ISSN: 1130-6017

ITEA

PRODUCCIÓN VEGETAL

Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

2002 – Vol. 98V N.º 1



I T E A

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

2002 - AÑO XXXIII Vol. 98V N.º 1	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Montañana, 176 - Apartado 727 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 576311 Fax.: 34-976 575501 E-mail: enotivol@aragob.es andreu@eead.csic.es cmmarin@aragob.es	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 1130-6017 INO Reproducciones, S.A. Polígono Miguel Servet, nave 13 50013 Zaragoza

COMITÉ DE REDACCIÓN

DIRECTOR: Eduardo Notivol Paíno
SUBDIRECTOR: Joaquín Uriarte Abad
EDITORES: Producción Vegetal: Pilar Andreu Puyal
Producción Animal: Clara Marín Alcalá
VOCALES: José Álvarez Álvarez
Rafael Delfa Belenguer
Joaquín Gómez Aparisi
Emilio Manrique Persiva
José Luis Alabart Álvarez
Juan A. Marín Velázquez
Azucena Gracia Royo
M.ª Dolores Quílez Sáez de Viteri
Marisol Arnedo Andrés
Pere Alberti Lasalle

JUNTA DIRECTIVA DE A.I.D.A.

PRESIDENTE: Leonardo Plana Claver
VICEPRESIDENTES: 1.º Ángel Ruiz Mantecón
2.º Rafael Socias i Company
SECRETARIO: José Álvarez Álvarez
TESORERO: Joaquín Uriarte Abad
VOCALES: Pere Alberti Lasalle
Ignacio Delgado Enguita
Clara Marín Alcalá
Joaquín Gómez Aparisi
Antonio Felipe Mansergas
Emilio Manrique Persiva
Rafael Delfa Belenguer

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 2002 se publicarán los volúmenes 98A y 98V correspondientes a las series Producción Animal y Producción Vegetal.

El precio de la suscripción para 2002 será de 27 € para una serie y de 36 € 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 2001

AUTOR Y TÍTULO	Rev. n.º	Pág.
O. ARQUERO, S. RODRÍGUEZ, B. CASADO, J. JIMÉNEZ, A. NAVARRO: *Estado actual del cultivo del almendro en Andalucía. Líneas de trabajo de la Dirección General de Investigación (Junta de Andalucía)*	97V-3	295
N. ARTEAGA, R. SOCIAS I COMPANY: *Heredabilidad de los caracteres de fruto y pepita en el almendro*	97V-3	265
F.J. BLEDA FERNÁNDEZ, R. MADRID VICENTE, A. GARCÍA LIDÓN, I. MATEO BERNAL, P. GÓMEZ LÓPEZ, I. PORRAS CASTILLO: *Fluorescencia de clorofila* in vivo *en patrones de cítricos y sus combinaciones bajo condiciones de estrés salino*	97V-1	52
P. CORTÉS: *Situación actual y perspectivas de la producción y el comercio de los frutos secos*	97V-3	205
J.F. COUCEIRO LÓPEZ, J. GUERRERO VILLASEÑOR: *Situación actual del cultivo del pistachero (*Pistacia vera *L.) en la región de Castilla-La Mancha*	97V-3	310
I. DELGADO ENGUITA, C. CARDESA PUYAL: *Caracterización precoz de la homogeneidad en variedades comerciales de veza común*	97V-1	73
F. DICENTA, J.A. CÁNOVAS, A. SOLER, V. BERENGUER: *Relación entre el sabor amargo de la almendra y la resistencia al gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis *L.)*	97V-3	289
F. DICENTA, E. ORTEGA, P. MARTÍNEZ-GÓMEZ, R. BOŠKOVIĆ, K.R. TOBUTT: *Descendientes homocigóticos* versus *heterocigóticos autocompatibles en un programa de mejora genética de almendro*	97V-3	233
F. DICENTA, M. RUBIO, M. GAMBÍN, P. MARTÍNEZ-GÓMEZ: *Resistencia al virus de la sharka (*plum pox potyvirus*) en almendro*	97V-3	260
R. DOMINGO MIGUEL, M.ªC. RUIZ SÁNCHEZ, P.A. NORTES TORTOSA, A. TORRECILLAS MELENDRERAS, A. PÉREZ PASTOR: *Respuesta productiva de albaricoqueros 'Búlida' al riego deficitario*	97V-2	123
P. ERREA, J.I. HORMAZA: *Selección de patrones de albaricoquero procedentes de plantaciones locales mediante el uso de microsatélites*	97V-2	134
J.L. ESPADA CARBÓ, M.T. ESPIAU RAMÍREZ: *Producción de semilla y exportación de nitrógeno por los frutos de algunos cultivares españoles de almendro*	97V-3	251
M.T. ESPIAU, J.M. ANSÓN, R. SOCIAS I COMPANY: *El banco de germoplasma de almendro de Zaragoza*	97V-3	246
A. J. FELIPE: *Una revisión sobre el material vegetal de almendro: la experiencia de una vida*	97V-3	151
M.ªÁ. FERNÁNDEZ, M.ªD. DE MIGUEL, P. CABALLERO: *La posición competitiva y las posibles modificaciones en la producción de la uva de mesa en Alicante*	97V-1	39
R. GIL ORTEGA, S. GRACIA: *Determinación del índice "asta" a partir de las coordenadas de color "cielab" en pimiento "agridulce"*	97V-2	118
A. GODINI: *La fertilidad del almendro y el papel de la autocompatibilidad*	97V-3	166

J. GÓMEZ APARISI, M. CARRERA, A.J. FELIPE, R. SOCIAS I COMPANY:
'Garnem', 'Monegro' y 'Felinem': nuevos patrones híbridos almendro x melocotonero resistentes a nematodos y de hoja roja para frutales de hueso 97V-3 282

B. IRÁIZOZ, M. RAPÚN, I. ZABALETA:
Eficiencia técnica y costes de producción en viticultura 97V-1 5

N. KASKA:
El cultivo del pistachero en el área mediterránea 97V-3 183

M.J. LEMA, M.C. SALINERO:
*Exploración nutricional del cultivo de kiwi (*actinidia deliciosa*) en el noroeste de España*. 97V-2 106

M. LÓPEZ, M. MNEJJA, M.A. ROMERO, F.J. VARGAS, I. BATLLE:
Diseño de cruzamientos en almendro para mejora por autocompatibilidad utilizando ribonucleasas estilares 97V-3 226

P. MARTÍNEZ-GÓMEZ, M. RUBIO, F. DICENTA:
Comportamiento in vivo *e* in vitro *de variedades de albaricoquero frente al plum pox potyvirus (sharka)* 97V-1 18

M.R. MORALES, S.A. CORDERO, M.C. CRESPO:
Selección de alfalfa "Tierra de Campos" para pastoreo y para siega incorporando identificación mediante homocigosis para un locus *isoenzimático* 97V-1 60

J.A. PEÑARANDA NÚÑEZ:
Descripción del sector de frutos secos en España y en particular del almendro 97V-3 211

A. ROMERO, J. TOUS, J. PLANA, M.D. GUARDIA, A. VALERO:
Cómo afecta la elección del cultivar de almendra a la aceptación de mazapanes y chocolates por parte de los consumidores 97V-3 273

M.A. SANZ, A. BLANCO, E. MONGE, J. VAL:
Caracterización de la deficiencia de calcio en plantas de tomate utilizando parámetros fisiológicos 97V-1 26

R. SOCIAS I COMPANY
Avances recientes en la autocompatibilidad del almendro 97V-3 215

R. SOCIAS I COMPANY
Mesa redonda 97V-3 198

F. SOLER, J.M. GIL, I. DÍEZ, M. SÁNCHEZ, A.I. SANJUÁN:
El sector productor de agricultura ecológica en Aragón: motivaciones y tipología 97V-2 89

J. TORMO
Perspectivas de la producción y del comercio de los frutos secos 97V-3 213

F.J. VARGAS, M.A. ROMERO, J. CLAVÉ, J. SANTOS, I. BATLLE, M. ROVIRA:
Cuajado en cruzamientos controlados de cultivares de almendro 97V-3 238

F.J. VARGAS, M.A. ROMERO, I. VARGAS:
Precocidad en la entrada en floración en familias de pistachero 97V-3 310

RELACIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN ITEA (PRODUCCIÓN ANIMAL) DURANTE 2001

AUTOR Y TÍTULO	Rev. n.º	Pág.
A. AGUILAR, A. LUÉVANO: *Situación actual de la cuenca lechera de la comarca Lagunera, México*	97A-1	47
L. ALFONSO, R. RUIZ, J.I. MUÑOZ, O. MORENO, B. SIMÓN: *Calidad de las canales producidas en explotaciones porcinas navarras*	97A-1	67
A. BARROSO, S. DUNNER, J. CAÑÓN: *Aplicaciones de las técnicas de la genética molecular para el estudio del polimorfismo genético de las proteínas lácteas de los rumiantes domésticos. Revisión*	97A-1	11
A. BERNUÉS, I CASASÚS, A. SANZ, E. MANRIQUE, R. REVILLA *Evaluación económica de diferentes estrategias de alimentación de la vaca y el ternero durante las fases de lactación y cebo en ganado vacuno de carne en sistemas extensivos de montaña*	97A-2	117
J.L. CAMPO, M.G. GIL, O. TORRES, S.G. DÁVILA: *Utilización de la asimetría fluctuante en mejora genética*	97A-1	5
B. DÍAZ, M. SERRANO, J.M. TORRES *Base genética de la resistencia-susceptibilidad a las encefalopatías espongiformes transmisibles en las especies bovina y ovina*	97A-2	131
R. LANDA, A.R. MANTECÓN, P. FRUTOS, A.B. RODRÍGUEZ, F.J. GIRÁLDEZ: *Efecto del tipo de cereal (cebada vs maíz) sobre la ingestión, la ganancia de peso y las características de la canal de corderos alimentados con pienso y paja o sólo con pienso.*	97A-3	204
A. LEGARRA, E. UGARTE: *Resultados de la aplicación de metodologías de extensión de lactaciones a 120 días en ovejas de la raza Latxa*	97A-2	104
G. LÓPEZ MARTÍNEZ, C. MARTÍNEZ GRACIÁ, G. ROS BERRUEZO, M.ª J. PERIAGO CASTÓN: *Evaluación del bienestar animal en mataderos y su relación con la calidad de la carne de bovino*	97A-3	165
E. MIGUÉLEZ ALIJA, J.M. ZUMALACÁRREGUI RODRÍGUEZ, M.Á. CHINCHETRU MANERO, J. MATEO OYAGÜE: *Estudio comparativo del despiece, disección y parámetros fisicoquímicos musculares de las canales de las razas –Churra, Castellana y Ojalada– amparadas por la Indicación Geográfica Protegida Lechazo de Castilla y León*	97A-3	151
L.M. OREGUI, M.V. BRAVO, D. GABIÑA: *Evolución anual del estado de carnes en ovino lechero explotado en régimen de trashumancia valle-monte, factores que lo afectan*	97A-1	29
A. PICOT CASTRO, J.A. AMIGOT LÁZARO: *Aspectos sanitarios de la producción y utilización de los residuos de ganado porcino. Legislación*	97A-3	180
F. VIDAL GIMÉNEZ, J.M. MURCIA DÍAZ: *Evaluación financiera de explotaciones acuícolas en España*	97A-2	89

ITEA (2002), Vol. 98V N.° 1, 5-10

COMPORTAMIENTO DE SIETE VARIEDADES DE PATATA (*Solanum tuberosum*, L) CON BAJOS RECURSOS EN UNA ZONA MONTAÑOSA DE CUBA

E. Lescay, L. Arias Basulto, A. Álvarez, C. Cordoví

Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", GP 2140 Bayamo, 85100 Granma, Cuba

RESUMEN

Con el objetivo de conocer el comportamiento del rendimiento y sus componentes se evaluaron siete variedades de patata (*Solanum tuberosum*, L) con bajos recursos en condiciones de montaña en Cuba. Se utilizó una terraza plana con una superficie de 677 m^2, sobre un suelo Fersialítico rojo y una altura de 900 metros sobre el nivel del mar. El área de las parcelas fue de 14 m^2 distribuidas en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Las variedades 'Chieftain', 'Mondial' y 'Picasso' mostraron rendimientos de 15,44; 15,25 y 14,78 t/ha, respectivamente. También se encontró relación positiva y significativa del rendimiento con el número y peso de los tubérculos comerciales por planta, con un coeficiente de determinación (r^2) de 92,4%.

Palabras clave: Patata, Alimento, Bajos recursos, Montaña.

SUMMARY
BEHAVIOR OF SEVEN POTATO VARIETIES (*Solanun tuberosum*, L) WITH LOW RESOURCES IN THE MOUNTAIN

With the purpose to know the behavior of yield and it's components seven potato varieties were evaluated with low resources in mountain conditions of Cuba. A plain terrace with 677 m^2 on red Fersialitic soil and altitude of 900 meter above sea level was used. The area of the plots was 14 m^2 distributed in random blocks with four repetitions. The 'Chieftain', 'Mondial' and 'Picasso' varieties showed yields of 15.44; 15.25 and 14.78 t/ha, respectively. Also a positive and significant relation of yield with the number and weigth of comercial tubers per plant was found with a determination coeffiecient (r^2) of 92.4%.

Key words: Potato, Food, Low resources, Mountain.

Introducción

La patata (*Solanum tuberosum*, L) se caracteriza por una extraordinaria adaptación a condiciones muy variadas de suelo y clima, por lo que es posible encontrarla en todos los continentes. Esta distribución es el resultado de las enormes diferencias que existen entre las variedades. Únicamente su sensibilidad a las heladas y el desarrollo deficiente del tubérculo, bajo temperaturas demasiado elevadas, limitan en cierto modo su siembra (López *et al.*, 1984).

En los últimos 30 años la producción de patata, en el mundo en desarrollo, se ha incrementado a un ritmo más rápido que cualquier otro cultivo, excepto el trigo, y se considera que los países en desarrollo producirán más de una tercera parte de la patata global a finales del siglo (Centro Internacional de la Papa, 1995).

Algunos países han logrado incrementar el potencial del rendimiento de un gran número de variedades a través de la introducción y evaluación de materiales foráneos, lo cual constituye un buen método para alcanzar resultados satisfactorios a corto plazo.

En Cuba ha sido muy empleado el método de introducción y selección de nuevas variedades procedentes de diferentes programas de mejora en el mundo, a los que han contribuido (ARZUAGA y ESTÉVEZ, 1979; CARRASCO y ZAMORA, 1980; MARTÍNEZ *et al.*, 1991).

Por la poca información del comportamiento de este cultivo en las montañas, es propósito de este trabajo dar a conocer algunos resultados que, aunque de forma preliminar, pueden contribuir como una alternativa más en la producción de esta especie en estas condiciones.

Materiales y métodos

La experiencia se realizó en áreas de la granja integral militar 309, en el municipio Guisa, provincia Granma. La siembra se realizó en una terraza plana, arada con bueyes sobre un suelo Fersialítico rojo, con buen drenaje superficial e interno y bajo contenido de materia orgánica, (Instituto de Suelo, 1995), a una altura aproximada de 900 metros sobre el nivel del mar.

Las variedades evaluadas fueron: 'Chieftain', 'Red Pontiac', 'Raja', 'Cosmos', 'Diamant', 'Mondial' y 'Picasso', importadas de Holanda. La plantación se realizó con tubérculos calibre II a un marco de 0,70 x 0,25 m, situando éstas en el fondo del surco de forma manual, el 19 de enero de 1996.

Se utilizaron parcelas de cuatro surcos con cinco metros de largo, para un área total de 14 m^2. El área de cálculo fueron los surcos centrales y la de borde los surcos exteriores de cada parcela. Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

El cultivo se desarrolló en condiciones de secano; no se aplicaron pesticidas ni fertilizantes, sólo se mantuvo libre de malezas, de forma manual, durante el período experimental.

Se evaluaron los siguientes parámetros:

- Altura de las plantas (cm).
- Número de tallos por planta.
- Area foliar (cm^2).
- Número de tubérculos comerciales por planta.
- Peso de tubérculos comerciales por planta (kg).
- Rendimiento comercial (t/ha).

Las evaluaciones del área foliar se determinaron a través de un planímetro digital Delta-T Devices.

El tamaño de la muestra experimental fue de 20 plantas tomadas al azar en el área de cálculo de cada parcela.

La normalidad de los datos se comprobó con la prueba de Kolmogorov- Smirnov. Se aplicó un análisis de varianza para un bloque al azar para cada uno de los parámetros evaluados, y análisis de regresión lineal

múltiple por el método de selección de variable paso a paso. La comparación múltiple de medias se realizó por la prueba de Duncan.

Los datos climáticos de la zona, durante el período experimental, aparecen reflejados en la figura 1 y en el cuadro 1.

Resultados y discusión

Según GUERRA (1983), la temperatura óptima para la formación y desarrollo de los tubérculos, en la mayoría de las variedades, está entre 15-20 °C y la luminosidad entre 9 y 11 horas de luz diaria, son las más favorables.

Cuadro 1. Distribución de las precipitaciones durante el período experimental
Table 1. Rainfall distribution during the experimental period

Fecha	Lluvias caídas (mm)	días después de la siembra	intervalos (días)
19-1-1996	7	siembra	–
20-1-1996	10	1	1
21-1-1996	18	2	1
4-2-1996	180	16	14
5-2-1996	126	17	1
6-2-1996	173	18	1
10-3-1996	37	50	32
13-3-1996	3	53	3
2-4-1996	65	73	20
10-4-1996	12	81	8
Σ	641		

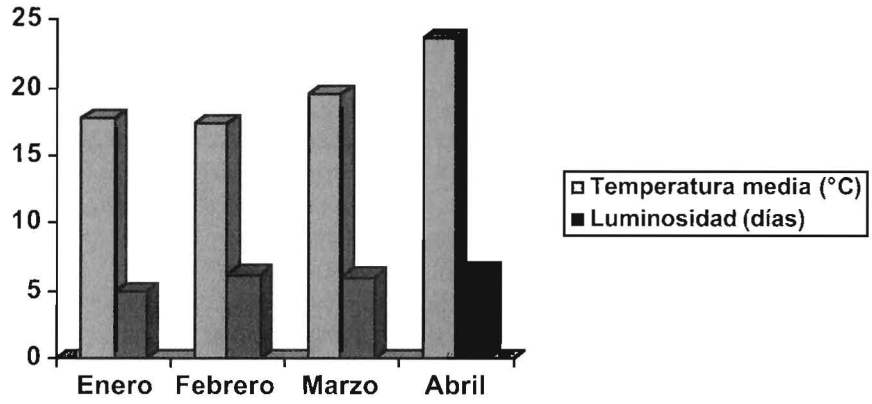


Figura 1. Temperatura media del aire y luminosidad durante el período experimental.
Figure 1. Air avarage temperature and sunlight during experimental period.

Nótese en la figura 1 como la temperatura estuvo en el rango óptimo del cultivo, sin embargo, la luminosidad permaneció muy por debajo de los requerimientos de esta especie.

También puede observarse que la ocurrencia de lluvias fue de forma irregular (cuadro 1), produciéndose déficit de humedad en el suelo en períodos tan importantes como el desarrollo vegetativo y la formación y desarrollo de los tubérculos. En tales condiciones climáticas se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro 2.

El análisis estadístico arrojó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las variedades en todas las variables evaluadas.

La altura de las plantas oscilaron entre 17,6 y 25,1 cm, correspondiéndole los mayores valores a las variedades 'Red pontiac', 'Chieftain' y 'Mondial', sin diferencias significativas entre ellas.

El comportamiento de esta variable no coincide con LÓPEZ *et al.* (1984),quienes plantearon que la altura de las plantas varían entre 0.40 y 1.00 m en dependencia de la variedad y las condiciones edafoclimáticas donde se desarrollen. La altura de la variedad 'Chieftain' fue mayor que la referida por CARRASCO y ZAMORA (1980), en condiciones del llano de la provincia Habana.

Con relación al número de tallos por planta, hubo un comportamiento similar, excepto la variedad 'Cosmos' que aunque no difiere de la variedad 'Picasso', fue superada significativamente por el resto de las variedades.

ESTÉVEZ *et al.* (1993), para las condiciones del llano, plantearon la brotación de numerosos tallos por planta en las variedades 'Diamant' y 'Red pontiac' y pocos tallos en las variedades 'Mondial' y 'Chieftain'. Los resultados aquí expuestos, no están en

Cuadro 2. Comportamiento del rendimiento y algunos de sus componentes en siete variedades de patata en condiciones de montaña

Table 2. Behavior of yield and it's components seven potato varieties in mountain conditions

Variedades	AP(cm)	NTP	AFP(cm^2)	NTCP	PTCP(kg)	RC(t/ha)
'Chieftain'	$23,9^{ab}$	$3,4^{a}$	$663,90^{a}$	$3,4^{ab}$	$0,270^{a}$	$15,44^{a}$
'Red pontiac'	$25,1^{a}$	$3,5^{a}$	$631,82^{ab}$	$3,7^{a}$	$0,223^{abc}$	$12,75^{ab}$
'Raja'	$21,2^{bcd}$	$3,0^{a}$	$245,05^{cd}$	$3,9^{a}$	$0,214^{abc}$	$12,24^{ab}$
'Mondial'	$22,4^{abc}$	$3,1^{a}$	$169,32^{d}$	$3,5^{ab}$	$0,267^{a}$	$15,25^{a}$
'Diamant'	$19,3^{cde}$	$3,3^{a}$	$358,10^{c}$	$4,1^{a}$	$0,182^{bc}$	$9,64^{b}$
'Cosmos'	$18,6^{de}$	$2,0^{b}$	$308,08^{c}$	$2,7^{b}$	$0,178^{c}$	$9,66^{b}$
'Picasso'	$17,6^{e}$	$2,7^{ab}$	$521,70^{b}$	$3,6^{a}$	$0,259^{ab}$	$14,78^{a}$
Esx	(1,13)	(0,28)	(0,38)	(0,27)	(0,03)	(1,17)

Medias con letras iguales no difieren significativamente para $P \leq 0,05$.
AP = Altura de las plantas; NTP= Número de tallos por planta; AFP = Área foliar por planta.
NTCP = Número de tubérculos comerciales por planta; NTCP = Peso de los tubérculos comerciales por planta; RC = Rendimiento comercial; Esx = Error standard.

correspondencia con lo planteado en el primer caso, pero sí existe relación con el segundo planteamiento.

Las variedades 'Red pontiac' y 'Chieftain' no mostraron diferencias estadísticas en relación al área foliar y superaron significativamente al resto de las variedades, aunque la primera no difirió de la 'Picasso'. La variedad 'Mondial' no mostró diferencia significativa con la variedad 'Raja', pero fue superada por las variedades 'Diamant' y 'Cosmos', que a su vez no difirieron entre ellas.

El área foliar en la variedad 'Red pontiac' fue superior a la reportada por QUINTERO (1978; 1979), el cual encontró áreas de 500 y 550 cm^2 para esta variedad, en estudios realizados durante dos años en condiciones del llano.

En cuanto al número de tubérculos comerciales por planta, las variedades mostraron un comportamiento similar, con valores entre 3,4 y 4,1 tubérculos como promedio. Sólo la variedad 'Cosmos' obtuvo 2,7 tubérculos por planta, sin diferencias significativas con 'Mondial' y 'Chieftain'.

El valor logrado por la variedad 'Diamant' (4,1 tubérculos por planta) resultó inferior a lo referido por CARRASCO *et al.*, (1985) quien planteó 6,7 tubérculos por planta en esta variedad, durante tres años de experimentación en la estación de patata y granos de provincia Habana.

En el peso de los tubérculos comerciales por planta, las variedades 'Chieftain', 'Mondial' y 'Picasso' superaron significativamente a la 'Cosmos', la cual expresó el menor valor. Las tres primeras sobrepasaron los 250 g por planta, sin diferencias significativas entre ellas. Tampoco mostraron diferencias significativas con las variedades 'Red pontiac' y 'Raja'.

El rendimiento comercial osciló entre 9,64 y 15,44 t/ha. Las variedades 'Diamant' y 'Cosmos', a las cuales correspondieron los valores más bajos, fueron superadas significativamente por las variedades 'Chieftain', 'Mondial' y 'Picasso', que a su vez no difirieron entre sí.

El rendimiento logrado por las variedades 'Chieftain', 'Mondial' y 'Picasso' coinciden con el nivel de producción de patata, en los países en desarrollo, que reportan rendimientos promedios de 15 t/ha (Centro Internacional de la Papa, 1995). Además superan los 13,3 t/ha expresados por el testigo en experimentos desarrollados por LEYVA y POLHAN (1995), en el cultivo de la patata con bajos recursos en condiciones del llano y los rendimientos promedios de la patata, en la agricultura Latinoamericana, que expresa un valor de 12,8 t/ha (FAO, 1995).

Cuadro 3. Regresión lineal múltiple por el método de selección de variables paso a paso
Table 3. Multiple linear regression based on the method stepwise for variables selection

Variable dependiente	Variables independientes	R	R^2	Ecuación
Y	$x_1\ x_2\ x_3\ x_4\ x_5$	0.9414*	0.9244	$Y=13.13 + 0.8341x_4 + 1.008x_5$

Y = Rendimiento comercial (T/ha); X_1 = Altura de las plantas (cm); X_2 = Número de tallos por planta; X_3 = Area foliar por planta (cm2); X_4 = Tubérculos comerciales por planta; X_5 = Peso de los tubérculos comerciales por planta (kg).

EL cuadro 3 sintetiza los resultados del análisis de regresión, donde se puede observar que el rendimiento resultó estar relacionado positiva y significativamente sólo con el número y peso de los tubérculos comerciales por planta, con un coeficiente de determinación (r^2) de 92,4%. Esto significa que el 92,4% del rendimiento fue responsabilidad de dichas variables.

Resultados similares fueron reportados por CARRASCO y ZAMORA (1986), MARTÍNEZ *et al.* (1991) y GONZÁLEZ *et al.* (1992), quienes encontraron relación positiva y significativa entre el rendimiento y las variables descritas anteriormente

Bibliografía

ARZUAGA J., ESTÉVEZ A., 1979. Comportamiento del rendimiento y algunos de sus componentes en un grupo de variedades de papa en su primer año de estudio con semilla nacional. II Seminario Científico del INCA. La Habana, 25-31.

CARRASCO A., ZAMORA N., 1980. Prueba de comportamiento de 14 variedades de papa (*Solanum tuberosum* L) en la campaña 1978-1979. Ciencia y Técnica en la Agricultura. 3(1): 71-81.

CARRASCO A., ZAMORA N., QUINTERO L., 1985. Estudio comparativo de siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) durante tres campañas de cultivo. Ciencia y Técnica de la Agricultura. 4(1): 91-102.

CARRASCO A., ZAMORA N., 1986. Estudio comparativo de 15 variedades e híbridos de papa (*Solanum tuberosum* L.) de diferentes procedencias en la campaña 1979- 1980. Ciencia y Técnica en la Agricultura 1(1): 23-40.

Centro Internacional de la Papa., 1995. Informe anual. Lima. 55 pp.

