

se logra un buen potencial de beneficio pero con limitado uso comercial. Asimismo, RYALL and LIPTON (1979) sostienen que el almacenamiento en atmósfera controlada de apio tiene poca ventaja, ya que sólo concentraciones de O_2 superiores a 5% retardarían el amarilleamiento ligeramente y CO_2 superior a 2,5% ya sería nocivo. Los mismos autores recomiendan el almacenamiento a 0°C y alta humedad relativa. KRARUP y col. (1987) hacen mención al beneficio que significa contar con 1-5% de O_2 para evitar la esponjosidad de los pecíolos externos; también sostienen que concentraciones de CO_2 del 3% o más inducen daños y mal sabor.

Pérdida de peso: Durante el almacenamiento refrigerado se observaron diferencias en el comportamiento entre las películas utilizadas para el empaquetamiento de las plantas de apio. La mayor pérdida de peso se registró en las plantas empaquetadas con la película Mater-bi Z (llegando a 7%). La pérdida de peso de las plantas acondicionadas con los films Ecostar 15% y PVC fue relativamente baja (figura 2); hacia el final del almacenamiento el valor alcanzado por las plantas recubiertas con PVC fue ligeramente superior (2%) repecto a las envasadas con Ecostar. Se hallaron diferencias significativas entre los distintos tiempos de almacenamiento y todas las películas utilizadas.

Luego de la transferencia a 20°C, independientemente de la película utilizada y el tiempo de permanencia a baja temperatura, la pérdida de peso aumentó ($p<0,05$). Como se puede observar en la figura 2, la mayor deshidratación se registró en las plantas empaquetadas con el film Mater-bi Z (25%) mientras que la menor fue en las que se utilizó Ecostar 15% (11,5%).

Según KRARUP y col. (1987) la máxima pérdida de agua, en base al peso inicial, comercialmente aceptable sin que se vea afectada la calidad es 10%, lo que resulta coincidente con los datos obtenidos en el presente trabajo.

Textura: La fuerza máxima de corte depende no sólo de la cantidad de fibras sino también de factores como: turgencia, esponjosidad, alteraciones fisiológicas, etc. La figura 3 muestra un gráfico "tipo" obtenido con la tijera Warner Bratzler. La variación de la textura, se muestra en la figura 4 mediante los promedios de los valores obtenidos de la fuerza máxima de corte, al iniciar la experiencia, después de cada período de almacenamiento a 0°C y luego de la transferencia a 20°C.

Después de 7 días de almacenamiento a 0°C, el valor inicial experimentó una disminución, para luego mantenerse prácticamente constante durante todo el período de almacenaje. La textura de los pecíolos de las plantas empaquetadas con las películas PVC y Ecostar no difieren entre sí, en tanto que los valores obtenidos para Mater-bi fueron significativamente mayores ($p<0,05$).

Con el pasaje a 20°C, en general, aumentaron los valores de la fuerza necesaria para seccionar el pecíolo, observándose los valores más altos en las plantas recubiertas con el film Mater-bi Z (figura 4) probablemente debido a la mayor deshidratación sufrida por éstas durante el almacenamiento.

Clorofilas: Durante el almacenamiento refrigerado se observó un ligero amarilleamiento, que se tradujo en una disminución del contenido de clorofilas. El nivel inicial de las mismas en los pecíolos fue de 12,0 μg/g, disminuyendo al finalizar el almacenamiento a 10,60, 8,83 y 4,82 μg/g en las