ESTÉVEZ, A., GONZÁLEZ M.E., ZAMORA N., 1993. Catálogo Cubano de variedades de papa. La Habana. 28 pp.

F.A.O. , 1995. Desarrollo Agropecuario. Serie Desarrollo Rural No. 9 . 4ta edición. Santiago de Chile. 98 pp.

GONZÁLEZ M.E., ESTÉVEZ A., IGLESIAS L., 1992. Evaluación de los componentes del rendimiento como criterio de selección en el mejoramiento de la papa (Solanum tuberosum L.) . Cultivos Tropicales. 13 (2-3): 135-139.

GUERRA J.P., 1983. Factores que afectan el desarrollo de la papa. II Curso intensivo sobre el cultivo de la papa. La Habana. 54-63.

Instituto de Suelos, 1995. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana. 58 pp.

LEYVA A., POLHAN J., 1995. Rotación vs: Monocultivo. El camino hacia la agricultura sostenible en Cuba. ITEA. 91v no.3: 157-163.

LÓPEZ M., VÁZQUEZ E., LÓPEZ R., 1984. Raíces y Tubérculos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 245-246.

MARTÍNEZ M., GONZÁLEZ M.E., ESTÉVEZ A., SIMÓN E., 1991. Relación del rendimiento y sus componentes en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) Cultivos tropicales. 12(3): 89-91.

QUINTERO E., 1978. Observaciones sobre el crecimiento y desarrollo de la papa en la Estación Experimental de Remedios. Centro Agrícola. 5(2): 27-37.

QUINTERO E.,1979. Respuesta del cultivo de la papa a la época de plantaciones. Centro Agrícola. 5(1): 53-63.

(Aceptado para publicación el 28 de noviembre de 2002)

ITEA (2002), Vol. 98V N.° 1, 11-32

APLICACIÓN DE LA GEOESTADÍSTICA A LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA Y LA PRECIPITACIÓN EN CASTILLA-LA MANCHA

J.A. de Juan, J.F. Ortega, J.M. Tarjuelo, F.J. Montero, R.J. Sajardo

Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario s/n, 02071 Albacete, España

RESUMEN

La evapotranspiración de referencia (ETo) es una variable climática que representa la demanda evaporativa de la atmósfera en un área definida. Al igual que la precipitación (P), la ETo es una variable importante a la hora de caracterizar climáticamente una región y, por otro lado, es uno de los componentes esenciales del ciclo hidrológico. La necesidad de llegar a conocer los valores de ETo y P, allí donde no existen estaciones meteorológicas, obliga a recurrir al uso de algunas de las técnicas de interpolación existentes. A partir de los datos registrados en una red de estaciones meteorológicas automatizadas y termopluviométricas, repartidas por la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, se ha calculado la ETo siguiendo el método empírico de Blaney-Criddle modificado por FAO. Los mapas regionales fueron dibujados usando la técnica probabilística de interpolación espacial conocida como Teoría de las Variables Regionalizadas (TVR) o Geoestadística, para lo que se contó de partida con los valores de ETo y P registrados en 164 estaciones meteorológicas. La variación espacial de ambas variables fueron descritas, mensual y anualmente, por medio de semivariogramas esféricos. Los mapas obtenidos mediante krigeado están en concordancia con las características climáticas generales de la región. La información generada es útil para identificar zonas susceptibles de manejos diferenciados del agua disponible durante la estación de riego.

Palabras clave: Geoestadística, Krigeado, Evapotranspiración de referencia, Precipitación, Mapeado.

SUMMARY

A GEOSTATISTICS APPROACH TO OPTIMIZE THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AND PRECIPITATION IN CASTILLA-LA MANCHA (SPAIN)

The reference evapotranspiration (ETo) is a climatic variable that tries to represent the evaporative demand of the atmosphere in a definite area. As well as precipitation (P), ETo is an important variable to consider within the climatic characteristics of a region, and one of the essential components of the hydrological cycle. The need of ETo and P values on sites where there are not meteorological stations, makes necessary the use of spatial interpolation techniques. Based on data supplied by a network of an automatic and standardised meteorological stations, located in the Spanish region of Castilla-La Mancha, ETo is calculated using the Blaney-Criddle USDA-FAO method. Regional

maps are drawn using the probabilistic technique of spatial interpolation known as Theory of the Regionalised Variables or Geostatistics. Values of ETo and P were available at the 164 locations. The spatial variation of both variables are satisfactory described: monthly and annual, by spherical semivariograms. The maps obtained by kriging are in agreement with the general climatic characteristics of the zone. They also permit identifying susceptible zones of individual management during the irrigation season.

Key words: Geostatistics, Kriging, Reference evapotranspiration, Precipitation, Mapping.

Introducción

La correcta estimación de los valores de ETo tiene una especial importancia, puesto que es un elemento fundamental para determinar el uso eficiente de los limitados recursos naturales disponibles en muchas regiones, especialmente en las zonas semiáridas. Su conocimiento es imprescindible para poder llevar a cabo una explotación racional de los escasos recursos hídricos y dar solución a múltiples problemas ambientales de estas áreas (p.e., salinización o erosión de los suelos). La naturaleza cambiante de la demanda evaporativa de la atmósfera tiene lugar en todas las direcciones del espacio. Su conocimiento preciso es de importancia vital en el desarrollo de una agricultura sostenible y para un funcionamiento efectivo de los sistemas de suministro de agua en aquellas zonas geográficas donde la producción agrícola es el primer usuario del agua. A escala regional, entre algunas decenas y algunos cientos de kilómetros, la aplicación de los principios físicos que rigen la transferencia líquido-vapor en la interfase del sistema suelo-planta-atmósfera es complicado, por la heterogeneidad natural de los suelos y de la cubierta vegetal, de sus formas y de sus usos. Debido a esta diversidad, la variabilidad espacial de la ETo, cuya importancia se ha demostrado en infinidad de ocasiones, es muy difícil de medir o predecir (CUCHI *et al.*, 1991). De aquí que sea necesario usar mecanismos de interpolación, los más adecuados posibles, como uno de los caminos viables para elaborar los mapas de distribución espacial de la evapotranspiración. Existen diferentes métodos de interpolación (HASHMI y GARCÍA, 1994); la mayoría de los mismos ponderan los valores disponibles arbitrariamente, sin considerar los aspectos físicos del problema y, en general, sin proporcionar ninguna indicación sobre la precisión de los resultados (DELHOMME, 1978).

A pesar de que existen numerosos métodos para la estimación y la medida directa o indirecta de la evapotranspiración (DE JUAN y MARTÍN DE SANTA OLALLA, 1993 a,b), son muy pocos los que pueden utilizarse en los estudios realizados a escala regional. Los métodos micrometeorológicos de medida directa de la ET (ecuación del balance de energía, flujos turbulentos, etc.), basados en modelos físicos, presentan ciertos inconvenientes en su aplicación a escala regional: elevado coste de los equipos utilizados y de su mantenimiento, gran especialización para el manejo y mantenimiento de los equipos, necesidad de uniformidad, falta de flexibilidad y de alcance horizontal superficial, o de hipótesis físicas generales (CUCHI *et al.*, 1991). El uso de técnicas de teledetección y de sistemas de información geográfica en el manejo de zonas regables está experimentando un fuerte auge en los últimos años (MENENTI, 1990; WOLTERS *et al.*, 1991). La temperatura superficial es una

variable relacionada con la ET de la cubierta vegetal, por lo que la capacidad de satélites (Landsat-TM, NOAA-AVHRR) para obtener información de la superficie terrestre en el espectro del infrarrojo térmico ofrece la posibilidad de generar mapas de evapotranspiración, temperatura y de los flujos superficiales de grandes áreas (MEDINA *et al.*, 1998; RECA *et al.*, 1999). Sin embargo, el principal inconveniente de las técnicas basadas en la teledetección radica en la dificultad de relacionar sus medidas con las realizadas en superficie. El método de estimación elegido es el de FAO Blaney-Criddle, ya que es el que mejor se adapta a estimaciones mensuales de ETo.

Con el fin de precisar la variación espacial MATHERON (1963, 1971) y sus colaboradores elaboraron un cuerpo de teoría coherente, conocido como: "Teoría de las Variables Regionalizadas (TVR)". Una variable distribuida en el espacio de forma que presenta una estructura espacial de correlación se dice que está regionalizada. Es muy frecuente observar en una variable regionalizada dos aspectos complementarios y aparentemente contradictorios: 1) un aspecto aleatorio asociado con las variaciones erráticas de la variable, y 2) un aspecto general estructurado que refleja en cierta forma las características globales de variación del fenómeno regionalizado. Las variables regionalizadas son continuas espacialmente, pero las variaciones erráticas impiden su tratamiento o descripción mediante funciones deterministas ordinarias (DAVIS, 1986). La Geostadística es la aplicación de la Teoría de las Variables Regionalizadas a la estimación de procesos o fenómenos en el espacio, e incluye una serie de técnicas que tienen en cuenta la naturaleza estructural y la aleatoriedad de las variables espacio-dependientes, su distribución espacial, los puntos muestrales y la unicidad de la observación (JOURNEL y HUIJBREGTS, 1978).

La estimación que se emplea en Geoestadística es conocida, en términos generales, como krigeado. En su forma más sencilla, el krigeado estima un parámetro en un lugar no muestreado como una media ponderada de datos obtenidos en otros lugares muestreados. Con un tamaño muestral suficiente y una distribución espacial de la variable de interés, la técnica geostadística univariante de interpolación del krigeado permite obtener estimas no sesgadas de las mismas, con un término de error, llamado error de estimación o varianza de krigeado, mínimo. Frente a otros métodos empíricos de interpolación, el krigeado tiene las siguientes ventajas (JOURNEL y HUIJBREGTS, 1978; MARTÍNEZ-COB *et al.*, 1992): 1) los pesos de ponderación dados a los valores medidos no son arbitrarios sino que dependen de la variabilidad espacial descrita con el semivariograma, expresión matemática de la forma en la que la varianza de una variable cambia cuando la distancia y dirección que separan dos puntos varía; 2) el krigeado es un método exacto, es decir, la interpolación de la variable en un punto de medida devuelve el valor de la variable en ese punto con un error de estimación nulo; y 3) el krigeado permite determinar cuál es la incertidumbre de las estimas realizadas.

Los métodos geoestadísticos se pueden aplicar adecuadamente a las ciencias de la tierra para estudiar continuidad espacial de diversas variables. Así existen numerosos ejemplos de aplicación de métodos geoestadísticos a las ciencias del suelo: estimación de algunas de sus propiedades y características (BURGESS y WEBSTER, 1980; MCBRATNEY *et al.*, 1982; ANLAUF *et al.*, 1987; PAZ *et al.*, 1996), estrategias de diseño experimental (GASCUEL-ODOUX *et al.*,1993; LÓPEZ y ARRUE; 1995), optimización de manejo

del suelo a escala de una explotación agrícola (CART *et al.*, 1991; SCHUELLER, 1992). Estos métodos también se han aplicado en prospecciones de cuencas mineras, alumbramientos de agua, predicción de aguaceros, riesgos atmosféricos, etc. (SAMPER y CARRERA, 1990). Autores norteamericanos, como CUENCA y AMEGEE (1987) y NUSS (1989) en EE.UU., y españoles, como FACI *et al.* (1990), CUCHI *et al.* (1991) y MARTÍNEZ-COB y FACI (1994), han aplicado la geoestadística univariante con resultados satisfactorios en estudios regionales de evapotranspiración. HEVESI *et al.* (1992 a,b), PHILIPS *et al.* (1992) y MARTÍNEZ-COB (1995) hicieron lo mismo en estudios regionales de la precipitación en Nevada (EE.UU.) y Aragón (España), respectivamente. SOUZA y SANTOS PEREIRA (1999) recurrieron a la técnica del krigeado para poder analizar la variación regional de las necesidades de agua de riego del cultivo de la patata en la región de Trás-os-Montes (Portugal).

En este trabajo, los autores se han propuesto analizar espacialmente y modelizar la precipitación y la ETo, tanto mensual como anual, de Castilla-La Mancha (España) mediante una simple aproximación de la geoestadística univariante. La geoestadística proporcionará unas estimas de estas variables que no tienen sesgo y donde los errores de estimación serán minimizados. Además, se averiguará la incertidumbre, para así ver las zonas en que la estimación es más fiable, haciendo mínimos los posibles errores o anomalías. De esta manera se permite una mayor distinción de la estructura espacial y, llegado el caso, una delimitación por zonas susceptibles de recibir un trato particularizado en lo que se refiere a la asignación de los recursos hídricos disponibles y al manejo del riego en la explotación agrícola.

Material y métodos

Breve descripción de la zona de estudio

El área elegida para este estudio es la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, la tercera región más extensa de España. Está situada en la Submeseta Sur de la Península Ibérica. Sus coordenadas geográficas son: 38°01'-41°20' N y 0°55'-5°24' W. Se extiende sobre una superficie de 79.461 km^2 y representa el 15,7% de la superficie geográfica española y el 2,17% del territorio de la Unión Europea. Tradicionalmente, se ha considerado la Submeseta Sur como un espacio llano; sin embargo, la horizontalidad del paisaje no es total. Las dos terceras partes del territorio están por encima de los 600 m de altura sobre el nivel del mar, mientras que no hay ninguna zona que se encuentre situada a menos de 200 m de elevación; 9.968 km^2 (12,54%) se encuentran entre 201 y 600 m y 16326 km^2 (20,55%) entre 1.001 y 2.000 m sobre el nivel del mar. Es un espacio en el que predominan las altas llanuras, con amplios horizontes, pero también se diferencian áreas montañosas más elevadas, con una situación casi siempre periférica: 1) estribaciones del Sistema Central, la Sierra de San Vicente y la Sierra de Ayllón situadas al SO y NO del mismo; 2) el Sistema Ibérico castellano, en las provincias de Guadalajara y Cuenca; y las Sierras de Alcaraz y del Segura al Sur, en la provincia de Albacete. También, se localizan áreas montañosas en el interior de la región, como las alineaciones de los Montes de Toledo, en las provincias de Toledo y Ciudad Real. La consideración de estos elementos, junto con el zócalo antiguo al Oeste y las depresiones del Tajo y Guadiana en el centro, permite deducir que la geografía física castellano-manchega es un hecho de significativa importancia, sin cuya consideración no es

posible explicar la diversidad agraria. Las características del clima de Castilla-La Mancha, en su conjunto, pueden ser definidas como propias de un clima mediterráneo, con degradación continental, con contrastes térmicos notables, diarios y estacionales, y con una distribución estacional desequilibrada de las escasas lluvias. El clima, a su vez, como en cualquier espacio, está definido por determinados factores que contribuyen a su diversificación, como la extensión superficial de la región y su posición interior, alejada de las influencias marinas. La acentuación de los efectos térmicos en las plataformas elevadas crea unas condiciones de continentalidad manifestada en la distribución anual de las temperaturas, con fuertes contrastes entre el verano y el invierno, consecuencia del recalentamiento y enfriamiento de la tierra. Estos factores se refuerzan por la elevada altitud y con la disposición periférica de los relieves más altos. En efecto, los relieves montañosos influyen en el trayecto de las borrascas que afectan al espacio castellano-manchego. Así, el Sistema Central constituye una barrera para los vientos procedentes del NO y el Sistema Ibérico también lo es con los vientos fríos invernales del NE. En cambio, las frecuentes borrascas del SO encuentran menos barreras hacia el interior de la Península Ibérica; Sierra Morena y los Montes de Toledo, con menos alturas y menos continuas espacialmente, permiten el paso de las borrascas en las estaciones equinocciales.

En cuanto a la estructura productiva, el sector primario castellano-manchego constituye el modo de vida de la mayor parte de sus habitantes; la superficie cultivada es de 4.027.300 ha, es decir, el 53,1% del territorio de Castilla-La Mancha, sobresaliendo los cultivos extensivos de secano, tales como los cereales de invierno, la viña, el girasol, el olivo y las leguminosas de grano. Por otra parte, el 12% del terreno forestal de España se encuentra en esta región. Junto a las características topográficas para el aprovechamiento agrícola actual del espacio agrario en Castilla-La Mancha, es factor fundamental la existencia de acuíferos con importantes reservas de aguas subterráneas, que en su mayor parte se ha infiltrado por las fisuras de las rocas calizas. A pesar de que en Castilla-La Mancha se dan estas condiciones favorables y de que en la región es cabecera de importantes ríos de la Península, entre los que destacan el Tajo, el Guadiana, el Júcar y el Segura, los recursos hídricos regionales representan el problema más serio de este territorio: intensas y prolongadas sequías, sobreexplotación y contaminación de los acuíferos, escasa disponibilidad de aguas superficiales, etc.

Se han utilizado los datos climáticos de 164 estaciones climáticas distribuidas por las cinco provincias de Castilla-La Mancha, correspondientes al año medio.

Método de estimación de ETo

La disponibilidad de redes de estaciones automatizadas y termopluviométricas repartidas por grandes superficies (Sistemas Hidrológicos, Cuencas Hidrográficas, regiones naturales, etc.) permite estimar la evapotranspiración de referencia a nivel regional recurriendo a métodos que básicamente son modelos climáticos empíricos (DE JUAN y MARTÍN DE SANTA OLALLA, 1993a) y poder llevar a cabo estudios agroclimáticos o hidrológicos a gran escala. En este caso se ha optado por el método de FAO Blaney-Criddle, ya que es un método sencillo y se basa en parámetros conocido.

En este estudio, se ha recurrido al concepto de evapotranspiración de referencia

que desarrollaron DOORENBOS y PRUITT (1977) para la FAO, tomando como cultivo de referencia las gramíneas. Esta se define como la tasa de evaporación de una superficie extensa de gramíneas en crecimiento activo, de una altura uniforme, de 8 a 15 cm, que cubre completamente el suelo, no sufre ataques de plagas y enfermedades, óptimamente fertilizada y sin restricciones hídricas. Entre todos los métodos existentes para el cálculo de la ETo, los de combinación que incluyen un término de radiación y un térmico aerodinámico, tales como el de Penman y sus modificaciones, son los más universalmente aceptados y los que teóricamente dan los resultados más adecuados. Sin embargo, estos métodos tienen el inconveniente de que necesitan estaciones agroclimáticas "completas", es decir, provistas de sensores de temperatura y humedad relativa del aire, radiación y recorrido del viento para poder medir un gran número de variables climáticas incluidas en sus expresiones matemáticas. Dado que las estaciones de este tipo en Castilla-La Mancha son poco numerosas (tan sólo 5), se ha optado por usar el método de Blaney-Criddle modificado por FAO (DOORENBOS y PRUITT, 1977). Este método tiene gran interés por estar basado principalmente en la temperatura, ya que son ésta y la precipitación las variables normalmente medidas en la red de estaciones agroclimáticas. Por otra parte, numerosos autores han comprobado la fiabilidad y la exactitud de este método para la estimación de la Eto a nivel mensual, frente a valores medidos en lisímetros (ALLEN y PRUITT, 1986), lo que ha aumentado considerablemente su aceptación. La comparación de este método con los lisímetros indican la conveniencia de utilizar un factor de calibración local para aumentar la precisión de las estimas de este método. El método ha sido utilizado por CUENCA y AMEGEE (1987), CUCHI *et al.* (1991), MARTÍNEZ-COB y CUENCA (1992) y MARTÍNEZ-COB y FACI (1994) en sus análisis geoestadísticos de la variabilidad espacial de la ETo.

El modelo modificado de Blaney-Criddle recomienda realizar un ajuste del 10% por cada 1.000 m de aumento de altitud sobre el nivel del mar. Este ajuste afecta significativamente a las estimaciones de ETo calculadas por el método de Blaney-Criddle modificado por FAO en localidades de elevada altitud. ALLEN y PRUITT (1986) incluyen una expresión para considerar la altitud de la estación agroclimática sobre el nivel del mar:

$$ETo = [a + bp(0{,}46T + 8{,}13)] (1+E/10^4) \quad [1]$$

donde:

E = elevación sobre el nivel del mar del lugar de la estación agroclimática, en m.

T = temperatura media del aire mensual, C°.

a y b = coeficientes de calibración locales.

P = porcentaje medio diario de la insolación real anual.

Análisis geoestadístico

El análisis geoestadísco efectuado en este estudio incluye los siguientes pasos (JOURNEL y HUIJBREGTS, 1978): 1) modelización y validación de los semivariogramas; 2) krigeado; y 3) elaboración de mapas de isolíneas de las estimas. Estas etapas, que coinciden en aceptar numerosos autores, se encuentran descritas más ampliamente (OLEA, 1984; ISAAKS y SRIVASTAVA, 1989; SAMPER y CARRERA, 1990). El objetivo del análisis geoestadístico es el estudio de la variabilidad espacial, tanto de la precipitación como de la ETo.

El modo de escoger y ajustar un semivariograma teórico al muestral es algo que depende mucho de la experiencia del usua-

rio. La determinación de los modelos de semivariogramas más adecuados y de sus parámetros (alcance, meseta, efecto pepita) se llevó a cabo mediante ajuste visual y validación simultánea de la consistencia de los modelos con la técnica denominada validación cruzada de máxima verisimilitud (SAMPER y CARRERA, 1990), que permite modificar en caso necesario los parámetros iniciales por un procedimiento de ensayo y error. Esta técnica consiste en eliminar un punto muestral y volver a estimarlo a partir de los restantes valores muestrales por krigeado. Este proceso se efectúa con todos los puntos sucesivamente. La consistencia de los modelos de semivariogramas se comprueba comparando los errores de validación (errores observados) con los errores de krigeado (errores estimados), de modo que se satisfagan los siguientes criterios estadísticos (COOPER e ISTOK, 1988; SAMPER y CARRERA, 1990):

- La media de los errores observados (ME) debera ser próxima a cero. Los valores krigeados son insesgados independientemente del modelo de semivariograma utilizado.
- Mínimo error cuadrático medio.
- Error cuadrático medio adimensional (ECMA) próximo a uno.
- Mínimo valor medio de las varianzas de krigeado.
- Valor medio de las varianzas de krigeado igual a la varianza muestral de los errores de validación.
- Ausencia de correlación entre los valores estimados y los residuos.
- La ausencia de sesgo exige que la pendiente de la recta de regresión entre los valores muestrales y los estimados no difieran significativamente de la desviación estándar (s) y pase por el origen.

La consistencia entre los errores o valores residuales y las desviaciones estándar que proporciona el krigeado exige que la distribución de frecuencias de los errores normalizados se ajuste a la normal y que no presenten autocorrelación. En otras palabras, la media de los errores normalizados deben seguir una distribución de Gauss con media nula y desviación estándar igual a uno.

En este trabajo, se ha utilizado un paquete informático de geoestadística para la modelización de los semivariogramas y la estimación del krigeado (ENGLUND y SPARKS, 1991). El ajuste de los modelos matemáticos a los semivariogramas experimentales ha sido ejecutado mediante la técnica de regresión no lineal de acuerdo con el procedimiento SPSS-X. Finalmente, los mapas de isolíneas de las estimas mensuales y anuales de ETo y P, y de sus desviaciones estándar de krigeado han sido elaborados por medio del programa informático comercial SURFER (Golden Software Inc., Golden, CO, USA).

Resultados y discusión

Datos estadísticos generales

El cuadro 1 muestra los valores de la media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de la precipitación y evapotranspiración de referencia del territorio objeto de estudio. Estos estadísticos de posición y dispersión se han calculado para cada uno de los meses incluidos en el período de actividad vegetativa o estación de crecimiento y para el año medio de cada uno de las cinco provincias de Castilla-La Mancha.