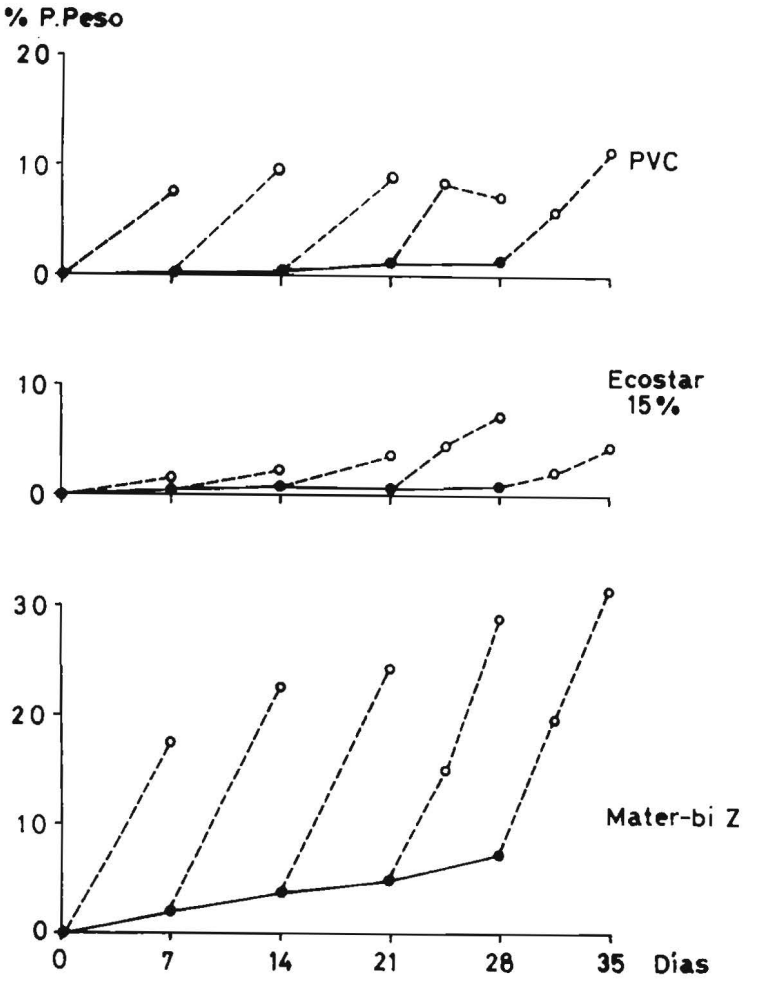


Figura 2. Pérdida de peso (%) de plantas de apio envasadas con las películas Mater-bi Z, Ecostar 15% y PVC, almacenadas a 0°C y luego transferidas a 20°C, para cada tiempo de muestreo. (LSD=1,32)
Figure 2. Weight loss (%) of celery plants packaged with Mater-bi Z, Ecostar 15% and PVC films, stored at 0°C and then transferred to 20°C. (LSD=1,32)

plantas empaquetadas con Mater-bi Z, Ecostar y PVC respectivamente (figura 5); se halló un efecto significativo del tiempo de almacenamiento.

Con la exposición a 20°C el contenido de clorofilas disminuyó en forma notoria, especialmente en las plantas envasadas con Ecostar, en las que los valores decrecieron hacia el final del almacenamiento un 80-100% del valor original. El nivel alcanzado en aquellas plantas recubiertas con Mater-bi Z fue similar al de las envasadas en PVC, donde la disminución alcanzó un 10-20% del valor inicial (figura 5).

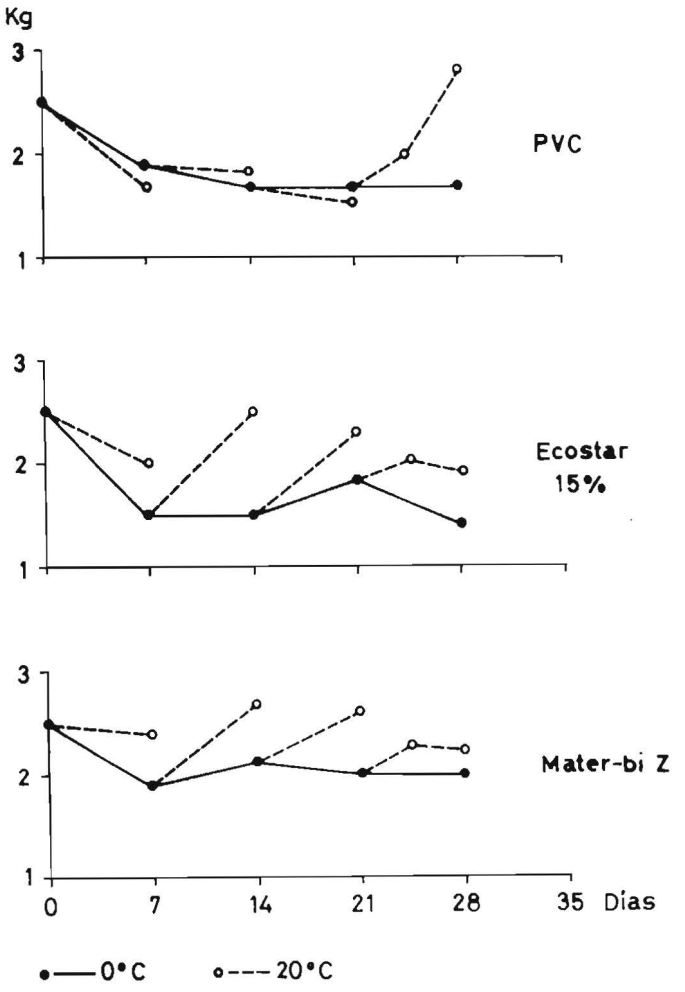


Figura 3. Perfil típico de fuerza de corte de pecíolos de apio. La flecha indica el punto correspondiente a la fuerza máxima de corte

Figure 3. Typical shear force profile of celery petioles. Arrow indicats the maximal shear force

Observaciones organolépticas: Se observó que hubo una gran condensación de agua sobre la cara interna de los empaquetamientos realizados con la película Ecostar 15% y el film Mater-bi Z. En el primer caso la condensación fue en forma de numerosas gotas pequeñas en tanto que en el segundo se formaron gotas grandes en un número inferior. Esta condensación, unida al hecho de tratarse de películas semiopacas, especialmente en Mater-bi Z, dificultó la visualización del producto.

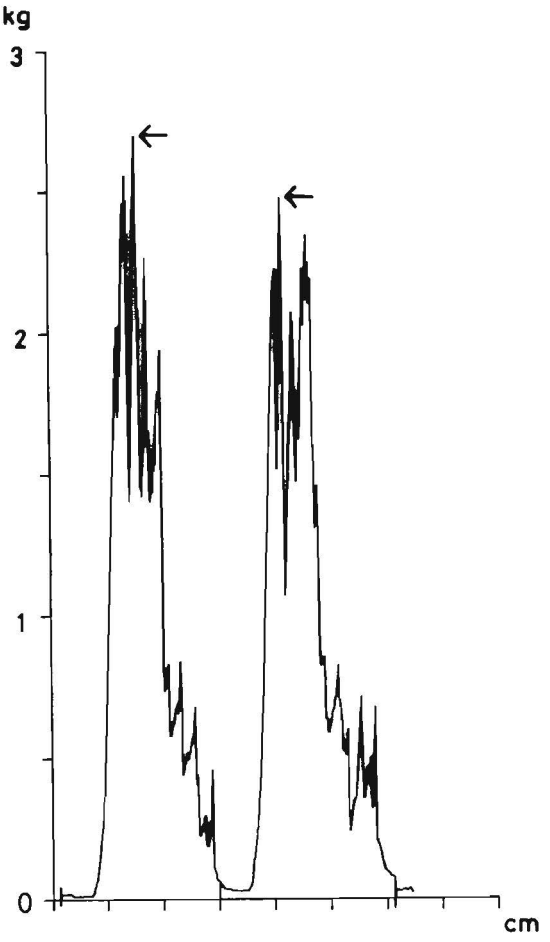


Figura 4. Variación de la fuerza máxima de corte (kg), de pecíolos de plantas de apio envasadas con las películas Mater-bi Z, Ecostar 15% y PVC. almacenados a 0°C y luego transferidas a 20°C por 7 días para cada período de almacenamiento. (LSD=0,29)

Figure 4. Influence of storage time and temperature on the maximal shear force (kg) of petioles of celery plants packaged with Mater-bi Z, Ecostar 15% and PVC films, stored at 0°C and then transferred to 20°C for 7 days. (LSD=0,29)

Las plantas de apio que permanecieron 7 días a 0°C, independientemente de la película empleada para su empaquetamiento, manifestaron un ligero amarilleamiento en los bordes de los folíolos de las hojas externas que no alcanzó a alterar el aspecto general inicial.

Durante los primeros 15 días de almacenamiento refrigerado el aspecto general se mantuvo igual al inicial. Luego de este pe-