Respecto a la evapotranspiración de referencia, se aprecia en el cuadro 1 oscilando entre los diferentes meses de los valores

Cuadro 1. Variación temporal de la evapotranspiración de referencia diaria (mm d^{-1}) y precipitación acumulada (mm) en Castilla-La Mancha

Table 1. Temporal variation of daily reference ET (mm d^{-1}) and accumulated precipitation in Castilla-La Mancha (mm)

	Precipitación				Referencia ET (ETo)			
Mes	Media mm	Varianza (s^2) $(mm)^2$	SD (s) mm	CV %	Media mm d^{-1}	Varianza (s^2) $(mm)^2$	SD (s) mm d^{-1}	CV %
a) Provincia de Albacete			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 36					
Marzo	38,3	226,19	15,04	39,24	2,25	0,04	0,21	9,31
Abril	46,7	253,66	15,93	34,09	3,02	0,07	0,26	8,59
Mayo	44,6	178,04	13,34	29,92	4,25	0,11	0,34	7,96
Junio	31,7	60,11	7,75	24,43	6,11	0,14	0,37	6,05
Julio	12,7	27,12	5,21	40,91	7,25	0,14	0,37	5,12
Agosto	16,5	26,51	5,15	31,05	6,32	0,22	0,47	7,47
Septiembre	32,1	61,83	7,86	24,48	4,27	0,07	0,26	6,01
Octubre	44,9	95,28	9,76	21,70	2,47	0,19	0,43	17,52
Anual	433,8	16.855,18	129,83	29,92	1.204,31*	7.049,09	83,96	6,97
b) Provincia de Ciudad Real			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 41					
Marzo	32,2	195,03	13,97	43,28	2,01	0,02	0,16	7,77
Abril	52,8	93,61	9,68	18,33	2,70	0,03	0,17	6,40
Mayo	44,5	78,21	8,84	19,85	3,98	0,06	0,25	6,19
Junio	28,9	69,4	8,33	28,76	5,93	0,07	0,27	4,53
Julio	10,9	120,08	10,96	100,51	7,08	0,09	0,31	4,35
Agosto	9,6	189,35	13,76	143,14	6,32	0,08	0,28	4,40
Septiembre	25,9	94,94	9,74	37,51	4,19	0,04	0,20	4,84
Octubre	47,1	72,02	8,49	17,98	2,32	0,10	0,31	13,55
Anual	460,5	9.625,34	98,11	21,3	1.139,29*	2.902,71	53,88	4,73
c) Provincia de Cuenca			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 39					
Marzo	48,4	488,05	22,09	45,62	1,87	0,08	0,28	15,12
Abril	58,4	172,33	13,13	22,48	2,53	0,08	0,28	11,23
Mayo	59,3	265,98	16,31	27,50	3,66	0,12	0,35	9,63
Junio	46,5	221,19	14,87	31,98	5,59	0,19	0,44	7,81
Julio	16,0	85,8	9,26	58	6,98	0,20	0,45	6,42
Agosto	20,1	40,97	6,4	31,84	6,25	0,16	0,40	6,42
Septiembre	39,0	151,09	12,29	31,50	4,13	0,09	0,30	7,35
Octubre	59,2	331,33	18,20	30,76	2,07	0,10	0,31	15,01
Anual	588,9	28.963,12	170,19	28,9	1.083,54*	8.859,66	94,13	8,69

Cuadro 1 (continuación)

Mes	Precipitación				Referencia ET (ETo)			
	Media mm	Varianza (s^2) $(mm)^2$	SD (s) mm	CV %	Media mm d^{-1}	Varianza (s^2) $(mm)^2$	SD (s) mm d^{-1}	CV %
d) Provincia de Guadalajara			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 21					
Marzo	45,2	337,04	18,36	40,65	1,65	0,15	0,39	23,36
Abril	59,7	149,49	12,23	20,50	2,33	0,16	0,40	16,97
Mayo	63,5	237,36	15,41	24,26	3,57	0,26	0,51	14,24
Junio	50,4	190,37	13,80	27,37	5,21	0,37	0,61	11,67
Julio	21,6	44,73	6,69	31,03	6,61	0,39	0,62	9,42
Agosto	18,4	44,52	6,67	36,29	5,92	0,37	0,60	10,21
Septiembre	37,9	135,51	11,64	30,71	3,80	0,19	0,44	11,53
Octubre	53,1	152,55	12,35	23,25	2,12	0,25	0,50	23,37
Anual	577,9	19.912,93	141,11	24,42	1.010,94*	19.607,77	140,03	13,85
e) Provincia de Toledo			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 27					
Marzo	33,3	212,22	14,57	43,81	2,12	0,02	0,15	7,29
Abril	48,0	126,60	11,25	23,46	2,93	0,03	0,17	5,86
Mayo	44,2	93,14	9,65	21,82	4,26	0,04	0,20	4,67
Junio	27,6	30,01	5,48	19,83	6,26	0,06	0,25	3,95
Julio	8,6	11,08	3,33	38,52	7,49	0,08	0,28	3,73
Agosto	9,8	13,82	3,72	38,03	6,69	0,07	0,27	4,07
Septiembre	27,8	46,13	6,79	24,41	4,43	0,04	0,21	4,67
Octubre	45,0	150,27	12,26	27,24	2,46	0,15	0,39	15,79
Anual	447,0	13.368,78	115,62	25,86	1.209,21*	3.125,08	55,90	4,62
f) Castilla-La Mancha			Número de estaciones meteorológicas y agroclimáticas: 164					
Marzo	39,2	329,34	18,15	46,26	2,00	0,09	0,30	15,16
Abril	52,8	182,39	13,51	25,57	2,72	0,12	0,35	12,71
Mayo	50,7	227,58	15,09	29,76	3,95	0,18	0,43	10,76
Junio	36,8	190,82	13,81	38,08	5,85	0,26	0,51	8,70
Julio	13,5	78,10	8,84	65,47	7,10	0,22	0,47	6,67
Agosto	14,8	89,4	9,46	63,95	6,31	0,20	0,45	7,18
Septiembre	32,3	124,02	11,14	34,52	4,18	0,11	0,33	7,82
Octubre	50,0	191,80	13,85	27,72	2,29	0,17	0,41	17,88
Anual	498,0	21.800,43	147,65	29,65	1.135,38*	11.789,89	108,58	9,56

SD = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación; (*): ETo anual, mm.

medios diarios; los valores son bajos en el inicio de la estación de crecimiento (mínimo, 1,7 mm d^{-1}) y altos en la media estación (máximo, 7,5 mm d^{-1}), para posteriormente decrecer hasta alcanzar cifras de 2,1 a 2,5 mm d^{-1} al final del período considerado. Los valores medios diarios de julio (mes de máxima demanda evaporativa de la atmósfera) y los totales anuales varían desde 6,6 mm d^{-1} (provincia de Guadalajara) hasta 7,5 mm d^{-1} (provincia de Toledo) y desde 1.011,0 mm (provincia de Guadalajara) hasta 1.204,3 (provincia de Albacete), repectivamente. En la región, estos valores son, respectivamente, 7,1 mm d^{-1} y 1.135,0 mm. Si se exceptúan las provincias de Cuenca y, sobretodo, Guadalajara, las diferencias mensuales de los valores del coeficiente de variación son mínimas. Este estadístico varía desde el 4,1% (en Toledo) hasta el 23,4% (en Guadalajara), correspondiendo los valores mayores a los meses iniciales y finales de la estación de crecimiento y los inferiores a los meses del verano, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos en otros estudios similares (MARTÍNEZ-COB *et al.*, 1992). A nivel regional, durante los meses veraniegos, el clima representa la menor variabilidad como lo demuestran los bajos valores calculados del coeficiente de variación, entre 6,67 y 8,70%. Los valores de las medidas de dispersión son superiores en las provincias de Cuenca y Guadalajara que en el resto del ámbito regional, lo que pone de manifiesto una mayor variabilidad en los dos niveles analizados, mensual y anual. Una parte importante de la geografía de ambas provincias está ocupada por valles, con diferentes orientaciones y altitudes sobre el nivel del mar, pertenecientes al Sistema Central y, sobre todo, al Sistema Ibérico castellano.

Las precipitaciones anuales en Castilla-La Mancha se caracterizan por alcanzar valores medios relativamente escasos (cuadro 1), entre 433,9 mm (provincia de Albacete) y 588,9 (provincia de Cuenca), con un valor medio regional de 498,0 mm, siendo más frecuentes las precipitaciones cercanas al límite inferior del intervalo. Las lluvias, además de ser escasas, se reparten desigualmente a lo largo de la estación de crecimiento, siguiendo un esquema propio de climas templados mediterráneos. El verano destaca como la estación más seca; en julio, las precipitaciones acumuladas oscilan entre 8,64 mm (provincia de Toledo) y 21,5 (provincia de Guadalajara), con un valor medio de 13,5 mm para la región. Por el contrario, son el otoño y la primavera las estaciones más lluviosas (junto con el invierno), como consecuencia de los tipos de tiempo de oeste. Los estadísticos de dispersión obtenidos con las precipitaciones fueron mayores que los de ETo en todos los niveles de estudio. El análisis de la variación temporal de la precipitación muestra como, mensualmente, el coeficiente de variación oscila desde un mínimo del 17,9% hasta un máximo del 143,1%; anualmente, la variación es desde el 23,3% hasta el 30,3% respectivamente. También, los valores del coeficiente de variación son superiores en los meses de verano, cuando la ETo alcanza los mayores valores.

Análisis de la estructura espacial de la ETo y de la precipitación castellano-manchega

El modelo esférico es el que mejor se adapta a los semivariogramas, además de haberse aplicado satisfactoriamente en estudios previos de la variabilidad de ETo (CUENCA y AMEGEE, 1987; NUSS, 1989; CUCHI *et al.*, 1991; MARTÍNEZ-COB y CUENCA, 1992).

Los semivariogramas experimentales de los valores de ETo medidos en el área de

estudio se ajustaron para ser representados por una función espacial de tipo esférico (DAVID, 1977; JOURNEL y HUIJBREGTS, 1978), cuya ecuación viene dada por:

$$\gamma^*(h) = S/2\ [\ 3\ (h/a) - (h/a)3\ ]\quad 0 \le h \le a$$

$$\gamma^*(h) = S \qquad h > a \qquad [2]$$

donde: $\gamma^*(h)$ = semivariograma estimado para el alcance h; S = meseta (efecto pepita + componente estructural); h = distancia entre los puntos de registro de los datos (lag); y a = alcance. La pendiente en el origen es igual a 1,5 S/a y la distancia integral λ viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{1}{S}\int_0^a S\left[1 - \frac{3}{2}(h/a) + \frac{1}{2}(h/a)^3\right]dh = \frac{5}{12}a \qquad [3]$$

El modelo se caracteriza porque alcanza la meseta para una distancia finita (h = a). Es indicativo de fenómenos continuos (o un conjunto a lo sumo numerable de discontinuidades), aunque no derivables. Es decir, fenómenos cuya representación puede representar quiebros.

En el cuadro 2, se presentan los valores de los parámetros que definen los modelos matemáticos ajustados a los semivariogramas experimentales correspondientes a ETo y los estadísticos de la validación cruzada para cada uno de los nueve casos estudiados. Además de la observación visual de los propios semivariogramas muestrales, estos estadísticos fueron el criterio principal para aceptar un modelo particular.

Al igual que se presenta en los trabajos de otros autores, el efecto pepita es mayor en los meses cálidos, coincidiendo también con los meses de mayor varianza muestral

Cuadro 2. Modelos de los semivariogramas ajustados de ETo y estadísticos de la validación cruzada

Table 2. Models of semivariograms for ETo and values of the cross-validation statistics

Mes	Modelo	Efecto pepita[1] (mm d^{-1})^2	Meseta[1] (mm d^{-1})^2	Alcance km	EMK[2,a] mm d^{-1}	ECM[1,b] (mm d^{-1})^2	VM[1,c] (mm d^{-1})^2	ECMA[d]
Marzo	Esférico	0,020	0,045	150	0,003	0,031	0,092	0,9961
Abril	Esférico	0,015	0,095	175	0,000	0,033	0,119	1,0039
Mayo	Esférico	0,037	0,100	120	0,002	0,067	0,181	1,0019
Junio	Esférico	0,050	0,140	140	0,004	0,087	1,259	1,0000
Julio	Esférico	0,060	0,140	120	0,004	0,103	0,224	1,0000
Agosto	Esférico	0,065	0,150	100	0,006	0,124	0,205	1,0080
Septiembre	Esférico	0,030	0,050	100	0,002	0.049	0,107	0,9940
Octubre	Esférico	0,010	0,100	120	0,002	0,145	0,168	1,0039
Anual	Esférico	2.000	6.000	105	0,739	3.935,2	1.1789,9	0,9920

(1) Anual, mm^2; (2) anual, mm.
(a) EMK = Error medio de krigeado.
(b) ECM = Error cuadrático medio.
(c) VM = Varianza muestral.
(d) ECMA = Error cuadrático medio adimensional.

(p.e., MARTÍNEZ-COB y CUENCA, 1992). El efecto pepita relativo varía entre valores del 10% (octubre) y 60% (septiembre) y, al igual que con el efecto pepita y la varianza muestral, los mayores valores se obtienen en los meses cálidos, por encima del 35% desde mayo a septiembre, ambos meses incluidos, y superiores al 43% desde julio a septiembre. Por el contrario, la estructura espacial de ETo en Oregón (EE.UU.) presenta valores del efecto pepita relativo que varían entre el 5 y el 22% (MARTÍNEZ-COB y CUENCA, 1992). Es muy posible que los mayores valores del efecto pepita y del efecto pepita relativo obtenidos en este trabajo respecto a los mencionados anteriormente, sean debidos a que la ETo en Castilla-La Mancha presenta una menor estructura o variabilidad espacial, además de que los coeficientres de variación son pequeños en 3 de las 5 provincias lo que indica que su grado de uniformidad es mayor que en otras regiones estudiadas.

Como se puede comprobar en el cuadro 3, los modelos esféricos se han ajustado a los semivariogramas cruzados experimentales de la precipitación. También, la validez de los modelos seleccionados y sus parámetros han sido verificados principalmente con los estadísticos de la validación cruzada (EMK, ECM, y ECMA).

Todos los semivariogramas ajustados, mensuales y anual, presentan una discontinuidad positiva en el origen (efecto pepita), que representa la existencia de una componente aleatoria en el fenómeno estudiado: la precipitación. Los valores inferiores del

Cuadro 3. Modelos de los semivariogramas ajustados de precipitación y estadísticos de la validación cruzada

Table 3. Models of semivariograms for precipitation and values of the cross-validation statistics

Mes	Modelo	Efecto pepita[1] $(mm)^2$	Meseta $(mm)^2$	Alcance km	EMK[a] mm	ECM[b] $(mm)^2$	VM[c] $(mm)^2$	ECMA[d]
Marzo	Esférico	170,0	200,0	90	-0,489	264,4	329,3	1,011
Abril	Esférico	90,0	80,0	120	-0,289	117,9	182,4	0,945
Mayo	Esférico	60,0	175,0	110	-0,378	115,2	227,6	0,997
Junio	Esférico	55,0	120,0	160	-0,097	77,3	190,8	1,002
Julio	Esférico	35,0	40,0	100	-0,014	59,1	78,1	0,994
Agosto	Esférico	10,0	225,0	90	-0,221	85,7	89,4	1,006
Septiembre	Esférico	40,0	80,0	70	-0,288	84,1	124,0	1,039
Octubre	Esférico	50,0	130,0	70	-0,231	108,2	191,8	0,978
Anual	Esférico	2.000,0	17.000,0	80	-4,374	20,15	21.800,4	1,019

(a) EMK = Error medio de krigeado.
(b) ECM = Error cuadrático medio.
(c) VM = Varianza muestral.
(d) ECMA = Error cuadrático medio adimensional.

efecto pepita se han obtenido en los meses más cálidos, coincidiendo también con los de menor varianza muestral. Este parámetro de los semivariogramas varió mensualmente entre los valores de 4,44% agosto y el 112,50% de abril, el valor para el año medio del 11,76%; en general, estos porcentajes son algo superiores a los obtenidos con la variable ETo. Las distancias a las que los modelos de semivariogramas ajustados a los valores experimentales alcanzan sus respectivas mesetas varían entre los 70 km (septiembre y octubre) y los 160 km (junio). Para el semivariograma ajustado anual, la distancia indicativa del área de influencia (rango) es de 80 km. En todos los casos, los rangos de los semivariogramas más ajustados de ETo son mayores que los de los semivariogramas ajustados correspondientes a la variable precipitación, siendo esto debido a que la distribución espacial y temporal de la precipitación es más irregular que en el caso de la ETo.

En el cuadro 3, también, puede comprobarse como los modelos de semivariogramas ajustados a los valores experimentales de precipitación para los nueve casos de estudio con autocorrelación espacial cumplen el criterio de validez principal referido al error cuadrático medio adimensional (ECMA) que está comprendido entre $1 \pm 2\ (2/n)^{1/2}$ (DELHOMME, 1978) (n = número de puntos muestrales), lo que prueba la consistencia de las varianzas de los errores esperados en la estimación con krigeado en cada punto x_i, s_k^2, con respecto al ECM (SAMPER y CARRERA, 1990). En relación con el error cuadrático medio, todos los casos estudiados cumplen el criterio de presentar un valor inferior a la varianza muestral (COOPER e ISTOK, 1988), por lo que la estima calculada con el krigeado es mejor que la estima proporcionada por la media de todos los valores muestrales.

Mapas de isolíneas de ETo obtenidos mediante krigeado

En el cuadro 4, se muestran los máximos, medios y mínimos de los valores de la ETo observada y obtenida con la técnica del krigeado para los meses incluidos en la estación anual de riego (mayo a septiembre) en un año considerado climatológicamente como normal. También, se incluyen los correspondientes valores de las desviaciones típicas de los errores esperados con krigeado en los puntos de estimación de la ETo.

En la figura 1 se presentan mapas de isolíneas obtenidos mediante krigeado de las ETo de los meses principales de la estación de riego de la región estudiada (mayo-septiembre). Los valores máximos de ETo de los distintos meses coinciden espacialmente; algo parecido ocurre con los valores medios y mínimos de ETo. Los valores mensuales y anual mínimos de ETo se encuentran en el cuadrante noreste (NE) de Castilla-La Mancha (figuras 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f). Por otro lado, la irregularidad de los trazados de los isovalores de ETo recogida en los mapas es similar a la de la topografía regional.

A grandes rasgos, la distribución espacial de las ETo mensuales y anual manifiesta una reducción continuada desde el NE de la región, donde la variable toma valores inferiores, hacia los bordes geográficos del oeste (W) y del sur (S), con gradientes más intensos hacia el noroeste (NW) y sureste (SE), donde se alcanzan los valores regionales mayores. Los mapas de isolíneas presentan también una zona central con valores elevados de ETo, a partir de la cual se observa una disminución de los valores de la variable, con gradientes más o menos intensos, hacia las otras áreas de valores elevados situadas en el W y SE de Castilla-La Mancha. A causa de la

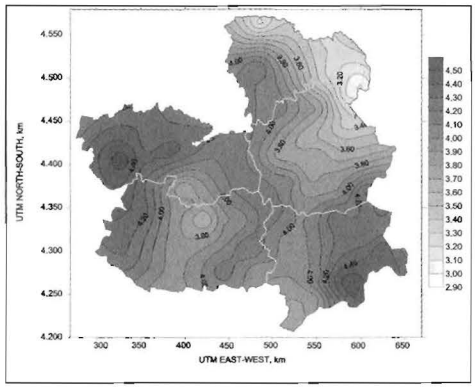
Cuadro 4. Valores máximos, medios y mínimos de la variable eto y de la estimación, y las desviaciones estándar (krg) de los valores esperados con krigeado

Table 4. Maximum, mean and minimum values of eto and kriged eto estimates, and standard desviations of kriging (krg) expected estimations errors at the eto estimation points

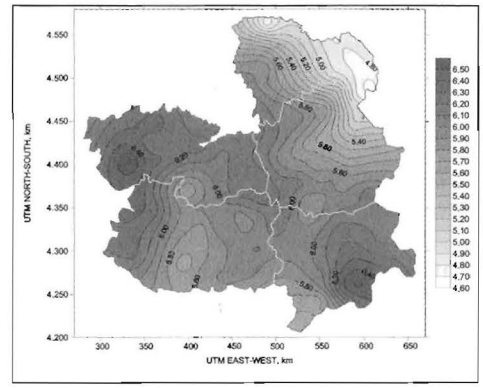
Mes	Máximos				Medios				Mínimos			
	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]
Mayo	4,84	4,59	5,16	0,336	4,01	4,01	-0,20	0,251	2,66	2,94	-10,53	0,229
Junio	7,02	6,54	6,84	0,378	5,94	5,93	0,17	0,286	4,10	4,60	-12,20	0,263
Julio	8,37	7,76	6,17	0,418	7,16	7,16	-0,14	0,313	5,42	5,89	-8,67	0,288
Agosto	7,52	6,99	7,05	0,445	6,39	6,37	0,31	0,334	4,28	5,29	-23,60	0,304
Septiembre	5,05	4,62	8,51	0,276	4,21	4,23	-0,48	0,217	3,03	3,42	-12,87	0,201
Anual	1.372,72	1.306,33	4,84	83,580	1.145,39	1.145,65	-0,28	60,710	854,70	951,82	-11,36	54,380

(a) mm d^{-1} (ETo anual, mm).

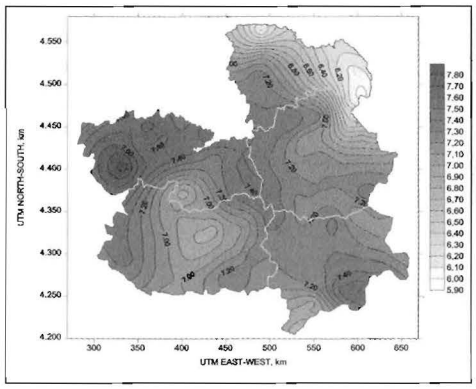
(b) Diferencia %.



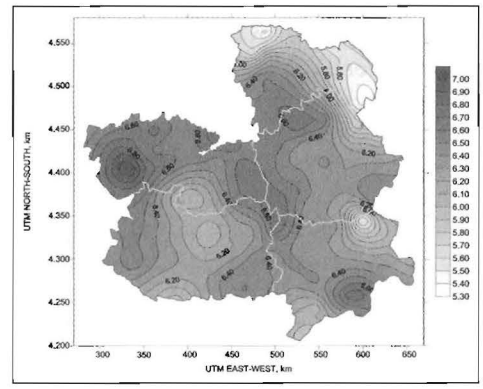
a) Mayo



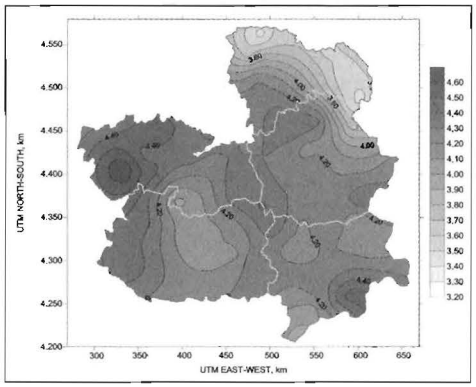
b) Junio



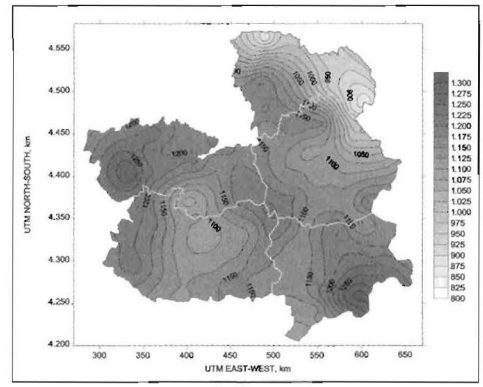
a) Julio



b) Agosto



a) Septiembre



b) Anual

Figura 2. Distribución espacial de la precipitación en Castilla-La Mancha.
Figure 2. Isohyetal maps of precipitation kriging estimates in Castilla-La Mancha.

correlación inversa entre los valores de ETo y la elevación sobre el nivel del mar, los máximos de ETo se producen preferentemente en zonas de baja altitud, por debajo de los 600 m sobre el nivel del mar. Se estima que la superficie geográfica cuya ETo anual excede los 1.200 mm es del 12,56% de la total regional, es decir, aproximadamente, 10.000 km^2 situados entre los 200 y los 600 m sobre el nivel del mar: toda la Cuenca del río Tajo en la provincia de Toledo, la Cuenca del río Guadiana que forma parte de la vertiente W en la provinvia de Ciudad Real y las Cuencas de los ríos Mundo y Segura en la vertiente SE de la provincia de Albacete. Existe una pequeña zona central, compartida entre las provincias de Toledo, Cuenca y Ciudad Real, que supone un 6,10% (4.616 km^2) de la superficie geográfica total regional, donde la ETo iguala también los 1.200 mm. En esta misma zona los valores mensuales de ETo (mm d^{-1}): 4,30, en mayo; 6,20, en junio; 7,30, en julio; 6,50 en agosto y 4,30 en septiembre. Estimaciones anuales de ETo inferiores a 1.100 mm se obtienen principalmente en las localidades situadas en el NE de la región e incluye el 18,59% (14.764 km^2) de la superficie geográfica de Castilla-La Mancha, en correspondencia espacial con las porciones del Sistema Ibérico y del Sistema Central que penetran en la región: La Alcarria, donde se produce el nacimiento del río Tajo, la Paramera de Molina, las estribaciones de las Sierras de Somosierra, Ayllón, de Pela y Ministra y de los Altos de Barahona, y la Serranía de Cuenca, donde nace otro de los ríos de gran importancia en la región, el Júcar. Fuera de esta zona, existe una pequeña superficie geográfica con valores anuales de ETo inferiores o iguales a 1.100 mm, situada en la Sierra de Taibilla, al sur de la provincia de Albacete, y en las Sierras del Pocito y de la Calderina, situadas en el SE de la provincia de Toledo y N de la provincia de Ciudad Real. En correspondencia espacial con estas últimas referencias anuales, se encuentran los valores mensuales de ETo (mm d^{-1}) siguientes: 3,80, en mayo; 5,60, en junio; 6,90 en julio; 6,10 en agosto; y 4,10, en septiembre. Casi el 70% de la región de Castilla-La Mancha (53.091 km^2) está situado entre los 601 y 1.000 m sobre el nivel del mar y está ocupada, en su mayor parte, por la planicie de la submeseta meridional, donde se encuentra más del 90% de la superficie regional regada, en su totalidad con aguas subterráneas. Los valores anuales de ETo en esta zona están comprendidos entre 1.100 y 1.200 mm, mientras que mensualmente los valores de este intervalo de ETo (mm d^{-1}) son los siguientes: 3,80-4,30, en mayo; 5,60-6,20, en junio; 6,90-7,30, en julio; 6,10-6,50, en agosto; y 4,10-4,30, en septiembre. Dentro de esta gran meseta se encuentran regiones naturales como La Mancha, Alta y Baja, La Manchuela, el Campo de Calatrava, el Campo de San Juan, el Campo de Montiel, el Valle de Alcudia, Las Tierras de Almansa y, parcialmente, la Mesa de Ocaña, entre otras.

En base a estos resultados, y desde un punto de vista práctico, se puede concluir que las estimas de le ETo obtenidas con krigeado representan fiablemente los cambios espaciales que se esperan de esta variable. Las isolíneas de la ETo muestran que el krigeado ha producido estimas de ETo cuyos cambios siguen fielmente la elevación sobre el nivel del mar. Aplicando estadística univariante se definen claramente los límites montañosos y la llanura. Si se pretende conseguir más precisión en la diferenciación geográfica en los bordes montañosos, se aconseja la estadística multivariante en la que se utilizaría la elevación como variable de apoyo.

Mapas de isolíneas de las estimas de la precipitación

El cuadro 5 presenta los valores máximos, medios y mínimos de la precipitación y de las estimas obtenidas por krigeado, así como los valores de las desviaciones estándar de los errores esperados en los puntos de estimación de la precipitación.

La figura 2 muestra los mapas de isovalores mensuales y anual de la precipitación obtenida con krigeado. Geográficamente, el esquema de la distribución espacial parece tener una relación muy directa con el relieve. Las áreas de mayor precipitación anual se localizan en el Sistema Ibérico castellano, con valores entre los 600 y 900 mm; en las estribaciones N y S del Sistema Central , en Guadalajara y Toledo, y en las Sierras de Alcaraz y del Segura, en la provincia de Albacete, con valores entre los 600 y 750 mm [valores similares a los obtenidos en otros trabajos desarrolados en la provincia de Albacete (ALAFONT y GARCÍA, 2001)].

Esta distribución de lluvias, aparentemente favorable para su aprovechamiento agrícola, choca con la escasa disponibilidad de tierras cultivables en estas áreas; el aprovechamiento del agua caída para los cultivos agrícolas se ve muy reducida por las dificultades topográficas del terreno. Los relieves montañosos influyen en el trayecto de las borrascas procedentes del Océano Atlántico, frecuentes en las latitudes templadas, que afectan al espacio castellano-manchego. Así, el Sistema Central constituye una barrera para los vientos procedentes del NO y el Sistema Ibérico lo es con los vientos fríos invernales del NE. En estas áreas, la orografía juega un papel fundamental, favoreciendo las lluvias de inestabilidad y de detención orográfica. En los altos relieves orográficos del SO y O de la provincia de Albacete, la influencia atlántica es muy acentuada; la transcendencia pluviométrica del SO montañoso se deja sentir positivamente con respecto a flujos húmedos superficiales procedentes del Océano que en su ascenso forzado, detención y remonte orográfico, a barlovento da lugar al máximo pluviométrico provincial.

Es en la amplia y dilatada planicie castellano-manchega, y en la zona suroriental de la región donde la pluviometría anual estimada toma los valores inferiores de la región, entre 300 y 500 mm; precisamente, allí donde se encuentra más del 90% de la superficie agrícola regada y donde la ETo alcanza cifras comprendidas entre 1.100 y 1.200 mm $año^{-1}$, e incluso superiores como es el caso del sureste de la región y la cuenca del Tajo en Toledo. El flanco suroriental de la provincia de Albacete queda a sotavento (abrigo topográfico) de las influencias y tipos de tiempo ciclónicos atlánticos, presentando un claro dominio del ámbito mediterráneo en sus características termopluviométricas.