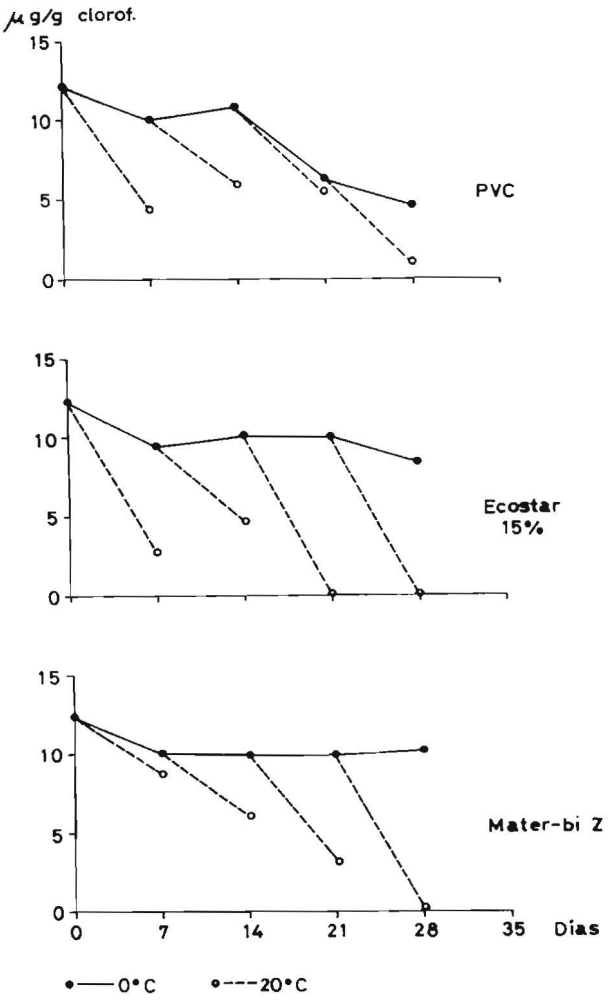


Figura 5. (μ/g) de clorofilas halladas en las muestras extraídas de los pecíolos de las plantas de apio empaquetadas con los films Mater-bi Z, Ecostar 15% y PVC, almacenadas a 0°C por 7, 14, 21 y 28 días y luego transferidas a 20°C por 7 días. (LSD=1,95)

Figure 5. Changes in chlorophyll content (μ/g) of petioles of celery plants packaged with Mater-bi Z, Ecostar 15% and PVC films, stored at 0°C for 7, 14, 21 and 28 days and then transferred at 20°C for 7 days. (LSD=1,95)

ríodo, se produjo un amarilleamiento más importante en los bordes de los folíolos, especialmente de las hojas externas, lo que provocó una disminución de la calidad, independientemente de la película empleada en el recubrimiento. No se observó desarrollo de patógenos.

Luego de 21 días de almacenamiento refrigerado, las plantas empaquetadas con

Mater-bi Z presentaron una mayor deshidratación.

Las plantas de apio fueron totalmente comercializables aún después de 28 días de almacenamiento a 0°C, independientemente de la película usada en el empaquetado. Según KRARUP y col. (1987), cuando el apio se almacena un mes o más, uno de los desórdenes esperados es el desarrollo de esponjosidad en los pecíolos externos; en el presente trabajo, hasta los 28 días de almacenamiento refrigerado, independientemente de la película utilizada, no se observó éste tipo de desorden.

Las plantas iniciales, que sin refrigeración previa fueron colocadas a 20°C, luego de 7 días de permanencia a esa temperatura, presentaron características organolépticas diferentes según la película que se usó para el empaquetamiento. Así, cuando fueron envasadas con el film Mater-bi Z presentaron un color verde atípico y se hallaban muy deshidratadas, con un aspecto laxo y con podredumbre húmeda generalizada. Cuando se emplearon las películas PVC y Ecostar se observó un amarilleamiento importante en las hojas externas, tanto en los folíolos como en los pecíolos. Respecto a la presencia de patógenos se pudo ver que apareció podredumbre húmeda a lo largo del pecíolo, tanto en las plantas recubiertas con PVC como con Ecostar. Las plantas empaquetadas con la película Ecostar 15% presentaron menor pardeamiento en la zona del corte que las envueltas con PVC y Mater-bi Z. Se pudo observar un importante crecimiento interno en las plantas que, almacenadas en estas condiciones, se cubrieron con Ecostar 15%. Luego de 7 días de almacenamiento a 20°C, en todos los empaquetamientos, la calidad de las plantas decayó a un nivel tal que no hubiese permitido su comercialización.

Luego del almacenamiento refrigerado, el pasaje a 20°C incidió significativamente, en el decaimiento del aspecto general de las plantas. Así, luego de 7 días a esta temperatura, independientemente del tiempo de almacenamiento previo a 0°C, las plantas fueron calificadas como no comercializables. Con tiempos menores de permanencia a 20°C, 2-3 días según el período previo a 0°C, resultaron comercializables aquellas plantas que fueron empaquetadas con PVC o con la película Ecostar 15%.

Conclusiones

Durante los primeros 15 días de almacenamiento refrigerado la calidad comercial de las plantas de apio se mantuvo igual a la inicial. A partir de ese momento y hasta el final del almacenamiento a 0°C se desarrolló un progresivo amarilleamiento del borde de los folíolos, lo cual disminuyó la calidad pero no limitó la posibilidad de su comercialización.

Los resultados obtenidos mostraron que, considerando un período a 20°C de 3 días, posterior al de conservación refrigerada, resultaron comercializables aquellas plantas que, empaquetadas con las películas PVC y Ecostar 15% fueron almacenadas hasta 21-28 días a 0°C.

La mayor deshidratación observada en las plantas de apio envasadas con la película Mater-bi Z fue debida a la gran permeabilidad al vapor de agua de la misma; esto dificultaría su empleo para la conservación de esta hortaliza.

La calidad de presentación de las plantas, cuando fueron empaquetadas con las películas biodegradables y biodesintegrables, se vio disminuida por la condensación

de humedad que presentaron en la cara interna del envase y por el nivel de opacidad.

Bibliografía

ANÓNIMO, 1991. Envasamiento. Industria Argentina del Envase 265 (22) pp. 38.

HOTCHKISS J.H., 1988. Experimental Approaches to Determining the Safety of Food Packaged in Modified Atmospheres. Food Technology. 42 (9): 55, 60-64.

KADER A.A., 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops, Second Edition, Publication 3311. University of California Division of Agricultura and Natural Resourses. 296 pp.

KRARUP C., LIPTON W. y TOLEDO J. 1987. Primer Curso Internacional de Postcosecha de Hortalizas. Buenos Aires. 430 pp.

MOLLO M., EISENBERG P., DOMINELLI S. y GALAK M., 1996. Estudios de Nuevas Alternativas de Envases para Alimentos con Materiales Biodegradables.

MUGRIDGE A. y CHAVES A.R., 1990. Influence of Atmosfere Composition on Market Quality of Stored Celery. International Institute of Refrigeration. 253-259.

ROPER H., KOCH H., BAHR K.H., 1993. Developments in the Use of Starch in Biodegradable Thermoplastics. Agro-Food-Industry Hi-Tech. Mayo-Abril, 17-19.

RYALL A.L. and LIPTON W.J., 1979. Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Vol. 1, Second Edition. Vegetables and Melons. 587 pp. Ed. AVI, Connecticut.

SELMAN J.D., 1993. Practical Experiences of Sensory Investigations into the Packaging of Vegetables.Packaging Technology and Science. Vol. 6. 183-193.

SMITH R.B. y REYES A.A., 1988. Controlled Atmosphere storage of Ontario-growth celery. J. Am. Soc. Hort. Sci. 113 (3): 390-394.



CIHEAM

CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 1998-99-00

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	*MEJORA GENÉTICA VEGETAL	5 Oct. 98/ 11 Jun. 99	Zaragoza	IAMZ
	*OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	1 Oct. 99/ 26 Mayo 00	Córdoba	UCO/CA-JA/CSIC/ INIA/COI/IAMZ
	UTILIZACIÓN SOSTENIBLE DE RECURSOS EN LOS SISTEMAS DE AGRICULTURA DE SECANO DE LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	18-29 Oct. 99	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II
	INTRODUCCIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS EN LA AGRICULTURA: EVALUACIÓN Y CRITERÍOS DE DECISIÓN	22-26 Nov. 99	Zaragoza	IAMZ
	USO DE LOS MARCADORES MOLECULARES EN MEJORA VEGETAL	7-18 Feb. 00	Barcelona	IAMZ/IRTA
	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE MEJORA DE ESPECIES LEÑOSAS FRUTALES Y FORESTALES: ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y GENÉTICOS	6-10 Mar. 00	Zaragoza	IAMZ
	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE SELECCIÓN Y MEJORA DE ESPECIES LEÑOSAS FRUTALES Y FORESTALES: DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	13-17 Mar. 00	Zaragoza	IAMZ
	CONTROL INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN CULTIVOS PROTEGIDOS	5-16 Jun. 00	Zaragoza	IAMZ
PRODUCCIÓN ANIMAL	REQUISITOS DE CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE RUMIANTES PARA SU COMERCIALIZACIÓN	19-30 Oct. 98	Zaragoza	IAMZ
	PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE CAMPAÑAS DE SANEAMIENTO GANADERO	8-12 Feb. 99	Zaragoza	IAMZ/FAO
	TÉCNICAS MOLECULARES EN MEJORA GENÉTICA ANIMAL	15-26 Mar. 99	León	IAMZ/Univ. León
	PASTORALISMO Y DESARROLLO EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS MEDITERRÁNEAS	22 Mar./ 3 Abr. 99	Rabat	IAMM/IAMZ/ IAV Hassam II
	APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA NIRS EN LA EVALUACIÓN DE PRODUCTOS AGRARIOS	12-16 Abr. 99	Zaragoza	IAMZ/UCO
	DIVERSIFICACIÓN DE ESPECIES DE PECES EN LA ACUICULTURA MARINA MEDITERRÁNEA	24-28 Mayo 99	Zaragoza	IAMZ/FAO
	*PRODUCCIÓN ANIMAL	4 Oct. 99/ 9 Jun. 00	Zaragoza	IAMZ
	*ACUICULTURA	10 Ene./ 30 Jun. 00	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/ IAMZ
	VALORIZACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS DE OVINOS Y CAPRINOS EN EL ÁREA MEDITERRÁNEA. TECNOLOGÍAS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE MERCADO	10-19 Abr. 00	Surgères	IAMZ/ENILIA