En Castilla-La Mancha, en líneas generales, la distribución anual de las precipitaciones sigue un esquema propio de climas templados mediterráneos; la débil pluviosidad y, más aún, la nítida sequía de verano, es un rasgo normativo de la influencia del dominio climático mediterráneo. Una sequía más o menos acusada se presenta de junio a septiembre en toda la región. Julio y agosto no superan conjuntamente los 30 mm, salvo en los enclaves montañosos del noreste del territorio y, sobre todo, en el sector de los Montes de Toledo, donde se desencadenan tormentas de gran aparato eléctrico y chubascos derivados de la convectividad y la orografía local. Aunque es un fenómeno muy propio de los meses de verano, también se manifiesta en el otoño, favorecido por el recalentamiento local del aire que adquiere

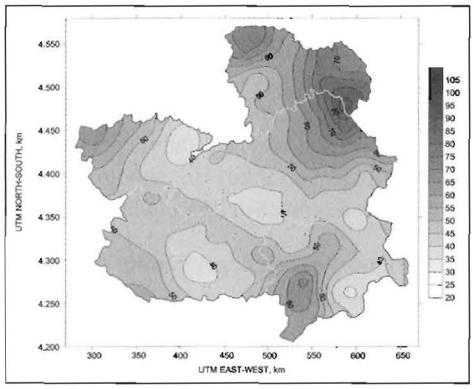
Cuadro 5. Valores máximos, medios y mínimos de la precipitación y de las estimas obtenidas por krigeado, y las desviaciones estándar de los errores esperados con krigeado (krg) en los puntos de estimación de la precipitación

Table 5. Maximum, mean and minimum values of precipitation and kriged precipitacion estimates, and standard desviations of kriging (krg) expected estimations errors at the precipitacion estimation points

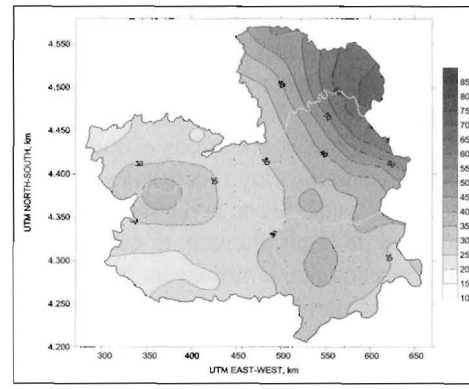
	Máximos				Medios				Mínimos			
Mes	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]	Variable[a]	Estimación[a]	Dif.[b]	KRG[a]
Mayo	102,2	85,7	16,2	31,8	47,2	46,4	0,55	10,4	22,8	33,6	-47,5	9,4
Junio	80,7	66,8	17,2	10,5	32,6	32,4	0,64	8,7	11,4	22,6	-98,6	8,3
Julio	22,4	29,3	-30,7	14,9	11,2	11,5	-2,2	7,6	2,4	6,1	-156,9	7,8
Agosto	93,7	46,8	50,0	14,3	13,6	14,2	-0,47	8,0	3,0	2,8	7,4	5,7
Septiembre	77,3	53,3	31,0	11,5	29,7	29,8	-0,30	8,6	13,5	19,6	-45,1	7,7
Anual	990,4	844,2	14,8	136,2	453,6	452,4	0,20	83,6	223,6	289,2	-29,3	65,5

(a) mm.

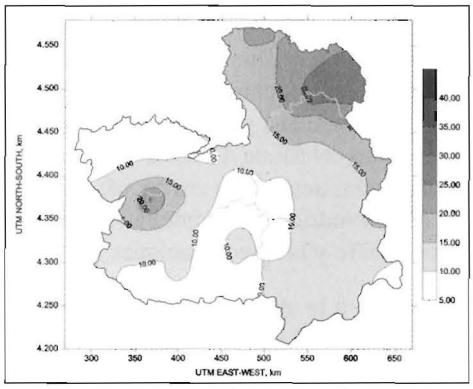
(b) Diferencia, %.



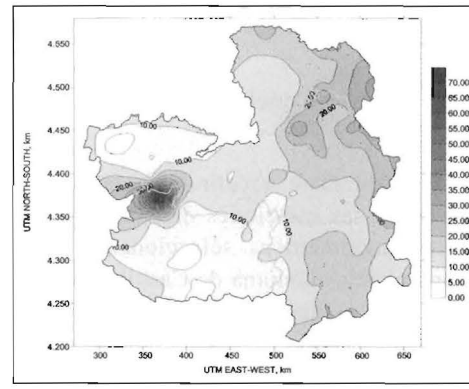
a) Mayo



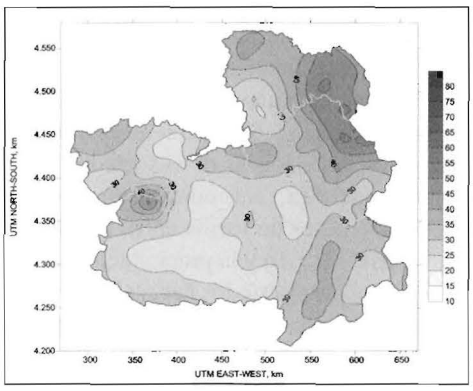
b) Junio



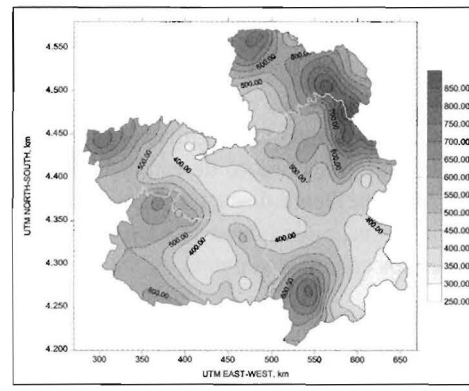
a) Julio



b) Agosto



a) Septiembre



b) Anual

Figura 2. Distribución espacial de la precipitación en Castilla-La Mancha.
Figure 2. Isohyetal maps of precipitation kriging estimates in Castilla-La Mancha.

condiciones de inestabilidad y genera unas precipitaciones muy intensas y rápidas. Si bien en los altos relieves orográficos de Castilla-La Mancha, en donde la influencia de los temporales atlánticos es muy acentuada, el máximo pluviométrico es invernal, en las sierras del SE de la región y en la casi totalidad de la altiplanicie, la estación lluviosa se centra en la primavera, seguida del otoño, que participa en un mayor grado de influencia de los temporales de Levante (NE y E), característicos del Mediterráneo levantino y de perturbaciones atlánticas que se desplazan a baja latitud.

Conclusiones

En este trabajo, a partir de los datos registrados en las estaciones meteorológicas y termopluviométricas seleccionadas en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, y las estimaciones de ETo realizadas con el método de Blaney-Criddle modificado por FAO, se ha podido comprobar como las estimas anuales y mensuales de la evapotranspiración de referencia y de la precipitación representan con gran fidedignidad la variabilidad espacial esperada de estas variables en concordancia con las características y series climáticas existentes en la región analizada. Dichas variabilidades espaciales de las variables objeto de estudio han sido convenientemente descritas mediante semivariogramas a los que se ajustaron modelos esféricos con efectos pepita.

Los mapas de isolíneas obtenidos por krigeado para la ETo y la precipitación ponen en evidencia macrorregiones cartografiables. De este modo se ha podido poner en evidencia como las variaciones de ETo y de la pluviometría pueden ser explicadas por la extensión superficial y su posición interior, alejada de las influencias marítimas, por la elevada altitud media y la disposición periférica de los relieves más altos. Hay que tener en cuenta que los errores en los bordes de la región son elevados debido a que no se ha trabajado con datos de estaciones limítrofes a la región castellanomanchega.

Aunque parecen depender del método de estimación de la ETo, y las estimas de las variables analizadas se han efectuado para un año medio, los mapas de isolíneas permiten subdividir la geografía de Castilla-La Mancha en unidades de menor extensión atendiendo a diversas características climáticas relacionadas con el balance hidrológico. Así, se ha podido comprobar como las áreas del centro, como el valle del Tajo, el valle del Guadiana y La Mancha, junto con el extremo del SE de Albacete y la Comarca de Talavera, tienen los valores más elevados de déficit hídrico, que mide las diferencias entre la ETo y las precipitaciones.

Debido a la alta resolución obtenida, los mapas de isovalores de ETo y precipitación podrían ser aplicables en la ecuación del balance hidrológico para diversos estudios regionales de optimización de los recursos hídricos disponibles en las zonas regables del territorio estudiado, lo que permitiría distribuir este factor de producción sostenible de una manera más racional, con el consiguiente ahorro y liberación de este recurso para otras necesidades de la sociedad castellano-manchega. Su confección durante todos los meses de varios años, permitirían caracterizar la ETo y la precipitación a escala regional para períodos decenales de cara a la programación de los riegos en la región.

Los resultados encontrados en esta investigación demuestran el potencial de la aplicación de las técnicas de la geoestadística descritas para ser utilizadas en los estudios regionales como un método de interpola-

ción espacial para las variables climáticas ETo y precipitación. Sin embargo, sería conveniente incluir la variable elevación sobre el nivel del mar en un análisis más riguroso del balance hidrológico. Si el análisis se realiza a escala regional el efecto de este parámetro en zonas relativamente llanas podría ser despreciable, pero no así en la orla periférica de la región. También, los resultados obtenidos podrían mejorar si se incluyeran puntos de medida de las regiones limítrofes de Castilla-La Mancha.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Convenio de Colaboración entre la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la Universidad de Castilla-La Mancha.

Bibliografía

ALAFONT L.S., GARCÍA J., 2001. Elaboración de un mapa de riesgo medioambiental para la provincia de Albacete mediante un sistema de información geográfica. Diputación provincial. Albacete, Spain.

ALLEN R.G., PRUITT W.O., 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. J. Irrig. Drain. Eng. 112: 139-155.

ANLAUF R., DAHIYA I.S., RICHTER J., 1987. Development of an optimum reclamation strategy for saline-sodic soils in Northern India. The European Economic Community, Brussels, Belgium.

BURGESS J.M., WEBSTER R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. J. Soil Sci. 31: 334-341.

CART P., CARLSON M., JACOBSEN G.R., NIELSEN J.S., SKOGLEY G.A., 1991. Farming soils, not fields: A strategy for increasing fertilizer profitability. J. Prod. Agric. 4: 57-61.

COOPER R.M., ISTOK I.D., 1988. Geostatistics applied to groundwater contamination: 1. Methodology. J. Environ. Eng. 114(2): 270-286.

CUCHI J.C., PÉREZ P.J., Villar P., VILLAR J.M., 1991. Distribución espacial de la evapotranspiración de referencia en la zona de Lérida y Huesca. Fruticultura Profesional 41: 41-56.

CUENCA R.H., AMEGEE K.Y., 1987. Analysis of Evapotranspiration as a Regionalised Variable. In: D. Hillel (ed.), Advances in Irrigation, vol.4, 181-220. Academic Press, New York, NY, USA.

DAVID M., 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

DAVIS J.C., 1986. Statistics and Data Analysis in Geology 2nd edition. John Wiley and Sons, NY, USA.

DE JUAN J.A., MARTÍN DE SANTA OLALLA F.J., 1993a. La evaporación. En: F.J. Martín de Santa Olalla and J.A. de Juan (coords.), Agronomía del Riego, 239-297. Mundi-Pensa, S.A and Universidad de Castilla-La Mancha, Madrid, Spain.

DE JUAN J.A., MARTÍN DE SANTA OLALLA F.J., 1993b. La medida de la evapotranspiración. En: F.J. Martín de Santa Olalla and J.A. de Juan (coords.), Agronomía del Riego, 299-354. Mundi-Pensa, S.A and Universidad de Castilla-La Mancha, Madrid, Spain.

DELHOMME J. P., 1978. Kriging in the hydrosciences. Adv. Water Resour. 1(5): 251-266.

DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome, Italy.

ENGLUND E., SPARKS A., 1991. Geo-Eas. Geostatistical Environmental Assessment Software. User's guide, US Environmental Protection Agency, Las Vegas, NY, USA.

FACI J., CUENCA R.H., MARTÍNEZ-COB A., 1990. Estudio de la evapotranspiración de referencia a nivel regional en Aragón. VII Jornadas Técnicas sobre Riegos, 67-77, Mérida, España.

GASCUEL-ODOUX E., WALTER E., VOLTZ M., 1993. Intérêt du couplage des méthodes geóstatistiques et de cartographie des sols pour l'estimation spatiale. Science du Sol 31, 4: 193-213.

HASHMI M.A., GARCÍA L.A., FONTANE D.G., 1994. Spatial estimation of regional crop evapotranspiration. Trans. ASAE 38(5): 1345-1351.

HEVESI J.A., FLINT A.L., ISTOK J.D., 1992b. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II: isoyetal maps. J.Appl. Meteos. 31(7): 677-688.

HEVESI J.A., ISTOK J.D., FLINT A. L., 1992a. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I.: Structural analysis. J. Appl. Meteor. 31(7): 661-676.

ISAAKS E.H., SRIVASTAVA R.M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University, New York, NY, USA.

JOURNEL A.G., HUIJBREGTS C.J., 1978. Mining Geostatistics. Academic Press, New York, NY, USA.

LÓPEZ M.V., ARRUE J.L., 1995. Efficiency of an incomplete block design based on Geostatistics for tillage experiments. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1104-1111.

MARTÍNEZ-COB A., 1995. Estimation of mean annual precipitation as affected by elevation using multivariate geostatistics. Water Res. Mangmt. 9: 139-159.

MARTÍNEZ-COB A., CUENCA R.H., 1992. Influence of elevation on regional evapotranspiration using multivariate geostatistics for various climatic regimes in Oregón. J. Hidrol. 136: 353-380.

MARTÍNEZ-COB A., FACI J.M., 1994. Análisis geoestadístico multivariante, una solución para la interpolación espacial de la evapotranspiración y la precipitación. Riegos y Drenajes XXI 78:15-21.

MARTÍNEZ-COB A., CUENCA R.H., FACI J.M., 1992. Geoestadística multivariante aplicada a estudios regionales de evapotranspiración. Investigación Agraria, Producción y Protección vegetales vol. 7 (3): 287-307.

MATHERON G., 1963. Principles of geostatistics. Econom. Geol. 58:1246-1266.

MATHERON G., 1971. The theory of regionalised variables and its applications. Les Cahiers du Centre de Morpholog Mathematique Fas 5, C.G. Fontainbleau, France.

MCBRATNEY A.B., WEBSTER R., MCLAREN R.G., SPIERS R.B., 1982. Regional variations in extractable copper and cobalt in the top soil of south-east Scotland. Agronomie 2: 969-982.

MEDINA J.L., CAMACHO E., RECA J., LÓPEZ R., ROLDÁN J., 1998. Determination and análisis of regional evapotranspiration in Southern Sapin based on remote sensing and GIS. Physics and Chemistry of the Earth 23(4): 427-432.

MENENTI M., 1990. Remote sensing in evaluation and management of irrigation. Fundación del Banco de Crédito Argentino. Mendoza, Argentina.

NUSS J.L., 1989. Analysis of evapotranspiration for various climatic regimes using geostatistics. M. Sc. Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.

OLEA R.A. 1984. Systematic sampling of spatial functions. Kansas Geol. Surv. Series of Spatial Analysis 7: 1-57.

PAZ A., GÓMEZ M.J., TABOADA M.T., 1996. Análisis geoestadístico de las propiedades generales de un suelo de cultivo. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol. 11(1): 133-160.

PHILLIPS D.L., DALPH J., MARKS D., 1992. A comparison of geostatistical procedure for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. Agric.For. Meteorol. 58: 119-141.

RECA J., MEDINA J.L., CAMACHO E., LÓPEZ R., ROLDÁN J., 1999. Aplicación de las técnicas de teledetección y SIG a la determinación y análisis de mapas de evapotranspiración. Ingeniería del Agua 6(1): 63-68.

SAMPER F.J., CARRERA J., 1990. Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, España.

SCHUELLER J.K., 1992. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. Fertilizer Res. 33: 1-34.

SOUZA V., SANTOS PEREIRA L., 1999. Regional analysis of irrigation water requirements using kriging. Application to potato crop (*Solanum tuberosum* L.) at Trás-os-Montes. Agric.Water Mngmt. 40: 221-233.

WOLTERS W., ZEVENBERGEN A.W., BOS M.G., 1991. Satellite remote sensing in irrigation. ILRS Reprint n.º 73.

(Aceptado para publicación el 7 de diciembre de 2001)

ITEA (2002), Vol. 98V N.° 1, 33-43

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INICIACIÓN DE LA FRUCTIFICACIÓN DEL CHAMPIÑÓN CULTIVADO. I. FACTORES FÍSICOS Y AMBIENTALES. FACTORES QUÍMICOS Y NUTRITIVOS

A. Pardo Giménez*,[1], J.A. de Juan Valero, J.E. Pardo González****

* Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón (CIES), C/ Peñicas s/n, Apartado 8, 16220 Quintanar del Rey, Cuenca, España
e-mail: pardo.cies@dipucuenca.es

** Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Castilla-La Mancha, Campus Universitario s/n, 02071 Albacete, España

RESUMEN

La capa de cobertura, material empleado como recubrimiento superior del compost en cultivo comercial de champiñón, constituye el medio en el que se produce la modificación ecológica que supone el paso de la fase de crecimiento vegetativo del hongo a la fase reproductiva o, lo que es lo mismo, el medio en el que se produce la fructificación. La compleja interacción existente entre las diferentes características físicas, químicas y biológicas de la capa de cobertura dificultan el establecimiento de las condiciones óptimas que ésta debe reunir, por lo que resulta de especial interés el establecimiento de los diferentes factores que participan en el fenómeno de la fructificación. La iniciación y desarrollo de los carpóforos depende, además de la capacidad genética del micelio para fructificar, de factores físicos y ambientales, factores químicos y nutritivos y factores microbiológicos. En esta primera parte del trabajo se lleva a cabo una revisión de los factores físicos y ambientales y los factores químicos y nutritivos involucrados en la fructificación de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach.

Palabras clave: *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, Factores de la fructificación, Capa de cobertura.

SUMMARY

FACTORS INFLUENCING ON THE FRUCTIFICATION PROCESS OF THE CULTIVATED MUSHROOM. I. PHYSICAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS. CHEMICAL AND NUTRITIONAL FACTORS

The casing layer is the material used as top covering of the compost in commercial mushroom cultivation. Here, the ecologic modification that implies the change from the vegetative to the reproductive growth phase takes place, so that it is the medium where the fructification occurs. The complex existent interaction among the different physical, chemical and biological properties of the casing layer hinders the establishment of

1. Persona a la que debe remitirse la correspondencia.

the optimal conditions that this material should gather. So, the knowledge of the different factors that they participate in the fructification process results of special interest. Among these, next to the own genetic capacity of the mycelium to fructify, physical and environmental factors, chemical and nutritional factors and microbiological factors are included. A revision of physical and environmental factors and chemical and nutritional factors involved in Agaricus bisporus fructification is carried out in this work.

Key words: *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, Fructification factors, Casing layer.

Introducción

Las principales fases del desarrollo de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach son las siguientes (COUVY, 1972; HECKMAN *et al.*, 1989; UMAR y VAN GRIENSVEN, 1997):

• Fase de crecimiento vegetativo, en la que las hifas se ramifican formando una importante red miceliana. Tras la germinación de las basidiosporas, el tubo germinativo desarrolla las hifas primarias que pronto forman un micelio vegetativo, creciendo en el sustrato en todas las direcciones.

• A continuación, y si las condiciones son favorables, se produce el comienzo de la diferenciación, agrupándose las hifas delgadas en cordones. Esta diferenciación se produce, en general, y más fácilmente, en la capa de cobertura. Las hifas individuales con escasas ramificaciones, que se presentan al principio de la secuencia del desarrollo, se van concentrando en hebras por sustancias adhesivas mucilaginosas.

• Los cordones producen, lateralmente o en el extremo de sus ramas, nódulos o primordios iniciales, que serán los futuros champiñones. La fase inicial de formación de primordios se distingue por el aspecto hinchado de las hifas que se curvan bruscamente y se ramifican con frecuencia. La capa de cobertura con su contenido microbiano produce el estímulo necesario para el inicio de los primordios, las denominadas "cabezas de alfiler". Entre la iniciación y el tamaño de 5 mm de diámetro se reconoce una etapa no diferenciada de primordios, caracterizada por una masa de hifas, que al llegar a un tamaño entre 8 y 15 mm forman tejidos y órganos como el pie, el sombrero y las laminillas del champiñón (histo-organogénesis).

• Una vez alcanzada la diferenciación, el primordio puede desarrollarse convirtiéndose rápidamente en champiñón, proceso en el que absorbe gran cantidad de agua; etapa de maduración en la que se forman las esporas, que se dispersan finalmente tras la ruptura del velo cuando la mayoría de los carpóforos alcanzan un diámetro de 5 a 6 cm.

• Finalmente, comienza el proceso conocido como senescencia, caracterizado por cambios estructurales y fisiológicos, que alcanza su máxima amplitud en la fase conocida como de agonía, a la que sigue la muerte, proceso inherente e inevitable para todos los organismos vivos.

La fructificación del champiñón en cultivo comercial se produce sobre la denominada capa de cobertura, material empleado como recubrimiento superior del compost, con objeto de inducir el paso de la fase de crecimiento vegetativo del hongo a la fase reproductiva. La utilización de la cobertura para inducir el desarrollo de esporóforos, cuyo mecanismo de acción no está completamente definido, y sobre el que no existe completo acuerdo, ha sido practicada desde

el siglo XVII (CARON, 1987), y la necesidad de su aplicación surge de la ausencia de otro medio para conseguir la producción de champiñones en cantidad suficiente para hacer el cultivo rentable (ATKINS, 1974).

La capa de cobertura juega, pues, un papel primordial en el cultivo del champiñón, ya que su presencia condiciona el inicio de la fructificación. En la práctica comercial, se presenta una compleja interacción entra las diversas características físicas, químicas y biológicas que dificulta la definición de las condiciones óptimas que debe reunir la cobertura (HAYES, 1981), aunque son conocidos algunos de los requisitos que debe cumplir teniendo en cuenta los factores que influyen en la fructificación. En este sentido, la iniciación y desarrollo de los carpóforos depende, además de la capacidad genética del micelio para fructificar, de factores físicos y ambientales, factores químicos y nutritivos, y factores microbiológicos (COUVY, 1972; BAZERQUE y LABORDE, 1975; FORET, 1989). En el presente trabajo se ha llevado a cabo una revisión de los factores físicos y ambientales y los factores químicos y nutritivos involucrados en la fructificación de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach, mientras que los factores microbiológicos serán tratados en una segunda parte del mismo.

Factores físicos y ambientales involucrados en la fructificación

En cuanto a los factores físicos y ambientales, una humedad relativa del 90-99%, una temperatura del aire entre 14 y 17°C, una temperatura del compost por debajo de 20°C, y concentraciones de dióxido de carbono menores de 800 ppm, son condiciones bajo las cuales fructifican la mayoría de variedades cultivadas de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach (TSCHIERPE, 1981). En la figura 1 se esquematizan las condiciones medioambientales de las salas de cultivo recomendadas a lo largo de un ciclo de cultivo de champiñón. Estudiamos a continuación estos factores con más detalle y como se relacionan con la estructura del material de cobertura.

La temperatura

COUVY (1972) considera necesario un descenso de la temperatura entre 7 y 9°C, respecto al óptimo durante la incubación (23-25°C), para permitir la iniciación de la fructificación. Aunque la temperatura de 24°C, óptima para una colonización rápida y uniforme del compost y la cobertura por parte del micelio, es adecuada para la obtención de primordios, no permite su desarrollo por encima de 2 mm de diámetro (FLEGG, 1979). Un desarrollo mayor se consigue a una temperatura inferior, en torno a los 16-17°C, durante un periodo de 2-3 días, temperatura que se mantiene normalmente de manera continua durante todo el ciclo de producción (FLEGG, 1989). El desarrollo posterior de los carpóforos está relacionado linealmente con la temperatura en un rango de 15 a 22°C mediante la relación $y = -0{,}22\ x + 8{,}27$, donde y es el tiempo (en días) necesario para que un carpóforo de 10 mm de diámetro alcance la etapa de madurez, y x la temperatura en °C (FLEGG, 1972). Alternando temperaturas entre 16 y 24°C es posible sincronizar las floradas (LOVE, 1989).

La humedad relativa

La fructificación necesita generalmente una humedad relativa del aire elevada. Parece necesario un gradiente de humedad entre la cobertura y el aire (BELS-KONING, 1950).

Durante la germinación e invasión de la cobertura por el micelio se necesitan niveles de humedad altos para reducir la evaporación desde el compost y la cobertura, favoreciendo un buen crecimiento miceliano (FLEGG, 1989). La fructificación y el desarrollo de los primordios necesita menores niveles de humedad para facilitar el transporte de nutrientes desde el micelio en el compost al micelio reproductivo. Las diferentes etapas del cultivo necesitan diferentes niveles de humedad relativa, pudiendo dividir el ciclo de cultivo en tres etapas (HERMANS, 1988): a) hasta la fructificación (> 95%), b) durante la fructificación (90-95%), y c) durante el desarrollo de los champiñones (80-85%).

La aireación

El efecto perjudicial del dióxido de carbono sobre el desarrollo de los esporóforos de champiñón fue demostrado inicialmente por LAMBERT (1933). Más tarde, Tschierpe (1959) estableció la teoría del gradiente de CO_2 , según la cual sólo una reducción del CO_2 jugaba un papel decisivo en la inducción de la fructificación. En algún lugar de la cobertura existía un contenido óptimo de CO_2, punto en el que se formaban los champiñones cuando el micelio estaba presente. Concentraciones de CO_2 por encima del 0,1% implican el retraso de la fructificación y una reducción del número de champiñones, hasta el punto que la producción obtenida con contenidos del 1 al 2% llegó a ser inferior al 1 por mil respecto al control expuesto a aire fresco (TSCHIERPE y SINDEN, 1964). Mientras SAN ANTONIO y THOMAS (1972) situaron la concentración óptima de CO_2, necesaria para el crecimiento de las hifas, entre 1000 y 5000 ppm, LONG y JACOBS (1968) establecieron un rango óptimo que favorece la iniciación de los esporóforos entre 340 y 1.000 ppm. Una completa revisión sobre el CO_2 en cuanto a sus características, su producción por el champiñón, su incidencia según la fase del cultivo, su medida y su gestión durante la producción ha sido llevada a cabo por VÉDIE y RETAILLEAU (1993).

El efecto del dióxido de carbono se relaciona con la necesidad de disponer de materiales ligeros y de estructura abierta. BELSKONING (1950) indicó la necesidad de disponer de materiales de cobertura cuya estructura permitiera una buena aireación. Según FLEGG (1953), cuando se emplean materiales con poco espacio poroso, o que se compactan con los riegos, los rendimientos tienden a ser bajos, aspecto relacionado con el tamaño de agregados de los materiales. EDWARDS y FLEGG (1954) constataron una relación directa entre el rendimiento y los espacios porosos, ensayando diferentes mezclas binarias de diversos materiales. También, TSCHIERPE (1973), NAIR y HAYES (1974) y NAIR *et al.* (1976) han manifestado la importancia del espacio poroso y del aire en la cobertura. Para HAYES (1981), el espacio poroso es, junto a la capacidad de retención de agua, la característica física más importante de la cobertura, al reflejar las propiedades de textura y estructura del material. En trabajos más recientes, RAINEY *et al.* (1987) encontraron una significativa correlación positiva entre la porosidad total y la porosidad de aire con el rendimiento, aunque disminuía el peso medio de los champiñones. Materiales densos con proporciones elevadas de partículas finas, donde el espacio poroso está dominado por microporos, tienden a soportar el desarrollo de un pequeño número de champiñones de alto peso y tamaño, mientras en materiales de estructura demasiado abierta predominan los macroporos produciendo una fructificación excesiva de champiñones de pequeño tamaño (RAINEY y COLE, 1987). KURTZMAN (1995a,

1995c), considerando positiva una buena capacidad de retención de agua, el efecto del carbonato cálcico y la capacidad de intercambio iónico, considera una estructura abierta como la característica más importante a tener en cuenta. Las opiniones anteriores parecen estar en discordancia con las de VISSCHER (1975, 1977, 1988), según las cuales una cobertura compacta proporciona mejores rendimientos, asegurando un alto nivel de CO_2 durante la etapa de crecimiento vegetativo, si son rastrillados justo antes de la transición a la reproducción. Otro efecto positivo de la porosidad se basa en el hecho de que una mejor aireación de la capa de cobertura conduce a un incremento en el número de bacterias beneficiosas (aerobias), lo que se traduce en un aumento del rendimiento (NAJR y HAYES, 1974). Por otro lado, VISSCHER (1975, 1979) argumenta que si la cobertura está demasiado aireada puede disminuir el número de estas bacterias por eliminación de sustancias volátiles que las estimulan.

Otro aspecto relacionado con la estructura del material es su capacidad de retener y liberar agua, y poder soportar riegos frecuentes sin perderla. Entre los primeros estudios sobre la importancia de la capacidad de retención de agua se encuentra el de BELS-KONING (1950), quien encontró que a mayor capacidad de retención de agua de la cobertura, mayor era el rendimiento obtenido. STOLLER (1952b), EDWARDS (1954), REEVE *et al.* (1960a) y FLEGG (1960, 1963), también, hacen referencia a la importancia del agua en la iniciación de los carpóforos y los rendimientos.

Factores químicos y nutritivos involucrados en la fructificación

La diferencia entre la situación nutritiva del compost y de la cobertura ha sido indicada como un factor que afecta a la fructificación (COUVY, 1972; FLEGG y WOOD, 1985). BELS-KONING (1950), empleando diferentes materiales, llegó a la conclusión de que no eran necesarios elementos nutritivos en la capa de cobertura para producir champiñones. Según STOLLER (1975, 1979), el objetivo de la cobertura sería proporcionar un medio con pocos nutrientes de manera que el micelio que crece en ella sea incapaz de formar polifenoloxidasas, que producirían quinonas inhibidoras de la fructificación. Estas quinonas son útiles para el champiñón como mecanismo de defensa, aunque deben ser destruidas para inducir la fructificación. La alcalinidad de la cobertura, sustancias reductoras y, probablemente, la acción reductora de las bacterias podrían servir para destruir estos inhibidores. Aunque el papel preciso de la lacasa en el desarrollo del hongo es desconocido, se pueden hacer algunas consideraciones. La concentración de lacasa aumenta durante el crecimiento del micelio, para disminuir rápidamente al comienzo de la fructificación, siendo su actividad en la cobertura mucho menor que en el compost (VERBEKE y VAN LAERE, 1997). Esta enzima es originada por el micelio de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach; su concentración aumenta durante el crecimiento de éste y disminuye rápidamente al principio de la fructificación, asociándose tal disminución de actividad, más que a la formación del esporóforo, a su desarrollo a partir de la etapa de 1 cm de tamaño (WOOD y GOODENOUGH, 1977). La citada pérdida de actividad es debida a una inactivación irreversible y a la proteolisis, no pudiendo ser achacada a la producción de inhibidores difundidos desde el micelio (WOOD, 1980). Sí puede ser debida, en cambio, a una reasimilación de compuestos excretados que contienen nitrógeno (el enzima es la principal proteína emitida por el micelio), como consecuencia de la demanda de nitrógeno durante la fructifi-

cación, o de la producción de sustancias inhibidoras por acción de la actividad enzimática sobre los componentes del sustrato compostado (FLEGG y WOOD, 1985). A diferencia del compost, se ha observado una continua formación de actividad lacasa en capas de cobertura, probablemente a causa de la producción de sustancias de tipo 1,4-dihidroxibenceno a partir de quinonas, que podrían ser reducidas por el oxalato, uno de los productos del micelio más abundantes, mediante un mecanismo de autooxidación, descomponiéndose el oxalato en el radical formil, que actuaría como reductor, y CO_2 (VERBEKE y VAN LAERE, 1997). Otros compuestos orgánicos pueden también influir en la formación de primordios, como la biotina (PARK y AGNIHOTRI, 1969), o las fitohormonas, que son sintetizadas y liberadas por *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach durante su crecimiento en la capa de cobertura (HAYES, 1981), y el etileno, que estimula la fructificación de manera notable a razón de 1 cm^3 por m^3 de aire (VISSCHER, 1979, 1982), aunque parece no ser imprescindible (KURTZMAN, 1995b).

La capa de cobertura debe contener un nivel bajo de materia orgánica fácilmente degradable para no alterar la selectividad ecológica, ya que podría dar origen a microorganismos indeseables (VISSCHER, 1988). La adición a la cobertura de peptona, glucosa y otros carbohidratos llevó a la conclusión de que la cobertura debe disponer de poco nitrógeno disponible, aunque no parece ser necesaria la ausencia de fuentes de carbono disponibles (MASAPHY *et al.*, 1989). Mientras que con el tratamiento con peptona apenas se producían primordios en las dos primeras floradas, la incorporación de xilosa, glucosa, celobiosa, maltosa, carboximetilcelulosa y extracto de malta aumentaba la formación de primordios. Además, la cobertura suplementada con glucosa mostró un gran aumento en la población de bacterias del género *Pseudomonas*, en particular de las fluorescentes, cuya influencia sobre la fructificación será analizada más adelante. La adición de harina de semilla de algodón a la cobertura produjo también aumentos significativos de la producción, sin aparición de contaminantes de origen fúngico (NAIR *et al.*, 1993).

En cuanto a la salinidad, FLEGG (1960, 1961b) observó que la respuesta característica de la adición de sales solubles a la capa de cobertura era un retraso en el comienzo de la fructificación y una disminución en el número de esporóforos, y aunque aumentaba el peso medio de los champiñones, el rendimiento se veía normalmente reducido. REEVE *et al.* (1960b) encontraron disminuciones de rendimiento por adición de distintas sales, tanto mayores cuanto mayor era la cantidad de sal añadida, aunque no observaron influencia en el tamaño. El efecto de las sales solubles está asociado con la conductividad eléctrica de la mezcla de cobertura, independientemente de la sal empleada, factor asociado a la presión osmótica de la solución del material (FLEGG, 1960, 1961c). Durante el ciclo de cultivo se observa, además, una acumulación de sales en la capa de cobertura como consecuencia principalmente de procesos físicos, influida por el ritmo de evaporación de agua desde la superficie del compost y de la salinidad de éste (FLEGG, 1961a). La etapa del desarrollo del esporóforo en la que el champiñón es sensible a altas concentraciones de sal se presenta después del desarrollo completo de las hebras de micelio y antes de que éstos alcancen un diámetro entre 1 y 2 cm (FLEGG, 1963). Sin embargo, RAINEY *et al.* (1987) no encontraron correlación significativa entre la conductividad eléctrica y el rendimiento, aunque trabajaban con materiales de baja conductividad, entre 54 y 248 µS

cm^{-1}. Anteriormente, FLEGG (1961c) había demostrado la existencia de un punto en el que la fructificación se inhibía por completo, y que correspondía a valores de conductividad eléctrica en el rango de 9 a 16 μS cm^{-1} (relación tierra/agua 2,5:1), valores similares a los que se presentan en los composts, lo que le llevó a postular que la alta salinidad del compost podría ser una razón por la que los esporóforos no se desarrollan en él sin la presencia de la capa de cobertura. HAYES (1981) llegó a la conclusión de que conductividades por encima de 9,7 μS cm^{-1} darían reducciones significativas de rendimiento, mientras la inhibición completa se alcanzaría a niveles superiores a 54 μS cm^{-1} (relación peso fresco/agua 1:10). AWAD y NAIR (1989) observaron una reducción del rendimiento del 10% por adición de cloruro sódico dando una conductividad eléctrica de 2.8 μS cm^{-1}, y confirmaron trabajos anteriores de FLEGG (1961b), NAIR (1976) y BEELMAN *et al.* (1987), según los cuales al aumentar la concentración de sales solubles en la cobertura se reducía el rendimiento, al disminuir el potencial osmótico externo. KALBERER (1990) consideró posible regular el contenido en materia seca del champiñón ajustando la concentración de sal en la capa de cobertura. En efecto, añadiendo cloruro sódico disminuía el potencial de agua de la cobertura, se reducía el rendimiento y aumentaba el contenido en materia seca de los esporóforos, aunque el peso seco total era el mismo con bajo y alto potencial de agua (con alta salinidad y sin sal añadida, respectivamente). Encontró también una correlación positiva entre la concentración de sustancias osmóticamente activas en el jugo prensado de champiñón y el contenido en materia seca.

El carbonato cálcico es generalmente considerado un constituyente necesario en la capa de cobertura. TRESCHOW (1944; citado por FLEGG, 1956) había demostrado en cultivo puro que el calcio era un nutriente indispensable para el crecimiento del micelio. CHAPUIS y COURTIEU (1950) encontraron como favorable un contenido de caliza activa en la cobertura entre 20 y 50 g kg^{-1}, aunque un exceso no parece ser perjudicial (FLEGG, 1989). STOLLER (1952a) encontró necesario mezclar la turba con carbonato cálcico para elevar el pH ácido de la misma, y obtener de esta manera rendimientos normales. Puede ser importante por su efecto tamponador de pH y limitador de la acumulación de iones (HAYES, 1981), por su aporte de calcio, teniendo en cuenta que la fructificación requiere más calcio que el crecimiento vegetativo (VERBEKE y OVERSTYNS, 1991), y, finalmente, el carbonato cálcico puede moderar el intercambio de CO_2 (KURTZMAN, 1991).

Los estudios de HAYES (1972) establecieron que algunos cationes eran inhibidores en el proceso de formación de primordios, mientras otros eran necesarios para que se produjera. Mientras el papel del calcio en relación con el crecimiento del micelio y la fructificación no está del todo claro, existen más datos sobre el efecto del magnesio. En 1949, Sinden ya había prevenido a los cultivadores de que un alto contenido en magnesio en la cobertura podría retrasar la producción y bajar el rendimiento de manera considerable (ATKINS, 1974; FLEGG y WOOD, 1985). Experimentos posteriores de LAMBERT y AYERS (1955) no pudieron, sin embargo, encontrar evidencia de la posible toxicidad del magnesio en la capa de cobertura. KURTZMAN (1991) apunta hacia el pH, la conductividad y el intercambio y balance de CO_2 como factores más importantes sobre la fructificación y el rendimiento que la toxicidad directa del magnesio. En todo caso, los niveles de magnesio no deben ser demasiado altos (MACCANNA, 1986). El

potasio, en cambio, aunque no es un factor limitante, puede contribuir a obtener buenos rendimientos (STOLLER, 1952b).

NAIR y HAYES (1974) y NAIR *et al.* (1976) subrayaron el papel del ion bicarbonato (HCO_3^-). La presencia de estos iones a bajos niveles parece estimular tanto la población de *Pseudomonas*, y, en general, bacterias capaces de reducir hierro, como la formación de esporóforos. HAYES (1972) demostró previamente una correlación positiva entre la concentración de ion ferroso y el número de primordios formados *in vitro*.

En cuanto al pH, el valor óptimo para el crecimiento del micelio en agar fue establecido en 1944 por Treschow (citado por VISSCHER, 1988) en 7,0, mientras WOOD (1976) obtuvo el mayor número de champiñones formados a pH 7,5 en cultivos en placa con agar extracto de malta en estudios realizados en laboratorio. La importancia de considerar el pH como un factor a tener en cuenta fue apuntado en 1953 por De Kleermaeker. El pH óptimo para la fructificación de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach se sitúa ligeramente por encima de 7 (COUVY, 1972), aunque valores de pH comprendidos entre 5,5 y 9 pueden resultar válidos. No obstante, el riesgo de aparición de *Trichoderma* aumenta al situarnos en valores por inferiores a 7 (VISSCHER, 1988). En el cuadro 1, se presentan los rangos de pH aceptables según diversos autores. Un intervalo óptimo de pH, considerando los datos de dicha tabla, se situaría entre 7,0 y 8,0.

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mientras las sales solubles tienen un efecto negativo sobre el rendimiento, RAINEY *et al.* (1987) encontraron una significativa correlación positiva entre la CIC y el rendimiento, y negativa con el peso medio de los champiñones, lo que sugiere que los iones nutritivos disponibles en la cobertura afectan al crecimiento y desarrollo de *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. Estos autores establecieron una teoría según la cual la importancia de la cobertura se debe a que proporciona una zona donde pueden tener lugar intercambios iónicos. Previamente, STOLLER (1952b) estableció que se podía determinar la idoneidad de un material como cobertura para cultivo de champiñón por su capacidad de intercambio catiónico. Experimentos de KURTZMAN (1995a) indicaron que el intercambio iónico era de poca importancia, aunque no pudo concluir que no tuviera efecto sobre la producción, debido a las diferentes texturas de los materiales empleados. Posteriormente, observó que la adición de intercambiadores iónicos (aniónicos y catiónicos) a la cobertura aumentaba los rendimientos, con la característica común de aumentar los iones carbonato y/o bicarbonato solubilizados (KURTZMAN, 1996). Este mismo autor, había sugerido con anterioridad que era deseable una alta concentración de iones carbonato y/o bicarbonato, a lo que colabora también la presencia de carbonato cálcico en la cobertura (KURTZMAN, 1991).

A pesar de la complejidad en cuanto a productos y reacciones involucradas, VERBEKE y OVERSTYNS (1991) sugirieron que la teoría redox (STOLLER, 1952a), según la cual la cobertura debe ser un medio adecuado para que se produzcan rápidas reacciones de oxidación-reducción, podría explicar la sensibilidad de la formación de primordios a diferentes factores. El papel del oxalato como reductor del hierro podría ser la base de cierta *inhibición*.

Bibliografía

ALLISON W.H., KNEEBONE L.R., 1962. Influence of compost pH and casing soil pH on mushroom production. Mushroom Sci., 5, 81-89.

ATKINS F.C., 1974. Casing materials and casing. In: Guide to Mushroom Growing, 58-62. Ed. Faber and Faber. London, UK.

AWAD A.S., NAIR N.G., 1989. Salt tolerance of *Agaricus bisporus* in relation to water stress and toxicity of sodium ions. Ann. appl. Biol., 115, 215-220.

BAZERQUE A., LABORDE J., 1975. Contribution a l'étude des terres de couverture utilisées en France pour la culture du champignon de couche. *Bull. FNSACC*, 4, 941-956.

BEELMAN R.B., QUINN J.J., OKEREKE A., SCHISLER L.C., MUTHERSBAUGH H.R., EVENSEN K., 1987. Effect of type of peat casing layer and the addition of calcium chloride to watering treatments on quality and shelf-life of fresh mushrooms. In: Developments in Crop Science 10: Cultivating Edible Fungi, P.J. WUEST, D.J. ROYSE, R.B. BEELMAN (eds), 271-282. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY, USA.

BELS-KONING H.C., 1950. Experiments with casing soils, water supply and climate. *Mushroom Sci.*, 1, 78-84.

CARON M., 1987. Peat moss as casing in the mushroom industry. Mushroom News, 35(12), 5-7.

CHAPUIS G., COURTIEU P., 1950. Le gobetage dans les cultures de champignons de couche. Mushroom Sci., 1, 85-86.

COUVY J., 1972. Les facteurs de la fructification de l'*Agaricus bisporus* (champignon de couche). Bull. FNSACC, 14, 585-604.

COUVY J., 1973. Les facteurs de la fructification de l'*Agaricus bisporus* (suite). Bull. FNSACC, 15, 653-658.

DE KLEERMAEKER E., 1953. Some experiments with various casing soils. Mushroom Sci., 2, 139-143.

EDWARDS R.L., 1954. Some cultural practices and their effects. Mushroom Sci., 2, 96-102.

EDWARDS R.L., FLEGG P.B., 1954. Experiments with artificial mixtures for casing mushroom beds. Mushroom Sci., 2, 143-149.

FERRI F., 1985. I Fungi - Micologia, isolamento, coltivazione. 398 pp. Ed. Edagricole. Bologna, Italia.

FLEGG P.B., 1953. Pore space and related properties of casing materials. Musbroom Sci., 2, 149-161.

FLEGG P.B., 1956. The casing layer in the cultivation of the mushroom (*Psalliota hortensis*). J. Soil Sci., 7, 168-176.

FLEGG P.B., 1960. The functions of the compost and casing layer in relation to fruiting and growth of the cultivated mushroom *[Psalliota (Agaricus) hortensis]*. Mushroom Sci., 4, 205-210.

FLEGG P.B., 1961a. The natural accumulation of soluble salts in the casing layer of mushroom beds. J. Hort. Sci., 36, 139-144.

FLEGG P.B., 1961b. The effects of adding soluble salts to the casing layer on the yield and size of cultivated mushrooms. J. Hort. Sci., 36, 145-148.

FLEGG P.B., 1961c. Electrical conductivity of the casing layer in relation to fruiting of the cultivated mushroom. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst., 1960, 117-124.

FLEGG P.B., 1963. The development of mycelial strands in relation to fruiting of the cultivated mushroom (*Agaricus bisporus*). Mushroom Sci., 5, 300-313.

FLEGG P.B., 1972. Response of the cultivated mushroom to temperature with particular reference to the control of cropping. Mushroom Sci., 8, 75-84.

FLEGG P.B., 1979. Effect of temperature on the development of sporophores of *Agaricus bisporus* beyond a cap diameter of 2 mm. Mushroom Sci., 10(1), 603-609.

FLEGG P.B., 1989. Crop production. Mushroom J., 197, 157-163.

FLEGG P.B., WOOD D.A., 1985. Growth and fruiting. In: The Biology and Technology of the Cultivated Mushroom, P.B. Flegg, D.M. Spencer, D.A. Wood (eds), 141-177. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.

FORET V., 1989. Aspects physiologiques et métaboliques de la fructification d'*Agaricus bisporus*. Cahier Technique du Champignon n.° 9. 83 pp. Ed. Centre Technique du Champignon. St. Paterne, France.

HAYES W.A., 1972. Nutritional factors in relation to mushroom production. Mushroom Sci., 8, 663-674.

HAYES W.A., 1981. Interrelated studies of physical, chemical and biological factors in casing soils and relationships with productivity in commercial culture of *A. bisporus*. Mushroom Sci., 11(2), 103-129.

HECKMAN C.A., PELOK S.D., KIMPEL S.A., WU L.C., 1989. Scanning electron microscope studies on

fruitbody primordium formation in *Agaricus bisporus*. Mycologia, 81(5), 717-727.

HERMANS C., 1988. Climate and cultivation technique. In: The Cultivation of Mushrooms, L.J.L.D. van Griensven (ed), 213-248. Interlingua T.T.I. Ltd. East Grinstead, Sussex, UK.

KALBERER P.P., 1990. Influence of the water potential of the casing soil on crop yield and on dry-matter content, osmotic potential and mannitol content of the fruit bodies of *Agaricus bisporus*. J. Hort. Sci., 65(5), 573-581.

KURTZMAN Jr, R.H., 1991. Dolomite upsets the carbon dioxide balance. Mushroom Sci., 13(2), 747-751.

KURTZMAN Jr, R.H., 1995a. *Agaricus bisporus* (Lge.) Imb. casing layer, II: Porosity, the most important character. Int. J. Mush. Sci., 1(1), 11-17.

KURTZMAN Jr, R.H., 1995b. Cobalt chloride and ethylene affect fruiting of *Agaricus bisporus*. Mycologia, 87(3), 366-369.

KURTZMAN Jr, R.H., 1995c. *Agaricus bisporus* (Lge.) Imb. casing layer III. Casing from inert material. Mushroom Sci., 14(1), 333-337.

KURTZMAN Jr, R.H., 1996. *Agaricus bisporus* (Lge.) Imb. casing layer IV: ion exchange and soluble bicarbonate ion. Int. J. Mush. Sci., 1(2), 27-32.

LAMBERT E.B., 1933. Effect of excess carbon dioxide on growing mushrooms. J. Agric. Res., 47(8), 599-608.

LAMBERT E.B., HUMFELD, H., 1939. Mushroom casing soil in relation to yield. Circular 509. US Department of Agriculture, Washington DC, USA.

LAMBERT E.B., AYERS T.T., 1955. Magnesium in mushroom casing soil. Plant Dis. Rep., 39(11), 837-838.

LONG P.E., JACOBS L., 1968. Some observations on CO_2 and sporophore initiation in the cultivated mushroom. Mushroom Sci., 7, 373-384.

LOVE M.E., 1989. Temperature manipulation and mushroom production. Mushroom J., 193, 11,13,15.

MACCANNA C., 1986. Casing. In: Commercial Mushroom Production, 131-138. Ed. An Foras Taluntais. Dublin, Ireland.

MASAPHY S., LEVANON D., DANAI O., HENIS Y., 1989. Nutritional supplementation to the casing soil: Ecological aspects and mushroom production. Mushroom Sci., 12(1), 417-426.

NAIR N.G., 1976. Studies on recycling spent compost for mushroom cultivation. Aust. J. Agric. Res., 27, 857-865.

NAIR N.G., HAYES W.A., 1974. Suggested role of carbon dioxide and oxigen in casing soil. In: The Casing Layer, W.A. Hayes (ed), 27-36. Mushroom Growers' Association, W.S. Maney & Son Ltd. Leeds, UK.

NAIR N.G., SHORT C.C., HAYES W.A., 1976 Studies on the gaseous environment of the casing layer. Mushroom Sci., 9(1), 245-257.

NAIR N.G., CHO K.Y., MITCHELL F., 1993. An alternative method of nutrient supplementation in the cultivation of the common mushroom *Agaricus bisporus*. Aust. J. Exp. Agric., 33, 115-117.

PARK J.Y., AGNIHOTRI V.P., 1969. Sporophore production of *Agaricus bisporus* in aseptic environments. Antonie van Leeuwenhoek, 35, 523-528.

RAINEY P.B., COLE A.L.J., 1987. Space-for-air, the key to a productive casing. Mushroom J., 178, 310-311.

RAINEY P.B., COLE A.L.J., SANDERSON F.R., 1987. Air filled pores - An important component of the mushroom casing layer. In: Developments in Crop Science 10: Cultivating Edible Fungi, P.J. Wuest, D.J. Royse, R.B. Beelman (eds), 510-514. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY, USA.

REEVE E., BACKES R.W., SCHRAMER J.M., 1960a. Casing soil moisture studies. Mushroom Sci., 4, 198-204.

REEVE E., BACKES R.W., MURPHY W.S., SCHRAMER J.M., VOLLBRECHT H.A., 1960b. Mushroom casing soil - Cropping experiments. Mushroom Sci., 4, 251-259.

SAN ANTONIO J.P., THOMAS R.L., 1972. Carbon dioxide stimulation of hyphal growth of the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange) Sing. Mushroom Sci., 8, 623-629.

STOLLER B.B., 1952a. Studies on the function of the casing for mushroom beds. Part I. The relation of the abnormal growth of the cultivated mushroom to fructification and casing soil. MGA Bulletin, 34. 289-297.

STOLLER B.B., 1952b. Studies on the function of the casing for mushroom beds. Part II. Some chemical and physical characteristics of the casing soil and their effect on fructification. MGA Bulletin, 35, 321-326.

STOLLER B.B., 1975. Induction of fruiting in casing layer. Quinones or CO_2? Mushroom News, 23(10), 22.

STOLLER B.B., 1979. Synthetic casing for mushroom beds. Mushroom Sci., 10(2), 187-216.

TSCHIERPE H.J., 1959. Studies on the influence of carbon dioxide on the cultivated mushroom. 70 pp. Ed. Mushroom Growers' Association, W.S. Maney & Son Ltd., Leeds, UK.

TSCHIERPE H.J., 1973. Environmental factors and mushroom growing. Mushroom J., 1, 30-45, 2, 77-94.

TSCHIERPE H.J., 1981. Cultural practice from casing to cropping. Mushroom Sci., 11(1), 463-494.

TSCHIERPE H.J., SINDEN J.W., 1964. Weitere untersuchungen über die bedeutung von kohlendioxid für die fruktifikation des kulturchampignons. Archiv für Mikrobiologie, 49, 405-425.

UMAR M.H., VAN GRIENSVEN L.J.L.D., 1997. Morfologisch onderzoek: levensfasen van een champignon. De Champignoncultuur, 41(2), 47-53.

VEDIE R., RETAILLEAU F., 1993. Le CO_2 et la culture du champignon de Paris. Bull. FNSACC, 59, 99-107.

VERBEKE M.N., OVERSTYNS A., 1991. Interrelationships between activated charcoal, carbon dioxide, oxalate and iron chemistry for fructification of *Agaricus bisporus*. Mushroom Sci., 13(2), 737-746.

VERBEKE M.N., VAN LAERE A., 1997. The role of laccase dependent reactions for the development of *Agaricus bisporus*. Int. J. Mush. Sci., 2(1), 3-13.

VISSCHER H.R., 1971. De pH van dekgronden. De champignoncultuur, 15, 91-95.

VISSCHER H.R., 1975. The structure of the casing medium and its influence on yield. Mushroom J., 28, 120-126.

VISSCHER H.R., 1977. Structure of mushroom casing soils and its influence on yield and microflora. Mushroom News, 25(2), 7-16, 25(3), 5-22.

VISSCHER H.R., 1979. Fructification of *Agaricus bisporus* (Lge.) Imb. in relation to the relevant microflora in the casing soil. Mushroom Sci., 10(1), 641-664.

VISSCHER H.R., 1982. Substitutes for peat in mushroom casing soil. Mushroom J., 118, 353-358.

VISSCHER . H.R., 1988. Casing soil. In: The Cultivation of Mushrooms, L.J.L.D. van Griensven (ed), 73-89. Interlingua T.T.I. Ltd. East Grinstead, Sussex, UK.

WOOD D.A., 1976. Primordium formation in axenic cultures of *Agaricus bisporus* (Lange) Sing. J. Gen. Microbiol., 95, 313-323.

WOOD D.A., 1980. Inactivation of extracellular laccase during fruiting of *Agaricus bisporus*. J. Gen. Microbiol., 117, 339-345.

WOOD D.A., GOODENOUGH P.W., 1977. Fruiting of *Agaricus bisporus*. Changes in extracellular enzyme activities during growth and fruiting. Arch. Microbiol., 114, 161-165.

(Aceptado apara publicación el 27 de noviembre de 2001)

ITEA (2002), Vol. 98V N.° 1, 44-53

COMPETENCIA INTERNACIONAL Y ÉTICA DE PRODUCCIÓN: ¿LA AGRICULTURA ECOLÓGICA, UN CASO APARTE?