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	RÍOS Y RIBERAS DE RÉGIMEN MEDITERRÁNEO Y SU GESTIÓN	21 Sep./ 2 Oct. 98	Zaragoza	IAMZ
	ARBUSTOS FORRAJEROS: SU PAPEL EN EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS MEDITERRÁNEAS	28 Sep./ 9 Oct. 98	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II
	*ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	5 Oct. 98/ 11 Jun. 99	Zaragoza	IAMZ
	ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES	15-26 Mar. 99	Zaragoza	IAMZ
	DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES	18-29 Oct. 99	Zaragoza	IAMZ/MIMAM/FAO
	USO CONJUNTO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	8-12 Nov. 99	Zaragoza	IAMZ
	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS INSTALACIONES ACUÍCOLAS EN EL MEDITERRÁNEO	17-21 Ene. 00	Zaragoza	IAMZ/FAO
	ESTRATEGIAS DE REPOBLACIÓN FORESTAL EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	7-18 Feb. 00	Zaragoza	IAMZ
	EVALUACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS PESQUEROS EN EL MEDITERRÁNEO	27-31 Mar. 00	Fuengirola	IAMZ/IEO
	TURISMO EN ZONAS RURALES: ESTRATEGIAS Y PROMOCIÓN	3-7 Abr. 00	Zaragoza	IAMZ
	ESTADO ECOLÓGICO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES: MÉTODOS DE MEDIDA Y ESTRATEGIAS DE GESTIÓN	8-19 Mayo 00	Zaragoza	IAMZ
COMERCIALIZACIÓN	GESTIÓN DE LA CALIDAD. NUEVOS CONCEPTOS Y SU APLICACIÓN EN EL MARKETING AGROALIMENTARIO	9-20 Nov. 98	Zaragoza	IAMZ
	COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DEL MAR: TENDENCIAS Y RETOS	14-18 Dic. 98	Zaragoza	IAMZ
	GESTIÓN DE LOS CANALES DE DISTRIBUCIÓN ALIMENTARIA	11-22 Ene. 99	Zaragoza	IAMZ
	LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO Y SU IMPACTO EN EL MARKETING INTERNACIONAL AGROALIMENTARIO	22-26 Feb. 99	Zaragoza	IAMZ/OMC
	DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO	26 Abr./ 7 Mayo 99	Zaragoza	IAMZ
	*MARKETING AGROALIMENTARIO	4 Oct. 99/ 9 Jun. 00	Zaragoza	IAMZ

(*) Cursos de Especialización Postuniversitaria del correspondiente Programa Master of Science. Se desarrollan cada dos años:

- MEJORA GENÉTICA VEGETAL: 98-99; 00-01; 02-03
- OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 99-00; 01-02; 03-04
- PRODUCCIÓN ANIMAL: 99-00; 01-02; 03-04
- ACUICULTURA: 99-00; 01-02; 03-04
- ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: 98-99; 00-01; 02-03
- MARKETING AGROALIMENTARIO: 99-00; 01-02; 03-04

Se destinan primordialmente a titulados superiores en vías de especialización postuniversitaria. No obstante se estructuran en ciclos independientes para facilitar la asistencia de profesionales interesados en aspectos parciales del programa. Los participantes que cumplan los requisitos académicos pueden optar a la realización del 2º año para la obtención del Título Master of Science. El plazo de inscripción para los cursos de Producción Animal, Marketing Agroalimentario y Olivicultura y Elaiotecnia finaliza el 15 de Mayo 1999. El plazo de inscripción para el curso de Acuicultura finaliza el 30 de Junio 1999. El plazo de inscripción para los cursos de Mejora Genética Vegetal y Ordenación Rural en Función del Medio Ambiente finaliza el 15 de Mayo 2000.