P. Sans[1], B. Sylvander

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Recherche sur l'Economie des Qualifications Agro-Alimentaires 8, avenue Laënnec, 72000 Le Mans, Francia

RESUMEN

La agricultura ecológica conoce un gran desarollo en numerosos países del Mundo. Los productos ecológicos forman parte de los intercambios comerciales a nivel internacional. Estos flujos pueden ser dificultados por la creación de barreras comerciales basadas en criterios técnicos tal como las normativas de producción.

Esta contribución constituye una reflexión sobre el movimiento actual de armonización de los métodos de producción, a nivel mundial. Los autores muestran que esta tendencia se confronta a dos obstáculos importantes: por una parte, existen múltiples definiciones de la agricultura ecológica; por otra parte, los métodos de control del respeto de las normativas de producción difieren de un país a otro. Esta situación resulta de la disparidad en los niveles de desarrollo económico de los países implicados en el comercio de productos ecológicos: esta disparidad es responsable de la gran variabilidad de las preocupaciones de los ciudadanos y de los responsables políticos. Para los países en desarrollo, el modelo de agricultura de bajos insumos que representa la agricultura ecológica puede contribuir de forma significativa al abastecimiento de la población. Una normativa exigente y un control estricto de los métodos de producción constituyen potentes obstáculos al desarrollo. Sin embargo, cuando estos mismos países intentan exportar su produccíon hacía paises desarrollados, se confrontan, por parte de sus clientes, a la ausencia de reconocimiento de su normativa de producción. En conclusion, la problematica de los obstáculos técnicos al comercio internacional de los productos ecológicos es un tema de gran actualidad, del cual las organizaciones del sector deben preocuparse.

Palabras clave: Agricultura ecológica, Comercio internacional, Barreras, Normativas.

SUMMARY

INTERNATIONAL COMPETITION AND ETHICS OF PRODUCTION: IS ORGANIC AGRICULTURE AN EXCEPTION?

Organic farming is developing at different levels all around the World. Its products are subjected to international trade that is likely to be hampered by technical barriers such as the standards of production. This contribution is a thought on the current evolu-

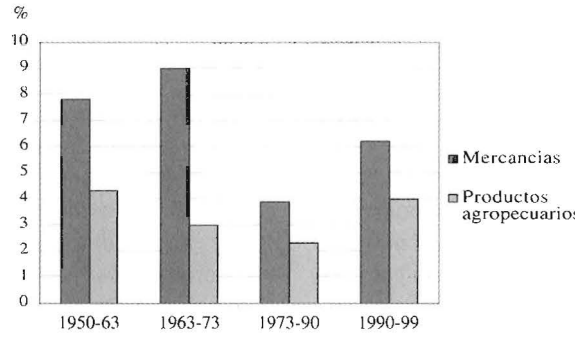
1. Autor al que debe dirigirse la correspondencia: p.sans@envt.fr

tion of the harmonization / standardization of the rules of production at a world level. The authors show that this evolution is far from being completed and presents important obstacles: the definition of organic farming is not homogeneous world-wide; the organization of the control of the production rules varies from one country to another. One of the reasons for these differences lies in the heterogeneity of the levels of economic development closely linked to the worry of the citizens and their governments: developing countries see organic farming as a way to provide their population with food thanks to a mode of production using less and less inputs. At the same time, they can hope to hold some market shares in developed countries: then, they face rules of production and methods of assessment that are different from those into force in their countries. Thus, organic farming, far from being an exception, is fully concerned with the problems of the non-tariff barriers for international trade. It is a subject of great importance for which professional organisations from the organic sector must worry about.

Key words: Organic agriculture, World trade, Tecnical barriers, Standards.

Desde principios de los años cincuenta, el comercio internacional de mercancías ha crecido de forma espectacular: la tasa media de crecimiento anual (en volumen) osciló entre el 4 y el 9% durante el periodo 1950-1999 (figura 1). En este conjunto, los intercambios de productos agropecuarios presentaron la misma tendencia a largo plazo pero el crecimiento en volumen, y sobre todo en valor, resultó más bajo (figura 1). Aunque llama la atención tanto a políticos como a grupos anti-globalización, el comercio de los productos agropecuarios tan sólo representa en la actualidad un 10% de los intercambios de mercancías en el mundo (para un valor de 544 billiones de $ US).

Dada la extensión de la agricultura ecológica a nivel mundial, los productos ecológicos participan en el comercio de mercancías.



Fuente: (WTO, 2000)

Figura 1. Variación porcentual anual media del volumen del comercio mundial de mercancías y de productos agropecuarios (1950-1999).

Figure 1. Average annual growth of the trade volume of goods, agricultural products and foodstuffs (mean 1950-1999).

En esta contribución nos proponemos destacar las consecuencias de la heterogeneidad de los métodos de producción y de control técnico a nivel mundial. En una primera parte, expondremos la problemática general del libre comercio basandose en la clasificación usual de los obstáculos a los intercambios (aranceles aduaneros *vs* obstáculos técnicos). La segunda parte será dedicada a analizar del movimiento actual de armonización de las normativas de producción y de control de la agricultura ecológica: abordaremos los problemas más relevantes que se plantean durante este proceso, entre cuales figuran las diferencias de los niveles de desarrollo económico de los países que participan en el comercio de productos ecológicos.

Libre comercio, competencia y calidad de los productos

La armonización de las normas internacionales: un tema conflictivo

El desarrollo del comercio internacional es el resultado de una fuerte voluntad, en el marco del Acuerdo General sobre Aranceles Adanueros y Comercio (GATT) y posteriormente de la Organización Mundial del Comercio (OMC), de bajar poco a poco los aranceles aduaneros que limitan, entre otros, los intercambios de productos agropecuarios. La reducción de los aranceles aduaneros permitió que las corrientes comerciales fluyeran con mayor libertad y, en consecuencia, que aumentara la competencia entre los productores a nivel mundial. Por lo tanto, se puede imaginar facilmente que unos países se vean tentados a crear barreras comerciales basadas en aspectos técnicos (tal como los reglamentos sanitarios, las normas técnicas) con una finalidad proteccionista (DOUSSIN, 2000). Frente a este fenómeno, la OMC promovió la firma de dos acuerdos que regulan la creación de barreras comerciales:

• el acuerdo sobre las medidas sanitarias y fitosanitarias (SPS en inglés) define las reglas oportunas para garantizar la inocuidad de los alimentos, la vida y salud de los animales y la preservación de los vegetales. Se puede aplicar, por ejemplos, en temas tales como los riesgos de contaminación por micotoxinas o patógenos de los alimentos destinados a los consumidores;

• el acuerdo sobre los obstáculos técnicos al comercio trata de garantizar que los reglamentos técnicos y las normas, así como los procedimientos de prueba y certificación, no creen obstáculos innecesarios al comercio. En el ámbito de la alimentación humana, completa el acuerdo SPS para temas como la calidad nutricional de los alimentos, la composición química o el etiquetado.

Para evaluar si un obstáculo es válido o no, cada día se recurre más al concepto de normas (o estandardes) internacionales que aparecen como referencias (BUREAU *et al.*, 1998): un país que adopta un reglamento más exigente tiene que demostrar la legitimidad científica de tal normativa nacional para garantizar una mejor protección de los consumidores o una calidad superior de los alimentos.

Algunos países (entre los cuales algunos de los que forman parte de la Unión Europea) consideran que aquella definición de la "calidad" de los alimentos es muy incompleta: insiste en la busqueda de la seguridad sanitaria de los consumidores pero no se interesa en otras dimensiones de la calidad, tal como el origen del producto o su modo de produccíon. Ahora bien, en Europa occidental especialmente, los consumidores están cada día más atentos a atributos éticos tal como el bienestar de los animales o el respeto del medio ambiente en los procesos

de producción (MAHÉ, 1997). Esta fuerte sensibilidad se ha traducido de dos formas:

• la promulgación de reglamentos publicos (leyes, decretos...) que imponen a todos, modos de producción exigentes. La directivas de la Comunidad Europea en el tema del bienestar animal (interdicción de mantener ponedoras en aulas por ejemplo) o en el tema de la protección del medio ambiente (Directiva Nitratos) constituyen ejemplos de esta voluntad del poder político.

• el desarrollo, por parte de los profesionales del sector agropecuario, de sistemas de producción controladas y certificadas en el marco de una normativa peculiar. Cada productor puede, si lo desea, entrar en este sistema de producción, cuya finalidad es la diferenciación del producto en el mercado final. Espera pues sacar ventaja (renta) de la propensión de ciertos consumidores a pagar un precio superior por productos que ofrecen garantias sobre atributos específicos (bienestar animal, medio ambiente...).

Visto que la evolución histórica, la cultura local y los niveles de desarrollo económico de los países que intercambian en el comercio internacional son muy distintos, parece normal que existan diferencias, tanto en la evaluación de los riesgos probados o posibles, como en la sensibilidad relativa de los consumidores a las dimensiones éticas. No es extraño, entonces, que existan divergencias entre los reglamentos de las distintas regiones del mundo. Sin embargo, esta situación proporciona distorsiones de competencia ya que, si por una parte modifica el nivel relativo de los costes de producción, y por otra parte conduce a una restricción del mercado potencial de un país (disminución de la participación en el mercado) si el producto participa en el comercio internacional, tal como es el caso del pollo, mencionado por BUREAU y MARETTE (1999). ¿Habrá que concluir pues que sólo una armonización de las normas internacionales puede "salvarnos"?

Competitividad, precio justo y ética

La aplicación de los principios del libre comercio llega a una situación de alineamiento de los precios de un país (precios internos) con los precios internacionales considerados como los únicos "verdaderos precios". Los precios internacionales resultarían del mejor reparto de los recursos productivos en un mercado perfecto, es decir libre de distorsiones: la aptitud de producir a dichos costes da al país una excelente competitividad y una ventaja significativa en la competencia internacional (BERTHELOT, 2001, pp. 68-69). Este punto de vista no toma en cuenta los efectos externos (negativos) de la producción sobre el medio ambiente o los seres humanos (condiciones sociales). La determinación del precio justo supone pues la internalización de aquellos costes (costes de destrucción o de deterioro) en el coste de producción (vease la aplicación en Europa de la norma "el que contamina, paga"). Tal como lo menciona Bürgenmeier, "*dos fuerzas contrarias se manifestan en cuanto a la ética económica: la eficacia y la equidad*" (BÜRGENMEIER, 2000, p. 224). La primera la dirige "*la expresión lo más libre posible del interés individual, el cual es el motor de los mercados competitivos*"; la segunda intenta que "*los intereses individuales converjan hacia el interés común usando valores morales*" (BÜRGENMEIER, 2000, p. 220)[1].

1. Todos los miembros de la OMC no comparten esta opinión: la Unión Europea, que deseaba introducir la cuestión del respeto del medio ambiente y de las condiciones sociales en el programa de la negociación del *Millenium Round*, se enfrentó a una fuerte oposición de los Estados Unidos, entre otros.

La agricultura ecológica parece ser un campo idoneo para explorar esta problemática ya que aparece con ella el dilema entre la eficacia (individual) y la equidad (colectiva):

• por una parte, si bien los productos ecológicos están en trance de reconocimiento a nivel mundial (gracias al *Codex alimentarius*), todavía la agricultura ecológica no tiene una norma internacional sino una serie de reglamentos heterogéneos (en cuanto a los contenidos y a la forma de controlarlos). Además, parte de los productos vienen implicados en los intercambios entre países con niveles de desarrollo económico muy distintos (por ejemplo, las frutas tropicales que se exportan a Estados Unidos o a Europa). La agricultura ecológica constituye pues un terreno de enfrentamiento comercial en un mercado donde siguen existiendo distorsiones que pueden dificultar las exportaciones de algunos de estos países;

• por otra parte, en su base, este modo de producción incorpora valores éticos en el dominio del desarrollo sostenible tal como el respeto de la biodiversidad, del bienestar animal, el uso de razas autóctonas adaptadas al medio...También, lucha por la preservación del capital biológico colectivo para que se pueda transmitir en buenas condiciones a las futuras generaciones.

¿La agricultura ecológica, un sector protegido de las distorsiones y de los obstáculos al comercio?

La agricultura ecológica: un reto importante para los países en desarollo

Según el International Trade Centre, unos 130 países estan implicados en la agricultura ecológica: entre ellos, 90 son países en desarrollo entre los cuales 15 forman parte del grupo de las naciones menos adelantadas (KORTBECH-OLESEN, 2000). Para estos países, son dos las "virtudes" de la agricultura ecológica (SCIALABBA, 2000):

• es claramente un modelo de agricultura que usa poco insumos (limitación de los abonos por ejemplo) y que, gracias a la multiplicación de pequeños productores, puede contribuir de forma significativa al abastecimiento de la población. Para cumplir con este objetivo, un reglamento (ley, normativa...) estricto constituye un potente obstáculo al desarrollo;

• es una oportunidad para que los países en desarrollo participen en el comercio internacional vendiendo productos con fuerte valor añadido: de hecho, los productos ecológicos son uno de los pocos ejemplos de diferenciación de bienes, reconocido a nivel mundial. Hoy día, una parte importante de los intercambios de productos ecológicos viene constituida por frutas o plantas tropicales (te, algodón, plátano...) exportadas hacia países desarrollados.

La exportación de estos productos es difícil y resulta menos beneficiosa por la falta de armonización de las normativas de producción en el mundo y de los métodos de control y de certificación. Por ejemplo, para entrar en la Comunidad Europea, los productos ecológicos procedentes de países extranjeros, necesitan una autorización previa, concedida por el Estado Miembro, tras un examen atento de las normativas y de los sistemas de control (del país extranjero y del Estado Miembro). Este costoso trámite, a cargo de la sociedad importadora, es consecuencia de la falta de reconocimiento mutuo de las normativas[2]. Constituye pues un ejemplo de obstáculo técnico al comercio, que perjudica los intercambios de los países en desarrollo.

2. En la actualidad, sólo seis países se eximen de este trámite ya que sus sistemas de producción y de control han sido reconocidos como equivalentes al de la Unión Europea. Se trata de Argentina, Australia, Hungría, Israel, República Checa y Suiza.

La cuestión de la armonización de las normativas y de los controles

Desde la óptica del libre comercio, parece lógico y necesario armonizar las normativas de producción y los métodos de control. Cabe destacar tres iniciativas que van en este sentido:

• la ratificación de un reglamento único que rija los métodos de producción de los productos vegetales (1991) y animales (1999) ecológicos en la Unión Europea;

• la labor del IFOAM que pretende definir lo que sería una plataforma internacional sobre la producción ecológica y las condiciones de acreditación de las organizaciones de control;

• la labor del *Codex Alimentarius* que pretende ofrecer una base mínima, permitiendo a cada país la elaboración de su normativa propia, conforme con las reglas del comercio internacional (CODEX ALIMENTARIUS, 1999).

Estas recientes iniciativas plantean distintos problemas:

a) se trata de un proceso a largo plazo. Un análisis comparativo de las principales normativas en el ámbito de la ganadería ecológica (entre las cuales figuran las tres anteriormente mencionadas) muestra que quedan muchas diferencias (SCHMID, 2000). Parece útil encontrar un punto de equilibrio entre una tentación rigorista (escalada) y cierto laxismo. La primera, caracterizada por ejemplo por un exceso de criterios técnicos, desanima a los productores inicialmente interesados en el concepto y, a veces, es irrealista y onerosa; la segunda perjudica la credibilidad de la agricultura ecológica a causa de la debilidad del control del reglamento.

b) la voluntad de consenso puede llegar a una formulación demasiado vaga de las exigencias (por ejemplo en los temas del bienestar animal o de las condiciones de alojamiento). En este caso, la cuestión de la armonización recae sobre la confianza y el reconocimiento mutuo de los sistemas de control: ¿que significa la palabra "bienestar" en ambos lados del Atlántico, donde existen sistemas de producción muy diferentes? ¿Como se puede evaluar el bienestar con criterios objetivos y mesurables? ¿Existe un consenso internacional en este tema? Al contrario, una definición armonizada y precisa de las condiciones de producción a un nivel internacional, puede dejar al margen, fuera de juego, ciertos sistemas que pueden justificarse ya que existen características de suelos y climatología muy distintas en el mundo. ¿No sería una locura imaginar una única normativa que pretendiera cubrir situaciones tan heterogéneas?

c) finalmente, teniendo en cuenta que el mercado que quieren conquistar los países en desarrollo está constituido básicamente por las economías desarrolladas, se percibe una clara tendencia al alza del nivel de exigencias de las normativas nacionales (e internacionales). La sensibilidad, por parte de los consumidores europeos o norteamericanos, a una definición global de la calidad y su propensión a pagar un sobreprecio permite la integración en las normativas, de la dimension ética de la producción ecológica en su concepción holística, es decir:

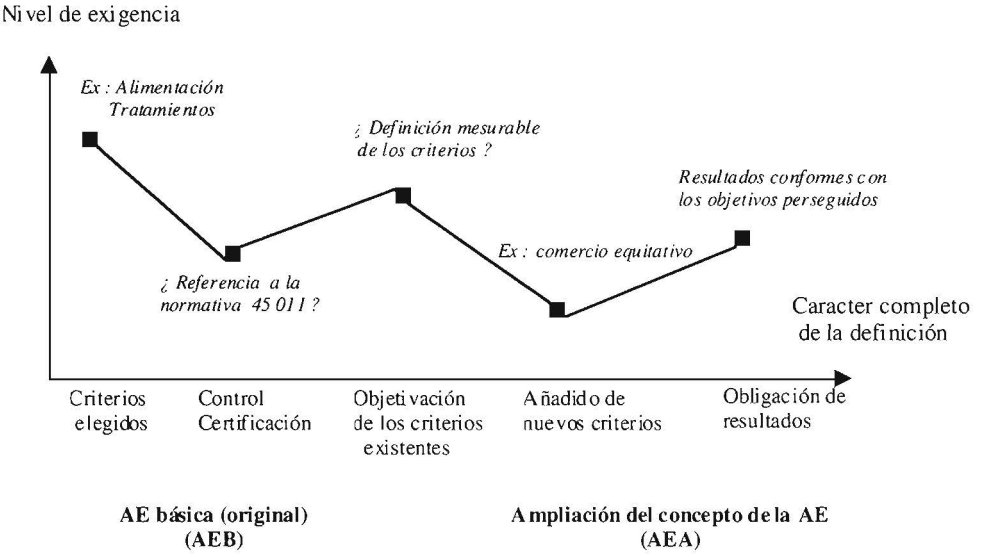
• el respeto del medio ambiente gracias a prácticas de cultivo que no perjudican los recursos naturales (agricultura sostenible);

• el respeto del bienestar animal en sus cuatro dimensiones (ausencia de hambre y sed, alojamiento idóneo, expresión posible de los hábitos normales de la especie, ausencia de miedo y de sufrimiento);

• la afirmación del respeto de los seres humanos implicados en la producción (con-

dición social): aquella tercera dimensión, que corresponde al concepto del comercio equitativo (*fair trade*) parece imponerse poco a poco como parte de la ética de la agricultura ecológica (BROWNE *et al.*, 2000). Así, en el año 1996, el IFOAM añadió un capítulo (n° 10) a su normativa, y luego, en el 1999, empezó la redacción de un Código de Buenas Prácticas para los Exportadores de productos ecológicos (IFOAM, 2000).

El tema de la armonización de las normativas cubre dos aspectos muy relacionados, que determinan el sentido de las acciones útiles que habrá que desarrollar (figura 2).



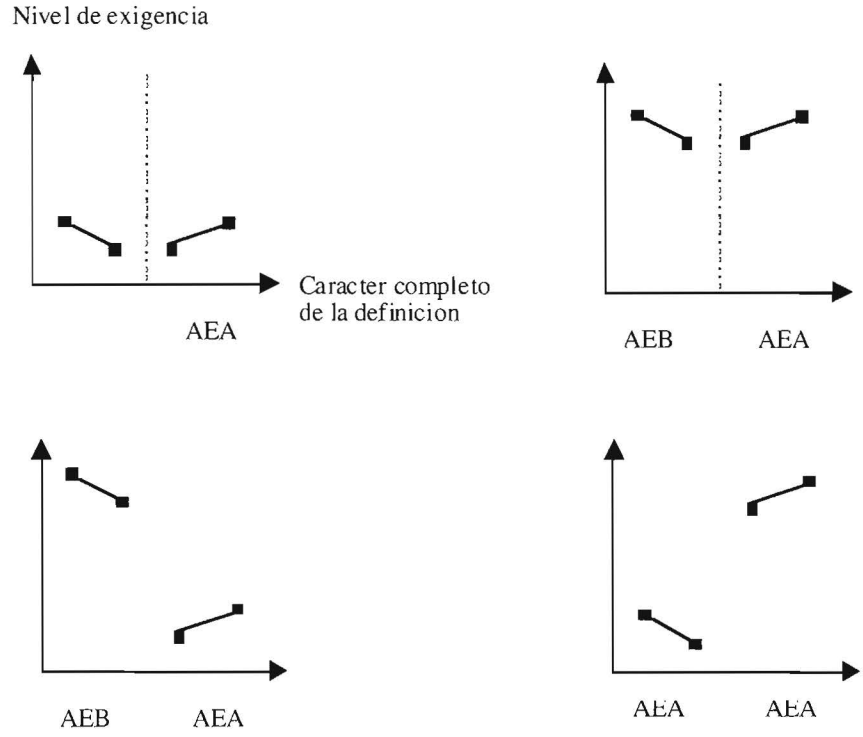
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Variabilidad de las definiciones del concepto de agricultura ecológica.
Figure 2. Variety of the definitions for the concept of organic farming.

El primero se refiere al nivel de exigencia formulado y a la objetivación del control de los criterios ya elegidos. El segundo se refiere al caracter completo o no de la definición de la agricultura ecológica: se trata de decidir si es oportuna, o no, la ampliación del concepto de la agricultura ecológica añadiendole nuevos atributos tal como el comercio equitativo, el impacto de las prácticas actuales de la agricultura ecológica sobre el medio ambiente o la calidad de los productos, etc.

La elección de una normativa internacional (figura 3) es una etapa importante ya que influye en los costes de producción de los distintos países y en las oportunidades de los operadores para diferenciarse al adoptar un estándard más exigente que la normativa internacional.

La cuestión del tipo de normativa no solo influye en los intercambios entre el Norte y el Sur sino que afecta también a las relaciones comerciales entre países en desarrollo de una parte, y entre países desarrollados por otra parte. Dos ejemplos lo muestran claramente:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Las cuatro alternativas para definir una normativa internacional sobre agricultura ecológica.
Figure 3. The four ways to define an international standard for organic farming.

Punto b): Francia, tras ratificar el reglamento europeo 1804/99 sobre las producciones animales ecológicas, hizo uso de su derecho de subsidiaridad. Como estimaba que, de la voluntad de llegar a un consenso europeo había salido un texto menos riguroso y preciso que la legislación vigente en Francia, añadió nuevas exigencias (alimentación de los animales, vínculo ganaderia-suelo...), con el riesgo de introducir una distorsión que perjudicara a sus propios operadores. En efecto, este reglamento se impone a todos los productores franceses implicados en la agricultura ecológica pero no permite la prohibición de la entrada de productos ecológicos procedentes de otros Estados Miembros que se conforman con la normativa europea;

Punto c) 3er apartado: unos productores se quejan de los sistemas de producción vigentes en otros Estados Miembros, en cuanto a la dimensión ética: la contratación, por parte de grandes explotaciones horticolas, de mano de obra extranjera (o sea ajena a la Comunidad Europea), sin derechos sociales y muy mal pagada, no les parece conforme con "el modelo ético" mencionado anteriormente (Anonyme, 2000).

Síntesis

En conclusión, queda claro que la agricultura ecológica no puede permanecer al margen del movimiento a largo plazo de incremento del libre comercio a nivel internacional. Ya que se trata de una producción bajo control y certificación, el tema de las distorsiones de competencia nos parece altamente relevante: no sólo influye la heterogeneidad de los reglamentos (leyes que se aplican a todos los productores y productos que sean o no ecológicos) sino que se añaden los efectos de la falta de armonización de las normativas de producción ecológica y de los métodos de control. La problemática de los obstáculos técnicos al comercio internacional de los productos ecológicos es sin duda un tema de gran actualidad, del cual las organizaciones del sector deben preocuparse.

Frente a este proceso de armonizacíon, los países en desarrollo persiguen dos objetivos parcialmente antagónicos:

- el primero radica en la voluntad de desarrollar una producción ecológica sin modificar mucho los sistemas (convencionales) ya existentes. El objetivo es mantener bajos costes de producción y de control (gastando poco en abono por ejemplo) para que la agricultura ecológica sea un vector de abastecimiento de la población (comercio local);

- el segundo nace de la necesidad de captar divisas extranjeras estableciendo corrientes comerciales con países desarrollados con productos de fuerte valor añadido. Hace falta pues respetar las normativas que están en vias de armonización a nivel internacional y que incorporan elementos nuevos (ética de producción) que piden parte de los consumidores de los países desarrollados. Si aquellos elementos no importan para cumplir con el primer objetivo, hay que tenerlos en cuenta para conquistar cuotas de mercados signficativas y duraderas en economías desarrolladas.

Los temas de los niveles de costes de producción admisibles para los países en desarrollo (bajo para el 1er objetivo, más elevado para el 2^{ndo}) y de la jerarquía de precios de venta dentro de un mercado competitivo, en el cual existen todavía obstáculos técnicos al comercio, nos parecen problemas muy importantes. Pudiera resumirse de tal forma esta cuestión: ¿es posible para un país en desarrollo llevar a cabo, a la vez, el incremento de su producción desde una óptica de desarrollo local de la agricultura (empleo, abastecimiento de la población...) y de desarrollo "global", es decir dirigido hacia la exportación, sin perder su identidad propia?

Bibliografía

ANONYME, 2000. La «bio» industrielle andalouse. Transrural initiative, 179.

BERTHELOT J., 2001. L'agriculture, talon d'Achille de la mondialisation – Clés pour un accord agricole solidaire à l'OMC. 509 pp. Ed L'Harmattan. Paris.

BROWNE A.W., HARRIS P.J.C., HOFNY-COLLINS A.H., PASIECZNIK N., WALLACE R.R., 2000. Organic production and ethical trade: definition, practice and links. Food Policy, 25, 69-89.

BUREAU J.C., GOZLAN E., MARETTE S., 1998. Qualité et sécurité des produits alimentaires: considérations pour le commerce international. Informe para la O.C.D.E, 39 pp.

BUREAU J.C., MARETTE S., 1999. Accounting for consumers' preferences in international trade rules. National Research Council Conference on Incorporating Science, Economics, Politics and Culture in Sanitary-Phytosanitary and International Trade, Irvine (California), 20 pp.

BÜRGENMEIER B., 2000. Principes écologiques et sociaux du marché. 306 p. Ed Economica, Paris.

CODEX ALIMENTARIUS, 1999. Directive concernant la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation des aliments issus de l'agriculture biologique. FAO-OMS CAC-GL 32-1999, 25 pp.

DOUSSIN J.P., 2000. La portée pratique des règles du commerce international dans la protection des consommateurs. INRA Sciences sociales, n°1/00, 4 pp.