Los cursos de corta duración están orientados preferentemente a investigadores y profesionales relacionados en el desarrollo de sus funciones con la temática de los distintos cursos. El plazo de inscripción para los cursos de corta duración finaliza 90 días antes de la fecha de inicio del curso.

Los candidatos de países miembros del CIHEAM (Albania, Argelia, Egipto, España, Francia, Grecia, Italia, Líbano, Malta, Marruecos, Portugal, Túnez y Turquía) podrán solicitar becas que cubran los derechos de inscripción, así como becas que cubran los gastos de viaje y de estancia durante el curso. Los candidatos de otros países interesados en disponer de financiación deberán solicitarla directamente a otras instituciones nacionales o internacionales.

En la página Web se proporciona información sobre los cursos programados y se facilita el formulario de inscripción: http://www.iamz.ciheam.org

Para mayor información dirigirse a:

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza
Apartado 202 - 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)
Teléfono 976 57 60 13 - Fax 976 57 63 77
e-mail: iamz@iamz.ciheam.org – Web http://www.iamz.ciheam.org

CONCESIÓN DEL PREMIO PRENSA AGRARIA 1998 DE A.I.D.A.

Presidente
Leonardo Plana Claver

Vocales
Álvaro Blanco Braña
Miguel Valls Ortiz
Rafael Gella Fañanas

Secretario
Pere Albertí Lasalle

Reunido el Jurado del Premio 1998 de Prensa Agraria de AIDA formado por D. Leonardo Plana Claver (Presidente de AIDA), D. Álvaro Blanco en representación del Sr. Director de la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), y el Director del Instituto Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ) y del Servicio de Investigación Agroalimentaria (DGA), actuando como Secretario el Director de ITEA, tal como establecen las bases de la convocatoria aprobadas en la Asamblea General de la Asociación celebrada en mayo de 1983, acordó premiar entre los artículos publicados en ITEA durante el año 1998 a los siguientes:

Serie Producción Vegetal: "Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid (*Vitis vinifera* L.) bajo diferentes condiciones hídricas", siendo sus autores: C. GODOY A., H. GARZA S., M.ª V. HUITRON R.

Serie Producción Animal: "Comparación entre la inseminación artificial y la monta natural en España. Estudio económico teórico", siendo sus autores: M.L. GARCÍA, J. CIFRE, M.ª P. VIUDES DE CASTRO.

Zaragoza, 25 de febrero de 1999

INSCRIPCIÓN EN AIDA

* Si desea Ud. pertenecer a la Asociación, rellene la ficha de inscripción así como la carta para la domiciliación del pago de la cuota de asociado y envíelas a AIDA. Aptdo. 727. 50080 Zaragoza.

El abajo firmante solicita su inscripción como miembro de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.

Apellidos ..... Nombre .....

Dirección postal .....

Teléfono .....

Profesión..... Empresa de trabajo .....

Área en que desarrolla su actividad profesional .....

CUOTA ANUAL: Firma.

❑ Sólo una Serie de ITEA { ❑ P. Animal / ❑ P. Vegetal } 4.000 ptas. ó 24 €

❑ Ambas Series 5.500 ptas. ó 33 €

FORMA DE PAGO:

❑ Cargo a cuenta corriente o libreta
❑ Cheque bancario

❑ Cargo a tarjeta
❑ VISA
❑ MASTERCARD

Tarjeta número:

□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ Fecha de caducidad: ..... / .....

SR. DIRECTOR DE .....

Muy Sr. mío:

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la cuenta cte./libreta n.°..... que matengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la "Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario".

Atentamente,

Firmado:

BANCO O CAJA DE AHORROS: .....

SUCURSAL: .....

DIRECCIÓN CALLE/PLAZA: ..... N.° .....

CÓDIGO POSTAL: .....

POBLACIÓN: .....

INFORMACIÓN PARA AUTORES

Tipo de artículos que pueden ser enviados para su consideración al Comité de Redacción: se admite todo aquel que contribuya al intercambio de información profesional y trate de los más recientes avances que existan en las distintas actividades agrarias.

Una *información para autores* más detallada puede ser solicitada al Comité de Redacción. Rogamos sea leída detenidamente, prestando atención especial a los siguientes puntos:

CONDICIONES GENERALES

Los artículos, en castellano, serán enviados por triplicado a:
Sr. Director de la Revista ITEA - Apartado 727 - 50080 ZARAGOZA

RECOMENDACIONES EN LA PREPARACIÓN DE LOS ORIGINALES

La extensión máxima será de 25 folios de texto mecanografiado a doble espacio, cuadros y figuras incluidos. Los artículos que superen dicha extensión serán considerados sólo excepcionalmente.