IFOAM, 2000. Options for Code of Conduct for IFOAM traders. Pagina web: http://www.ifoam.org/social/

KORTBECH-OLESEN R., 2000. Export opportunities of organic food from developing countries. World Organics 2000, London, 4 pp.

MAHÉ L.P., 1997. Environment and quality standards in the WTO: new protectionism in agricultural trade. Eur Rev Agric Econ, 24 (3-4), 480-503.

SCIALABBA N., 2000. Factors influencing organic agricultural policies with a focus on developing countries. IFOAM 2000 Scientific Conference, Basel (Switzerland), 13 pp.

SCHMID O. (2000). Comparison of European Organic Livestock Standards with national and international standards: problems of common standards development and future areas of interest. Second NAHWOA Worshop, 76-91, Cordoba (Spain).

WORLD TRADE ORGANIZATION, 2000. International Trade Statistics. 222 pp, Geneva.

(Aceptado apara publicación el 11 de marzo de 2002)

ITEA (2002), Vol. **98V N.° 1,** 54-70

LA GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN LAS NORMAS ISO 9000:1994 EN EL SECTOR AGRO-ALIMENTARIO EUROPEO: EL CASO DE UNA REGIÓN MEDITERRÁNEA[1]

Giuseppe Di Vita

Dipartimento di Scienze Economico Agrarie (DISEAE),
Facoltá di Agraria, Universitá di Catania, Viale S. Sofia, 98
95123 Catania, Italia
email:gvitae@hotmail.com

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados que la implementación de la Gestión de la calidad según las normas ISO 9000:1994 produce en las empresas agro-alimentaria certificadas en una región mediterránea de la Union Europea. El presente análisis está dividido en tres partes. En la primera se ofrece un cuadro sobre la evolución de la certificación en el marco europeo e italiano. En la segunda parte se realiza un enfoque de lo que es la realidad numérica y geográfica de las empresas investigadas. En la tercera parte se exponen los resultados de la investigación limitados al caso de las empresas agro-alimentarias sicilianas. Los resultados del estudio nos permiten de afirmar que la elección de la certificación como instrumento precursor de la diversificación parece actualmente la mejor opción y está destinada a representar un modelo a emular para todas las empresas que esperan mantenerse e incluso incrementar su presencia en los mercados nacionales y sobre todo extranjeros.

Palabras clave: Gestión de la calidad, ISO 9000:1994, Empresas agroalimentarias, Sicilia.

SUMMARY
QUALITY MANAGEMENT AND ISO 9000:1994 SERIES IN THE EUROPEAN AGRO-FOOD SYSTEM: THE CASE OF A MEDITERRANEAN REGION

The focus of this paper is on the quality certification based on ISO 9000:1994 and on the results that this choice produce in the agro-food system of a mediterranean region of the European Union. The paper is divided in three parts. The first part develops the aspects on the growth of certificacion phenomenon in Italy and in European Union. The second step presents the methodology and the location of research. The third step shows the results of this study about sicilian agro-food firms. The results of the investigation allow to demonstrate that the choice of certification is, at the present, the best opportunity for the firms and represents a model to imitate by all companies that want to stay and grow their presence in the national and international markets.

Key words: Quality management, ISO 9000: 1994, Agro-food firms, Sicily.

1. Los datos utilizados en el presente estudio se han extraído de una parte de la tesis doctoral del autor que agradece la revisión hecha por la profesora Raquel Marbán Flores, cuya ayuda y consejos han sido fundamentales para la traducción al castellano.

Introducción

Objetivos de la investigación

Desde hace algún tiempo en Italia se registra un notable incremento en la demanda de productos alimentarios con características accesorias superiores y con calidad certificada (DE GENNARO, 1996).

La evolución en los consumos se desprende de la tendencia típica de las "economías maduras" donde las reducciones de la demanda de bienes alimentarios genéricos desarrollan nuevas tendencias de consumo –como la diferenciación de los gustos y de las comidas, así como, el aumento de los aspectos saludables– que crean nuevos segmentos de demanda (PASCA-PERI, 1993).

Uno de los caminos elegidos por las empresas italianas, para satisfacer este segmento de demanda, ha sido la implementación de los sistemas de calidad certificados (SQ) conocidos a nivel internacional como normas ISO 9000: 1994[2].

A pesar de la relevante bibliografía relativa a la adopción de las normas ISO 9000 en el sector industrial (MANN R., KEHOE D., 1994; STREET P.A., FERNIE J.M., 1992) son escasos y fragmentarios los estudios sobre los efectos de la calidad certificada en el sector alimentario europeo (AGABITI M.F., GREGORI M., 1998, MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1999).

El objetivo de nuestra investigación es conocer la realidad actual de las empresas certificadas centrando nuestra atención en las estrategias y en los motivos de crecimiento de las mismas y midiendo los costes, los resultados, los beneficios y las ventajas obtenidas como consecuencia de la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad.

El presente análisis está dividido en tres partes. En la primera se ofrece un cuadro sobre la evolución de la certificación en el marco europeo e italiano. En la segunda parte se realiza un enfoque de lo que es la realidad numérica y geográfica de las empresas investigadas. En la tercera parte se exponen los resultados de la investigación limitados al caso de las empresas sicilianas.

El cuadro teórico del concepto de calidad

En el debate económico sobre el concepto de calidad en los últimos años han sido numerosas las hipótesis posibles que pueden caracterizar su introducción en el sector agro-alimentario.

Varios autores (STEENKAMP, 1989; AGABITI, GREGORI, 1998; DI VITA, 2001) distinguen, de manera convencional, la política de la economía de la calidad según cuatros enfoques diferentes: metafísico, económico, normativo y de gestión. El primer aspecto se refiere al análisis profundo y teórico del concepto de calidad en su plurivalencia (multidimensionalidad) de sentidos e interpretaciones. El enfoque económico sistematiza el tema en términos de economía política extrayendo de la compleja realidad económica los modelos teóricos y matemáticos sobre los cuales basa el análisis relacionado con los complejos equilibrios de mercado. El aspecto normativo analiza el fenómeno teniendo en cuenta la interrela-

2. Las normas ISO nacidas en el 1987, como respuesta a las normas inglesas BS 5750 con el nombre EN ISO 29000 cambian su sigla en 1994 en UNI ISO 9000. A partir del 2001 las ISO 9000, después de ciertas variaciones, han sido renombrados como ISO 9001: 2000.

ción entre la calidad y el contexto político-institucional. El último enfoque, que estudia los aspectos del sistema organizativo de las empresas, es lo que caracteriza nuestra investigación.

El tema de la calidad certificada considera, desde una perspectiva empresarial, dos diferentes aspectos: los internos y los externos a la empresa. El primero se refiere a la mejora en la organización interna, el segundo considera los aspectos de diferenciación como una estrategia de diversificación en mercados marcadamente competentes. Las empresas realizan su ventaja competitiva a través de la diferenciación de producto (PORTER, 1999) en un contexto de integración vertical entre los distintos eslabones de la cadena productiva (HENNESSY, 1996).

Así que, con la adherencia de un producto a determinados y prefijados requisitos y optimizando varias fases a lo largo de la "filiere", la empresa llega a una disminución de los costes de transacción (WILLIAMSON, 1987) por un lado y alcanza una mayor satisfacción de los consumidores –debida a una correcta información sobre las características de los productos certificados– por otro lado.

De esta manera se pasa del concepto de empresa como "lugar de producción" al de "lugar de conocimientos" relativos a las nuevas variables endógenas que determinan las variaciones de la función de demanda (GAETA, 1997). La empresa consigue, por fin, su ventaja competitiva solo adaptándose rápidamente a las continuas mutaciones del mercado, que pide –cada día con más frecuencia– productos de calidad y verticalmente diferenciados.

La adopción de las normas ISO 9000[3], que diferencia verticalmente los productos, actúa como herramienta de competencia entre las empresas y como marca distintiva para los consumidores. A pesar de los beneficios demostrados en muchos estudios (RAYNER, PORTER, 1991; VLOEBERGHD D., BELLENS J., 1996; HERRERA J., MORENO M.D., MARTÍNEZ C., 1998; DI VITA G., 2001) la implementación de dichas normas trae consigo costes y modificaciones internas significativas para las empresas. Por esta razón, se hace oportuno conocer más detalladamente los impactos para evaluarlos desde una óptica económica y organizativa.

La evoluccion del fenómeno certificación

La certificación ISO 9000: 1994 en la Unión Europea

Los datos sobre el proceso de la certificación en Europa (no desagregados por sectores), nos indica que, desde el principio, se ha registrado un incremento substancial progresivo en el número de las empresas certificadas en conformidad a lo establecido por la norma ISO 9000.

3. Las normas ISO 9000 constituyen una guía de gestión de empresa que tiene por objetivo alcanzar un producto o servicio, un nivel cualitativo estándar y de manera continuada que permita introducir el concepto teórico de calidad en la dinámica de la empresa. A través de sus 20 puntos, las normas actúan por un lado una racionalización y optimización del proceso de empresa y ofrecen, por otro lado, una mayor garantía y confianza al consumidor respecto a la homogeneidad de producto. El sistema de calidad, que diferencia un producto certificado de uno genérico se define como un "conjunto de estructuras organizativas, responsabilidades, procedimientos, actividades, capacidades y recursos que asegura que los productos y los procesos sean fieles a los requisitos de calidad".

Como puede observarse en el cuadro 1, el incremento de las certificaciones en el periodo 1994-1999 ha incrementado en un 395% en ese periodo de tiempo. Al final de 1999 eran 201.935 las empresas certificadas de acuerdo a la norma ISO 9000.

Según los datos disponibles en el Ente di Unificaciones Italiano (UNI) y el Istituto italiano di Garanzia della Qualità (IGQ) en Italia y en España los valores se han multiplicado por un 130% mientras que en Alemana lo han hecho por un 111%.

Cuadro 1. La evolución de la certificación según las ISO 9000 en Europa
Table 1. The growth of ISO 9000 certification in Europe

Estado	Número de empresas por año			
	1994	1997	1998	1999
Reino Unido	33.000	55.000	60.000	69.000
	100	166	181	209
Alemania	3.500	20.000	26.000	39.000
	100	571	742	1.114
Italia	2.139	12.378	18.000	28.000
	100	578	841	1.309
Francia	2.850	10.000	13.000	17.500
	100	350	456	614
Holanda	2.600	7.500	8.000	8.600
	100	288	308	330
España	600	4.000	7.000	8.000
	100	666	1.166	1.333
Suiza	1.300	4.500	6.440	7.500
	100	346	495	576
Suecia	500	2.800	3.500	4.375
	100	560	700	875
Bélgica	1.006	3.000	3.300	3.630
	100	298	328	360
Austria	300	2.500	3.000	3.600
	100	833	1.000	1.200
Irlanda	1.100	2.000	2.400	2.880
	100	181	218	261
Dinamarca	900	2.100	2.200	2.000
	100	233	244	222
Finlandia	500	1.300	1.380	1.800
	100	260	276	360
Noruega	400	1.050	1.200	1.550
	100	262	300	387
Portugal	250	700	1.000	1.300
	100	280	400	520
Grecia	80	330	600	1.200
	100	412	750	1.500
Total	51.025	129.658	157.020	201.935
	100	254	307	395

Fuentes: elaboraciones sobre datos UNI (diciembre 1994) y IGQ (1997/1999).

La certificación ISO 9000 de las empresas agroalimentarias en Italia y en Sicilia

A causa de las nuevas exigencias de mercado (exportaciones y reclamaciones por parte de los consumidores) y en conexión con las relaciones comerciales de la gran distribución organizada (GDO) el número de las empresas agroalimentarias con sistema de aseguramiento de la calidad certificada crece con una tendencia exponencial. De las 7 unidades productivas certificadas al final de 1993 se ha llegado a las 992 unidades en diciembre de 1999 (cuadro 2). La mayoría de las empresas están situadas en el norte de Italia y, en particular, en Emilia Romagna, Lombardia, Veneto y Piemonte.

La cuota total de las empresas certificadas representa tan sólo el 1,42% del total de las empresas italianas.

Cuadro 2. Evolución de la certificación en el sector agro-alimentario en Italia
Table 2. The growth of certification in the italian agro-food system

Año	Número de empresas certificadas
1993	7
1994	21
1995	44
1996	124
1997	261
1998	524
1999	992

Fuente: SINCERT (2000).

En Sicilia sólo 23 empresas sobre un total de 9.325 han recurrido a la implantación del sistema de calidad mediante las normas ISO, con un porcentaje que es del 0,25%. El 91,3% de éstas han preferido la norma ISO 9002 mientras que, sólo el 8,7% han elegido la norma ISO 9001.

Considerando que el año de publicación de las normas fue 1994, resulta evidente el retraso con el cual el sector alimentario ha iniciado su camino hacia la calidad certificada. En efecto, como exponemos en el cuadro 3, las primeras certificaciones no se registraron hasta el año 1997.

Cuadro 3. Evolución de la certificación, según las normas ISO 9000, en el sector agro-alimentario en Sicilia
Table 3. The growth of ISO 9000 certification in the sicilian agro-food system

Año	Número de empresas certificadas
1994	–
1995	–
1996	–
1997	2
1998	8
1999	23

Fuente: SINCERT (2000).

El caso estudio

Metodología de la investigación

La investigación fue realizada mediante una encuesta dirigida a la totalidad de las empresas agroalimentarias certificadas con la norma ISO 9000 en Sicilia. De las 23 empresas certificadas sólo 21 han estado dispuestas a participar en nuestra investigación.

La entrevista se realizó a los gerentes de las empresas de diferentes sectores del sistema agro-industrial siciliano en el periodo octubre/diciembre 1999 con una encuesta –que se caracterizó por preguntas abiertas y cerradas– dividida en siete partes relativas a:

- caracteres estructurales de las empresas (tipología, facturación y estructura productiva
- empleados (número, tipo y implicación al SQ)
- proceso productivo y de distribución desarrollados en las distintas empresas
- sistema de calidad (motivaciones e implantación) cambios y inversiones efectuados
- costes soportados para la obtención de la certificación
- efectos conseguidos con la certificación (internos y externos a las actividades empresariales).

Características generales

Sobre un total de 23 empresas certificadas 6 pertenecen al sector de frutales y hortalizas, 5 al sector vitivinícola, 2 al sector de transformación de productos cítricos (zumos y derivados), 3 al sector del café, 2 al sector de los dulces (helados y pastelería), 1 al sector de la pasta y 1 al sector del pescado. Las últimas 3, clasificadas como productos alimenticios diversos producen además sal marina, bebidas alcohólicas y congelados.

El total de las empresas certificadas cuenta con más de 700 empleados fijos y más de 1.100 empleados estacionales (temporales) y alcanzan, en facturación, un volumen de 258.228.450 euros.

El cuadro 4 muestra cómo la facturación media anual es de 11.083.165 euros, mientras que, la media de empleados por empresa es de 32,5 unidades trabajadoras.

Desde el punto de vista sectorial el más representativo es el horto-frutícola, seguido del sector vitivinícola, que, a pesar de ser segundo, representa el sector más dinámico y con una facturación media más alta y atento a los aspectos organolépticos de los productos.

Si nos referimos al número de empleados, es posible, como está señalado en las indicaciones de la legislación europea[4], identificar 3 categorías distintas de tamaño de las empresas. De las 21 empresas analizadas, 19 son clasificadas como pequeñas empresas, 1 como micro-empresa y 1 como media. Nosotros consideramos que tan sólo las 19 empresas clasificadas como pequeñas tienen una facturación media de 10.009.000 euros.

4. Nota de la Comisión Europea SG (97) D71973 del 20/10/1997.

Cuadro 4. Características de las empresas por tipología de producto
Table 4. Product characteristics of different firms

Producto	Número empresas	%	media empleados fijos	facturación media anual (Euros)
Fruta y hortalizas	6	26,3	27,5	12.198.383
Vinos	5	21,8	31	12.291.674
Café	3	13	31	6.920.522
Productos cítricos transformados	2	8,7	37	11.878.509
Pasteles/Dulces (helados, pasteles)	2	8,7	14	2.169.119
Pastas alimentarias	1	4,3	38	7.127.105
Bebidas alcohólicas	1	4,3	122	58.927.732
Pescados	1	4,3	-	1.807.599
Alimentos congelados	1	4,3	22	2.582.285
Sal	1	4,3	11	3.615.198
Total	23	100	32,5	11.083.165

Fuente: SINCERT, 1999.

Resultados de la investigación

Factores de motivación y objetivos de la certificación

Los motivos principales que han llevado a las empresas a adoptar el sistema de calidad certificado se pueden clasificar según dos tipos de razones. Por un lado están las razones internas y, por otro lado, las razones externas a la organización productiva. Dentro del primer tipo de razones se destacan las motivaciones relacionadas a la mejora de la organización interior, como puede ser una mayor eficacia en la coordinación entre varios sectores de la empresa y una mejor eficiencia del proceso productivo (cuadro 5). Las motivaciones exteriores, en cambio, están referidas a todos los factores conectados al contexto geo-económico y a los mercados donde actúan las empresas (cuadro 6).

La certificación tiene, en la mayoría de los casos analizados en nuestra investigación, el objetivo último de penetrar en los mercados nacionales y, especialmente en los internacionales. Inicialmente fue la GDO y los importadores extranjeros los que exigían garantías específicas. Posteriormente, los demandantes nacionales se han ido incorporando a esa tendencia, pidiendo a sus proveedores garantías de certificación como las normas ISO.

Los datos recogidos nos permiten afirmar que las motivaciones que prevalecen son las interiores, dirigidas a la mejora organizativa y a la gestión de las empresas.

Como puede observarse en el cuadro 5, las finalidades perseguidas con la certificación pueden ser resumidas en tres grupos distintos de razones: optimización del pro-

ceso productivo, mejora de la organización empresarial y reducción de los costes.

El dato más interesante está representado por el alto porcentaje, un 80% de los casos, de las empresas interesadas en la optimización del proceso productivo. El siguiente dato más valorado por las empresas es la reducción de los fallos y la reducción de los "tiempos muertos" que fue registrada en el 33% y 24% de los casos, respectivamente.

A la mejor organización interna se reconducen la mayor actitud y responsabilidad de los trabajadores (19%) y la mejora de las condiciones de seguridad de los empleados. La reducción de los costes ha sido registrada en el 10% de los casos.

Entre las motivaciones exteriores la más importante ha sido el factor publicitario junto a la mejora de imagen hacia el consumidor (57%). El 19% de las empresas afirma que, la satisfacción del cliente y las exigencias de los consumidores intermedios (empresas de comercialización y GDO) han tenido una gran influencia en el hecho de adaptarse a la certificación, mientras que, el incremento de la competencia (14%), la mejora de las relacciones con los proveedores (14%) y la mayor disponibilidad de informaciones a lo largo de la "filiere" (4,7%) completan el cuadro explicativo de las razones exteriores.

Ninguna de las empresas entrevistadas afirma que la obtención de subvenciones públicas nacionales o regionales haya sido

Cuadro 5. Motivaciones internas
Table 5. Internal reasons

Motivaciones	n. empresas	%
Optimización del proceso productivo	17	80
Reducción de fallos	7	33
Disminución de tiempos muertos	5	24
Mejora organización empresarial	4	19
Mayor implicación y responsabilidad de los empleados	4	19
Mejora de las condiciones de trabajo y de seguridad de los obreros	3	14
Reducción de los costes de producción	2	9,5

Cuadro 6. Motivaciones externas
Table 6. External reasons

Motivaciones	n. empresas	%
Mejora de la imagen	12	57
Satisfacción de los consumidores intermedios	4	19
Exigencias de los mercados y clientes	4	19
Incremento de la penetración en los mercados	3	14
Mejora de las relacciones con los proveedores	3	14
Mayor disponibilidad de las informaciones	1	4,7

una razón a tener en cuenta para certificar su sistema de calidad.

Entre las dificultades que conlleva la implantación de un sistema de calidad se registra una cierta resistencia al cambio de tareas (dificultades culturales) de los trabajadores, sobre todo, los que tienen más de 40 años, así como, el aumento del factor "burocracia".

Tiempos de implantación y actitud de los empleados

La duración del proceso de implantación, desde la presentación de la documentación inicial hasta la obtención del certificado, resulta muy variable. La implantación de un sistema de calidad depende de muchos factores como organización interior de la empresa, dificultad de detectar las ineficiencias potenciales y nivel inicial de desarrollo de la empresa. Considerada la elevada complejidad de la elaboración del manual de la calidad[5], el 95% de las empresas ha encargado su elaboración a empresas consultoras exteriores. Con la ayuda de los consultores el periodo de implantación medio ha sido igual a 6 meses para el 57% de las empresas. Un periodo inferior a 12 meses se registra por el 38% de las empresas.

Al evaluar el nivel de aceptación en la implantación del sistema por parte de los empleados resulta que los gerentes ejecutan de la manera más correcta la "filosofía de la calidad" en la empresa. El 86% señala un alto grado (nivel) de responsabilidad e indica una confianza casi total de los grupos directivos frente la política integral de calidad. Sólo en el 14% de los casos encuentra una parcial actitud de los dirigentes a participar en el proceso de implantación del sistema de calidad. Ese último caso se registra en las empresas de mayor tamaño y, es debido al elevado número de directivos que componen la empresa.

En cuanto a la aceptación de los trabajadores se registra un salto generacional. Los mejores resultados en la adaptación a los nuevos sistemas operativos y a las nuevas normas introducidas con las ISO 9000 se llevan a cabo entre los trabajadores cuya edad media es inferior a los 40 años. Ellos señalan un mayor dinamismo interpretando correctamente y, en algunos casos, mejorando el contenido en las mismas normas.

Diferentes son los resultados cuando el personal sobrepasa una edad media de 40 años, en este caso se registran mayores dificultades a acostumbrarse a los nuevos procedimientos debidas a la elaboración escrita de la documentación y a la consecuente "burocracia". El cuadro 7 denota los diferentes niveles de actitud de los trabajadores.

Para evaluar el empeño desarrollado por las empresas para armonizar las actividades que permitan alcanzar los mejores resultados en términos de calidad, hemos considerado el porcentaje de trabajadores y dirigentes encargados directamente en la gestión del Sistema de calidad (*QS involved people*).

Nuestras observaciones revelan que el 52% de las empresas indican una adhesión parcial del personal al SQ, mientras que en el 48% de los casos indican una adhesión casi absoluta. Sólo en el 33% del total de la

5. El manual de calidad es el documento "máster" del Sistema de calidad. Nos indica las políticas de calidad, las estructuras organizativas de la empresa, las principales responsabilidades de los trabajadores y las modalidades operativas interiores. Es escrito y "puesto al día" por parte de los funcionarios del Sistema calidad, que lo distribuyen a todo el personal de la empresa.

Cuadro 7. Nivel de implicación de l personal (empleados no directivos) al SQ
Table 7. Level of involving workers to QS

Motivaciones	n. empresas	%
Elevado	10	48
Bueno	3	14
Suficiente	8	38
Escaso	–	–
Nulo	–	–
Total	21	100

muestra, la gestión del SQ se realiza con el aporte de todas las unidades trabajadoras de las empresas.

Al mayor empeño pedido a los trabajadores se ha registrado sólo un caso de retribución adicional (remuneraciones extras) como premio de productividad al alcanzar los objetivos prefijados por el SQ.

Los costes de la implantación del SQ

Los costes derivados de la implantación del SQ son incluidos en los costes de calidad, de los cuales muchos autores han realizado una clasificación (SHROEDER R.G., 1991, RIVERA VILAS L.M., 1994).

En nuestro esquema, explicado en el cuadro 8, diferenciamos los costes totales en la certificación del SQ entre directos e indirectos.

Los costes directos, llamados también costes para la implantación, incluyen los gastos para los consultores externos, para la obtención de la certificación por parte del Organismo de acreditación y para la formación previa del equipo empresarial (empleados y trabajadores). Son parte de los costes directos también los costes derivados del mantenimiento de la certificación relacionados con la gestión financiera y comercial (inspecciones y auditorías externas) de la certificación.

Los costes indirectos o costes estructurales, incluyen los gastos pagados para las inversiones requeridas para la implantación óptima del SQ, en una óptica de mejora constante. Entre los costes indirectos están:

- la adquisición de nuevas máquinas, "implantaciones de termo-acondicionamiento" y de laboratorios
- la adecuación de la estructura productiva y renovación de los sitios de producción (almacenes, depósitos, instalaciones, o laboratorios de análisis)
- la informatización de los procesos productivos (redes informáticas internas y de "filiere", creación de sitios Internet y web, desarrollo de correo electrónico)
- la adquisición de herramienta de control y máquinas
- la puesta a punto (calibración y contraste) de máquinas y, excepcionalmente, la formación continua de los empleados. En el cuadro 8 se representa un esquema explicativo sobre los costes del SQ.

Cuadro 8. Los costes totales en la certificación del SQ
Table 8. Costs of QS certification

Costes de la implementación (directos)
Sociedad consultora Registro (Ente de certificación) Formación de los empleados
Costes de mantenimiento (directos)
Mantenimiento anual de la conformidad de certificación Inspecciones y auditorías de consultores externos
Costes estructurales (indirectos)
Calibración de aparatos y máquinas Empleados interior (puesta al día y nuevas asunciones)

La investigación pone en evidencia cómo el "término" principal de los costes directos es debido a los gastos realizados por la empresa en la entrega[6] a las sociedades de consultoras y de formación, que han realizado el manual de calidad y los procesos necesarios para obtener la certificación. Nuestro análisis evidencia cómo la franja de variación de los costes por la consultoría está incluida entre un mínimo de 7.747 euros y un máximo de 43.898 euros, posicionándose a un nivel medio de 25.823 euros con desviación estándar alrededor de 10.330 euros.

Los gastos derivados de la obtención de la certificación por parte de los Entes de acreditación constituyen lo segundo partido en término de esfuerzo económico de las empresas. Dicha cuota varía entre los 3.098 euros y los 20.658 euros con un valor medio de 6.455 euros y una desviación estándar de cerca de 4.130 euros.

En el 63% de los casos los costes por la formación previa del personal (trabajadores y empleados) están incluidos en los costes relativos a la consultoría. Casi todas las sociedades consultoras ofrecen un "paquete completo" que comprende asistencia total y cursos gratuitos para los empleados. En otros casos el coste medio para la formación inicial resulta alrededor de 8.780 euros con una desviación estándar de 5.681 euros.

Tanto los Ente de acreditación como las sociedades consultoras efectúan inspecciones periódicas con el fin de evaluar la adhesión del SQ a los requisitos establecidos. En cuanto a los costes efectuados por las consultoras y los cursos de formación, nuestros datos resultan parciales por falta de información de las empresas. De todas formas estos costes representan una media anual de 2.582 euros con desviación estándar de 1.704 euros. Este capítulo de gasto puede

6. La mayoría de las empresas, objeto de la encuesta, han pedido ayuda a sociedades consultoras externas en las primeras fases de proceso de implantación del SQ.

llegar a ser eliminado después de una fase de rodaje del sistema. Generalmente este gasto se reduce o se elimina en cuanto las empresas acaban con la relación de colaboración con las consultorías fiando a sus inspectores internos la responsabilidad de gestión y de control del SQ.