Los artículos se remitirán a dos evaluadores anónimos expertos en el tema y el autor recibirá un informe del Comité de Redacción con las correcciones de dichos evaluadores. Una vez realizadas las correcciones el autor enviará un sólo ejemplar mecanografiado y una copia en disquete, para agilizar el trabajo en imprenta. Si el Comité de Redacción considera que se han atendido las consideraciones del informe, enviará una carta de aceptación al remitente, y el artículo pasará de inmediato a imprenta.

Los autores recibirán un juego de las primeras pruebas de impresión que deberán ser revisadas y devueltas rápidamente a la Redacción. El retraso en el retorno de las pruebas determinará que el artículo sea publicado con las correcciones del Comité de Redacción.

El título no incluirá abreviaturas y será corto y preciso. En la misma página se incluirán los nombres completos de los autores, así como la dirección postal y nombre de la Entidad en donde se haya realizado el trabajo.

Se incluirá en primer lugar un resumen corto de 200-250 palabras y hasta seis palabras clave. Además, se añadirá un resumen en *inglés* de la misma extensión, sin olvidar el *título* traducido y las palabras clave (Keywords).

A continuación del resumen vendrá el artículo completo, procurando mantener una disposición lógica, considerando cuidadosamente la jerarquía de títulos, subtítulos y apartados.

Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías deben titularse todos *figuras*. Los *cuadros* y *figuras* deben llevar numeración diferente, pero ambos en cifras árabes.

Los pies o títulos de cuadros y figuras deben redactarse de modo que el sentido de éstos pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los títulos, pies y leyendas de los cuadros y figuras se traducirán al inglés y se incluirán en letra cursiva, bajo el correspondiente en español.

Los dibujos, gráficos, mapas, fotografías y diapositivas serán presentados en la mejor calidad posible.

En general se evitará el uso de abreviaturas poco conocidas, que en todo caso serán debidamente explicadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el *texto* las referencias deben hacerse mediante el apellido de los autores en mayúsculas seguido del año de publicación, todo entre paréntesis.

Al final del trabajo, y precedida de la mención *Referencias Bibliográficas*, se hará constar una lista alfabética de todas (y únicamente) las referencias utilizadas en el texto. En el caso de incluir varios trabajos del mismo autor se ordenarán cronológicamente.

Cuando se citen revistas[1], libros[2], capítulos de libro[3] y comunicaciones a congresos[4] se hará según los siguientes ejemplos:

(1) HERRERO J., TABUENCA M.C., 1966. Épocas de floración de variedades de hueso y pepita. An. Aula Dei, 8 (1), 154-167.

(2) STELL R.G.D., y TORRIE J.H., 1986. Bioestadística: principios y procedimientos (segunda edición) 622 pp. Ed. McGraw-Hill. México.

(3) GAMBORG O.L., 1984. Plant cell cultures: nutrition and media, pp. 18-26. En: Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants. Vol. 1, I.K. Vasil (Ed.), 825 pp. Ed. Academic Press, Orlando (EEUU).

(4) ANGEL I., 1972. The use of fasciculate form (determinate habit) in the breeding of new Hungarian pepper varieties. Third Eucarpia Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum, 17-24, Universidad de Turín (Italia).

ITEA

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

AÑO XXX (1999), Vol. 95V N.º 1

ÍNDICE

Página

E. CARCELÉN FERNÁNDEZ.- Comportamiento del frambueso en plantación experimental: producción y periodo productivo . . 7

M. ARRIAZA, P. RUIZ.- Determinación de indicadores de agricultores con renta agraria exclusiva en Andalucía 21

E. GUTIÉRREZ D.R., H. FRAGA P.- Comparación de respuestas de tres modelos de estabilidad aplicados a nueve genótipos de trigo (*Triticum Aestivum* L.) en cuatro ambientes de México. 31

M.J. BERENGUER MERELO, J.M. FACI GONZÁLEZ.- Respuesta del sorgo al déficit hídrico en invernadero, I. Fenología, consumo de agua en los procesos de evapotranspiración y transpiración, y rendimientos 41

M.J. BERENGUER MERELO, J.M. FACI GONZÁLEZ.- Respuesta del sorgo al déficit hídrico en invernadero, II. Características fisiológicas y morfológicas 67

A. CHAVES, J. FERNÁNDEZ LOZANO, J.C. LIMONGELLI, A. MUGRIDGE.- Conservación frigorífica de plantas de apio (*Apium Graveolens* L.) utilizando películas biodegradables y biodesintegrables. 93