Relativo a los costes estructurales, los gastos anuales para el mantenimiento de las máquinas y de los aparatos no alcanzan, en la mayoría de los casos, los 2.065 euros. En los costes estructurales está incluido también el término relativo a nuevas asunciones para la gestión del sistema calidad. En el 14% de los casos se registran asunciones de trabajadores mientras no se registra ninguna reducción de personal después de la implantación del SQ.

Ninguna de las empresas ha declarado utilizar programas informáticos para evaluar los esfuerzos económicos (costes) sostenidos; nuestra investigación ha evidenciado un escaso interés por evaluar el impacto que las normas ISO han producido en la economía de la empresa[7].

Con la unión (agregación) de todos los datos relativos a los costes se puede afirmar que, para una pequeña empresa siciliana, los costes directos medios relacionados con la obtención de la certificación ISO, o sea registro, consultoría, formación previa, y mantenimiento periódico de máquinas y aparatos superan los 41.316 euros.

Comparando los valores medios de los costes directos con la facturación media anual se evalúan que estos representan de media anual un 0,5% de la facturación.

Los principales cambios: inversiones y modificaciones

Nuestra investigación individual registra, en los últimos años, que todas las empresas hayan efectuado una fuerte innovación en las maquinarias con consecuentes inversiones.

Si es fácil individualizar y cuantificar económicamente el conjunto de las inversiones realizadas, no es tan sencillo conocer las inversiones realizadas después de la adopción de la certificación y distinguir a las inversiones que dependen de la calidad de las inversiones dependientes de la dinámica normal empresarial.

Se revela que la casi totalidad de las inversiones efectivas derivadas de las prioridades requeridas del SQ, están contenidas en los gastos en la adquisición de los factores de producción[8], realizadas en las fases inmediatamente precedentes o sucesivas a la certificación. El 86% de la muestra analizada efectúa diferentes tipos de inversión, entre las cuales están la adopción de software de gestión personalizado, la creación de páginas web y la activación del correo electrónico en la correspondencia con clientes y

7. Casi ninguno de los técnicos entrevistados conocía la existencia de programas informáticos específicos sobre la gestión de los costes de la calidad, aunque si es grande el número de empresas se detecta el empleo de parámetros empíricos para evaluar el incremento de facturados y de ventas (consumo de materias brutas, reelaboraciones y documentación). El índice más difundido ha sido el relativo a las ventas (beneficio/cifra de ventas).

8. Más que a los genéricos factores de la producción sería más exacto referirse a las inversiones ligadas a los incrementos de los capitales fijos o constantes, o sea a aquella componente estructural –constituida por maquinarias e implantes– que se caracteriza por la transferencia de su valor a los bienes o productos durante más ciclos productivos y sin ninguna variación.

Cuadro 9. Inversiones realizadas
Table 9. Kinds of investments

Tipología	%
Valoración y adopción de software y programas gestionales	85
Adquisición de nuevas máquinas e implantes	38
Reestructuración de lugares	28
Adecuación de laboratorios de análisis	24
Creaciones de nuevos departamentos (secciones)	19

proveedores, mientras que, en el 14% de los casos, las empresas –dotadas ya de una estructura moderna y consolidada en la cual las innovaciones se habían realizado antes de la implantación de las ISO 9000– no han efectuado ningún tipo de inversión.

En el cuadro 9 se exponen los diferentes tipos de inversiones realizadas y sus porcentajes.

El dinero invertido varía sensiblemente en cada caso, los valores obtenidos están comprendidos entre un mínimo de 1.033 euros hasta un máximo de 5.164.568 euros. El enorme diferencial existente entre los dos extremos se justifica por el diferente nivel de desarrollo alcanzado de los distintos sistemas productivos y organizativos empresariales al momento de la implantación de las normas.

La introducción de las normas ISO 9000 provoca una serie de modificaciones en el seno de las empresas. La principal modificación ha sido el registro inscrito de la entera "sub-filiera empresarial" de la fase de proyecto a la entrega del producto finalizado, formalizando de manera correcta el conjunto de normas a tener en cuenta.

La documentación adoptada está, en la mayoría de los casos, constituida por un manual del sistema calidad, por los procesos de gestión y por los documentos relativos a marketing y ventas, ofertas y a los órdenes de adquisición, el proyecto, al abastecimiento (provisión), a la producción y al transporte del producto acabado[9].

Otro aspecto peculiar del cambio realizado en las empresas viene representado por la introducción y relativa utilización de estadísticas en las fases productivas y distributivas. El empleo de técnicas estadísticas para analizar los resultados de la calidad alcanzada ha sido juzgado por el 62% de las empresas como útil soporte en la práctica productiva, en el 19% de los casos esta herramienta ha sido considerada como absolutamente indispensable, para el 14% ha sido de gran importancia, mientras que sólo para el 5% ha sido escasamente utilizable.

Otros cambios que merecen una mención particular, son la formación periódica del

9. La formalización escrita de todas las actividades realizadas tanto en el interior como en el exterior de la empresa, y también la recolección, la adquisición y la conservación de toda la documentación contribuyen a crear una serie histórica de informaciones a las cuales acceder.

equipo de trabajadores y del sistema de prevención correlado directamente respecto a la trazabilidad de las mercancías actuado para los productos no conformes.

Los beneficios obtenidos

Nuestra investigación nos permite afirmar que los efectos conseguidos han sido, con las debidas cautelas, sin duda, positivos. Las empresas entrevistadas denotan una cierta variabilidad en los resultados adquiridos en la mejora de la gestión de la empresa.

Es posible especificar una relación causa/efecto entre algunos de los resultados conseguidos. Por ejemplo, la optimización de los procesos productivos unidos a la racionalidad de las implantaciones (establecimientos) se traduce espectacularmente en una mejor organización y división del trabajo y consecuentemente en un incremento del nivel de calidad de los productos, así como, una mejora en la imagen empresarial derivada de la certificación se traduce en un casi inmediato incremento de las ventas y de las exportaciones.

Al referirnos a los efectos obtenidos, hemos preferido distinguirlos en internos –referiéndonos a la organización de la estructura productiva y de las actividades empresariales– y externos –incluyendo, en estos últimos, las repercusiones y las consecuencias que la certificación ha producido en las relaciones entre los clientes y el mercado.

Como puede observarse en el cuadro 10, el principal beneficio interno, derivado de la certificación, ha sido para el 48% de las empresas, el alcance de una mejor organización del trabajo que se deriva de una mayor especialización y subdivisión de las tareas cumplidas por parte de los trabajadores. Con la introducción de los procesos previstos en las normas ISO 9000, las entregas de las tareas y de los encargos no se realizan sólo verbalmente sino que el proceso se desarrolla a través la distribución de "tabulares", modelos previamente impresos y organigramas, definidos individualmente para los responsables de las singulares actividades internas.

El segundo beneficio más significativo derivado de la implantación de las normas ISO, resulta ser –en el 43% de las empresas encuestadas– la mejora cualitativa de las mercancías producidas que origina, a su vez, una óptima racionalización de los recursos disponibles. En cuanto a los otros efectos internos positivos se registra una general optimización del proceso productivo y de los sistemas de control y prevención respectivamente en el 33% y en el 28% de los casos examinados. Se registra, además, una mayor disponibilidad de informaciones inherentes a las fases y un aumento de la responsabilización y de la implicación de los trabajadores para el 24% de las empresas.

En unas empresas se registra una disminución en la incidencia porcentual de accidentes laborales atribuibles más a las aplicaciones legislativas[10] relativas a la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores en lugar de trabajo que a la aplicación de las normas ISO 9000.

Relativo a los beneficios externos, es decir, realizados fuera de la organización productiva, la mejora de imagen hacia, no tanto el consumidor, sino a la Gran Distribución Organizada y los importadores extranjeros representa para el 28% de las empre-

10. Directiva CEE 89/391 y Dlgs 626/94.

sas el primero de los resultados obtenidos; dicha mejora, además, se ha traducido, en algunos casos (19%) en un aumento del poder contractual de las empresas.

Los resultados expuestos anteriormente nos permiten afirmar que los principales efectos positivos se han realizado, en prevalecida, al interno del sistema empresarial, destacando, con un buen margen las ventajas externas.

Confrontando nuestra investigación con las de otros estudios de institutos italianos y autores norte-americanos[11] se evidencia unos resultados similares (aumento de la productividad, incremento de las exportaciones) junto a diferencias sustanciales porcentuales en cuanto a la mejora de la imagen y disminución de las reclamaciones como consecuencia de la certificación. En este último caso los datos aparecen abundantemente en discordancia.

Cuadro 10. Efectos conseguidos con la certificación[12]
Table 10. Effects of certification

Resultados conseguidos	n. empresas	%
Internos		
Mejor organización y subdivisión del trabajo	10	48
Mejora cualitativa de las producciones	9	43
Optimización del proceso productivo	7	33
Mejora de los sistemas de control y prevención	6	28
Mayor disponibilidad de informaciones sobre los procesos de empresa	5	24
Aumento de la responsabilidad y de la implicación de los obreros	5	24
Mayor seguridad para los trabajadores	3	14
Reducción de los fallos (descartes)	3	14
Reducción de los costes de producción	3	14
Aumento de la capacidad productiva	3	14
Externos		
Mejora de la imagen hacia importadores y Gran Distribución	6	28
Aumento de la exportación	4	19

11. Las investigaciones del SINCERT (Sistema Nacional de Certificación) evidencian las consecuencias de la certificación que provoca tanto, efectos positivos como, negativos. Entre los positivos asumen una elevada importancia en las disminuciones de las reclamaciones (47%), las disminuciones de los fallos (29%) y la mayor productividad (17%). Otros efectos positivos, externos a la organización productiva, resulta la mejora de imagen en el mercado (87%) y el aumento de la cuota de los clientes nacionales (21%) y extranjeros (20%). Las consecuencias negativas se revelan en la excesiva burocracia constituida por la documentación de soporte y las dificultades de mantener constante, a largo plazo, el Sistema de Calidad. Otros estudios (TAYLOR, 1995) señalan que existe una neta contradicción entre quien declara una disminución de los costes (54%) y quien declara un aumento de los mismos (15%).

12. Cada empresa contestó a más preguntas.

Analizando las desventajas declaradas de las empresas, emerge el gran esfuerzo realizado por parte de los trabajadores en la compilación y en la actualización de la documentación de gestión y el mayor tiempo empleado en la calibración y en la puesta a punto de aparatos y máquinas. La complicación de las operaciones de registro y el aumento de la especialización del trabajo requerido han sido, por lo menos en la fase inicial, una tarea casi exclusivamente a cargo de los trabajadores. Relativo a esto último se evidencia las dificultades iniciales al adecuarse a las nuevas tareas. Respecto a lo declarado por parte de los gerentes, y esto se confirma con los resultados del SINCERT, un último aspecto negativo está constituido por las dificultades en el mantenimiento y la mejora de un sistema a largo plazo.

Conclusiones

Al caracterizar los aspectos más relevantes y los efectos conseguidos en Sicilia con la introducción del SQ, el primer elemento que ha emergido de la investigación, relativo a las motivaciones declaradas por las empresas, demuestra cómo se da importancia a la parte referida a las exigencias internas que están asociadas a una mejora de la propia organización interna y de la optimización del proceso productivo (80%). Entre las motivaciones externas, es decir, las asociadas al contexto socioeconómico y a los mercados en los cuales las empresas actúan –se revela una mayor importancia atribuida al factor publicitario junto a la mejora de su imagen frente a los consumidores (57%).

Posteriores análisis evidencian las mayores dificultades encontradas por parte de las PYMES (pequeñas y medianas empresas) en el proceso de implantación del SQ. El caso es diferente cuando se realiza en empresas de mayor dimensión, en efecto, este tipo de empresas ha encargado sus aspectos organizativos a sociedades consultoras. En todos los casos analizados se ha evidenciado la extrema importancia del papel de estas sociedades consultoras para la implantación y desarrollo de las normas ISO.

Cuando nos referimos a los beneficios obtenidos, mediante la certificación, los datos y las impresiones registradas han sido, salvo ciertas excepciones, bastante homogéneos.

Se revela una mayor relevancia asumida por los SQ en la reorganización interna de los procesos productivos juntos, a la mejora en la calidad de las producciones respecto a los factores de crecimiento externos –mejoramiento de la imagen y aumento de las exportaciones.

Los análisis referidos a los costes –divididos en costes de implantación, mantenimiento y estructurales– ponen en evidencia la extrema dificultad de una cuantificación exacta. Sin embargo, se ha alcanzado a evaluar los costes anuales –soportados para la obtención de la certificación de una pequeña empresa– en alrededor de un 0,5%, sobre la facturación media de las empresas.

La elección de la certificación como instrumento precursor de la diversificación parece actualmente la mejor opción y está destinada a representar un modelo a imitar por todas las empresas que –al ofrecer productos transformados o semi-transformados– esperan mantenerse e incluso incrementar su presencia en los mercados nacionales y sobre todo extranjeros.

Por causa de la insostenible competencia ejercida por las economías de los países en vías de desarrollo –donde la bajísima incidencia del coste de la mano de obra unido a la elevada disponibilidad de recursos natu-

rales– la elección de la calidad, en sus múltiples aspectos representa una buena política empresarial (estrategia) para diferenciarse en los mercados internacionales, especialmente entre las empresas agrícolas y agroindustriales locales. Una mayor diferenciación y una más acelerada especialización hacia la obtención de productos con características organolépticas específicas y capaces de ofrecer ciertos servicios añadidos constituirán en el futuro uno de los factores diferenciales para el concreto desarrollo de la economía agro-industrial mediterránea.

Bibliografía

AGABITI M.F., GREGORI M., 1998, "La certificazione di qualità secondo le norme ISO 9000 nell'industria alimentare italiana", *Rivista di Politica Agraria*, n. 6, dicembre pp. 39-55.

BUTTLE F., 1997, "ISO 9000: marketing motivations and benefits", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 14, n.° 9, pp. 936-947.

DE GENNARO B., 1996, La qualità nelle produzioni olivicole, Quaderni della Rivista di Economia Agraria, INEA, n.° 21.

GAETA D., 1997, "I problemi di scelte private e pubbliche in tema di qualità dei prodotti agroalimentari", in Casati D. (a cura di), *Evoluzione e adattamenti nel sistema agro-industriale*, F. Angeli, Milano.

HENNESSY D.A., 1996, Information asymmetry as a reason for industry vertical integration, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 78, n.° 4, pp. 1034-1043.

GREGORI M., 1997, "Il dibattito sulla qualità dei prodotti agroalimentari negli anni '90", *Studi di Economia e Diritto*, n.° 3-4, pp. 43-62.

HERRERA J., MORENO M.D., MARTÍNEZ C., 1998, "La gestión de la calidad en las empresas espanolas, resultados de un estudio empírico de ámbito europeo", *Revista de Economía y Empresa*, n.° 32, Volumen XII, pp. 83-115.

JORGENSEN N., 1997, "Quality certification as a key success factor in international marketing of food products", in J. Nilsson, *Strategies and structures in the agro-food structures industries*, Gert van Dijk eds., pp. 258- 277.

DI VITA G., 2001, "Gli strumenti di qualità aziendali: uno studio sull'applicazione delle norme UNI EN ISO 9000 nel sistema agro-alimentare in Sicilia". Tesi di dottorato di ricerca, Università di Catania.

MANN R., KEHOE D., 1994, "An evaluation of the effects of quality improvement activities on business performance", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 11, n.° 4, pp. 29-44.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION, 1999, Dirección General de Alimentación, "Gestión de la calidad en la industria alimentaria", Madrid.

PASCA R., PERI C., 1993, "Il sistema di qualità in agricoltura: criteri, metodi ed applicazioni", Rivista di Politica Agraria, n.° 4, pp. 5-14.

PORTER M.E., 1999, "*Il vantaggio competitivo*", Edizioni Comunità, Milano.

RAYNER P., PORTER L.J., 1991, "BS 5750/ISO 9000 - the experience of small and medium size firms", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 8, n.° 6, pp. 16-28.

RIVERA L.M., 1994, *Gestión de la calidad agroalimentaria*, Ediciones Mundi Prensa y A. Madrid Vicente.

SHROEDER R.G., 1991, *Operations Management*, McGraw-Hill, New York1.

STEENKAMP J.B.E.M., 1989, *Product Quality*, Van Gotgum, Assen.

STREET P.A., FERNIE J.M., 1992, "BS 5750: the industry view", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 9, n.° 7, pp. 37-41.

TAYLOR W.A., 1995, "Organizational differences in ISO 9000 implementation practices", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 12, n.° 7, pp. 10-27.

VLOEBERGHS D., BELLENS J., April 1996, "ISO in Belgium: experience of Belgian quality managers and HRM", *European Management Journal*, Vol. 14, n.° 2, pp. 207-11.

WILLIAMSON O., *Le istituzioni economiche del capitalismo*, F. Angeli, Milano, 1987.

(Aceptado apara publicación el 22 de marzo de 2002)

ITEA (2002), Vol. **98V N.° 1**, 71-80

GERMINACIÓN *IN VITRO* DE EMBRIONES INMADUROS A DISTINTAS TEMPERATURAS DE ESTRATIFICACIÓN

M.E. Daorden*, J.A. Marín, A. Arbeloa****

* Dirección permanente: EEA San Pedro- INTA, C.C. N° 43, 2930 Buenos Aires, Argentina

** Estación Experimental de Aula Dei, Apartado 202, 50080 Zaragoza, España

RESUMEN

En los programas de mejora de especies frutales adquiere gran importancia la reducción del tiempo para la obtención de una nueva generación. La estratificación y germinación in vitro de los embriones inmaduros permite mejorar tanto el porcentaje de su germinación como acortar el tiempo necesario para el desarrollo de la nueva plántula. Asimismo, el cultivo in vitro de embriones permite superar con éxito la falta de viabilidad de las semillas procedentes de cruzamientos.

En este trabajo se comparan dos temperaturas de estratificación in vitro (0° y 4 °C), en relación al desarrollo de embriones provenientes de cruzamientos interespecíficos entre ciruelo y albaricoquero. Del mismo modo, se estudia la influencia del tamaño del embrión con el fin de optimizar el proceso de obtención de plantas en un programa de mejora.

Los datos presentados aquí muestran que la germinación in vitro de embriones inmaduros se ha realizado con éxito (más del 91%) cuando la estratificación se realizó a 4 °C. Durante la estratificación, tanto el peso de los embriones, como su incremento de peso a los 30 y 60 días después de la siembra, fueron considerados indicadores de su evolución. Se ha observado una gran influencia de la temperatura en el peso e incremento de peso observado a los 60 días después de la siembra. Una influencia menor se observó según el tamaño de siembra del embrión. El cultivo de embriones y la estratificación a 4 °C permitió una adecuada germinación de semillas inmaduras procedentes de cruzamientos de programas de mejora.

Palabras clave: Estratificación in vitro, Semillas, Germinación, *Prunus*, Híbridos interespecíficos.

SUMMARY

IN VITRO GERMINATION OF IMMATURE EMBRYOS AT DIFFERENT STRATIFICATION TEMPERATURES

Rapid obtaining of clonal plants is desirable to shorten crossing programs on fruit tree breeding. In vitro stratification and germination allowed us to shorten time and to improve germination rates by embryo rescue.

In this work two stratification temperatures (0° and 4 °C) were compared related to development of interspecific hybrid embryos. Embryo size influence was also determined in order to optimise the process.

Data showed that germination took place in 91% of the seeds when the stratification temperature was 4 °C. During stratification, embryo weight and embryo-weight increment were assessed at 30 and 60 days after sowing. Stratification temperature showed a significant effect in both embryo weight and embryo-weight increment 60 days after sowing, while embryo size showed a smaller influence. Embryo culture and stratification at 4 °C allowed a satisfactory germination of immature seeds originated in crosses from breeding programs.

Key words: In vitro stratification, Seeds, Germination, *Prunus*, Interspecific hybrids.

Introducción

El cultivo in vitro de embriones de especies de *Prunus* ha sido utilizado con éxito en programas de mejora, con el fin de superar la falta de viabilidad de las semillas obtenidas en ciertos cruzamientos. BLAKE (1939) fue el primero en aplicar la técnica en un programa de mejora de melocotón; más recientemente ha sido ampliamente usada en la obtención de variedades tempranas de la misma especie cuyos embriones no están formados correctamente y no se desarrollan adecuadamente (RAMMING, 1985). Del mismo modo se ha empleado en la mejora de variedades de uva sin semillas (EMERSHAD y RAMMING, 1982). Además, la existencia de barreras de incompatibilidad postzigótica puede originar la pérdida de los embriones resultantes de hibridaciones interespecíficas o intraespecíficas. Esta limitación puede superarse mediante el rescate de estos embriones en medios de cultivo adecuados (RAMMING, 1990).

Por otra parte, en los programas de mejora de especies frutales adquiere gran importancia la reducción del tiempo necesario para la obtención de una nueva generación, y en este sentido la estratificación in vitro de los embriones inmaduros ha permitido mejorar tanto el porcentaje de su germinación como acortar el tiempo necesario para el desarrollo de la nueva plántula (ARBELOA *et al.*, 2000; GARCÍA *et al.*, 2001; DAORDEN *et al.*, 2001a). Sin embargo, la temperatura de estratificación utilizada ha sido diferente según la especie y las condiciones del trabajo, ya que el frío es necesario para interrumpir el reposo de las semillas e inducir el alargamiento de entrenudos en el tallo (HARTMANN *et al.*, 1990; HERRERO, 1978). Estudiar la temperatura más adecuada para cada material es del todo necesario para una adecuada germinación de las semillas.

En el cultivo in vitro de embriones inmaduros, el tamaño inicial del embrión ha mostrado tener una gran influencia en el resultado del cultivo, creciendo la dificultad a medida que el tamaño disminuye (BURGOS y LEBDETTER, 1993). El estudio del comportamiento de embriones de diferente tamaño cobra una gran importancia para optimizar las condiciones de germinación in vitro de los embriones.

En este trabajo se comparan dos temperaturas de estratificación in vitro, en relación al desarrollo de embriones provenientes de cruzamientos interespecíficos entre ciruelo y albaricoquero. Del mismo modo, se estudia la influencia del tamaño del embrión con el fin de optimizar el proceso de obtención de plantas en un programa de mejora.

Materiales y métodos

Tres clones de ciruelo Mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.) (Mb), cultivados en la

colección de la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza), fueron utilizados como parentales femeninos. Como parental masculino se utilizó un clon de albaricoquero de la variedad 'Moniquí' (*Prunus armeniaca* L) (MB). Los cruzamientos se realizaron polinizando manualmente flores emasculadas de ramas marcadas. La cosecha de frutos inmaduros se llevó a cabo 12 semanas después de la polinización.

Utilizando procedimientos asépticos se extrajeron las semillas y se disectaron los embriones eliminando los tegumentos. Cada embrión fue pesado y medido. Se sembraron en tubos de vidrio con tapones de polipropileno con 10 ml de medio de cultivo (CHEÉ y POOL, 1987) sin reguladores de crecimiento y se envolvieron en papel de aluminio para evitar la exposición a la luz. Se colocaron en dos temperaturas de estratificación, a 4 °C (28 embriones) y a 0 °C (27 embriones) manteniendo la oscuridad durante toda la estratificación.

Durante el período de estratificación se determinó, en condiciones asépticas, el peso de los embriones a los 30 y 60 días de su siembra in vitro. Después de 18 semanas de estratificación, el material se pasó a la cámara de cultivo a 23 °C en oscuridad durante unos días, para posteriormente exponerlo a la luz. Se evaluó el porcentaje y el momento de la germinación, considerando embriones germinados aquellos que poseían una radícula y un brote de por lo menos 5 mm cada uno.

Se analizaron la influencia de la temperatura de estratificación y del tamaño del embrión en el momento de su siembra in vitro, tanto en el peso, como en el incremento de peso del embrión a lo largo del período de estratificación. Los datos fueron analizados mediante los correspondientes análisis de varianza, y se efectuaron contrastes en los casos donde se halló interacción entre ambas fuentes de variación. Se utilizó el programa estadístico SPSS (Noursis, M.S.J; 1999. Statistical Package for the Social Sciences /Pc for the IBM PC / XT/ AT. SPSS Inc., Chicago, IL.).

Resultados

Tamaño de embriones

Se sembraron un total de 55 embriones, que mostraron diferencias de tamaño según los cruzamientos efectuados (cuadro 1). El mayor porcentaje (74,5%) correspondió a tamaños comprendidos entre 8-10 mm, mientras que un 25,5% correspondió a tamaños inferiores. Entre estos últimos, un 7,3% correspondió a embriones de un tamaño inferior a 3,5 mm perteneciendo todos ellos al cruzamiento Mb1 x MB. En todos los cruzamientos el mayor porcentaje correspondió a embriones de tamaño superior a 8 mm.

Cuadro 1. Porcentaje de embriones según el tamaño inicial y el cruzamiento
Table 1. Percentage of embryos according to initial size and crossing genotype

	< 3,5 mm	%	4-7,5 mm	%	> 8 mm	%
Mb 1 x MB	4	13,3	3	10,0	23	76,7
Mb 2 x MB	0	0,0	4	40,0	6	60,0
Mb 3 x MB	0	0,0	3	20,0	12	80,0
Total	4	7,3	10	18,2	41	74,5

Influencia del tamaño del embrión y la temperatura de estratificación en el peso e incremento de peso de los embriones estratificados

Los factores estudiados a lo largo de la estratificación: peso e incremento de peso, se analizaron separadamente para los distintos cruzamientos observándose diferencias en respuesta entre los distintos genotipos.

El peso promedio inicial de los embriones ha sido diferente en los distintos cruzamientos efectuados (figura 1).

Cruzamiento Mb1 x MB

En el cruzamiento de Mb1 x MB, el tamaño inicial del embrión tuvo una influencia altamente significativa en todos los factores estudiados durante el período de estratificación (cuadro 2). Tanto el peso alcanzado a los 30 y 60 días de estratificación, como el incremento de peso correspondiente, fue mayor para los embriones de tamaño inicial mayor (figura 1).

La temperatura de estratificación en cambio sólo influyó significativamente para el peso e incremento del peso a los 60 días de la siembra (cuadro 2). Los incrementos de peso fueron mayores a 4 °C.

Asimismo, se encontró una interacción significativa ($P < 0,01$) entre el tamaño y la temperatura para el peso a los 60 días de estratificación y muy significativa ($P < 0,001$) para el incremento de peso en ese momento. Los embriones pequeños (< 8 mm) ganaron más peso a 0 °C que a 4 °C, mientras que los embriones grandes (> 8 mm) ganaron más peso a 4 °C que a 0 °C (figura 1).

Cruzamiento Mb2 x MB

El tamaño inicial no influyó de manera significativa en los factores analizados para el cruzamiento Mb2 X MB (cuadro 3). Únicamente se encontró influencia significativa de la temperatura en el incremento de peso a los 60 días de la siembra. A 4 °C se produjeron mayores incrementos de peso en ambos tipos de embriones, mientras que a 0°C no se observaron diferencias en el peso entre embriones de tamaño inicial diferente (figura 1).

Cuadro 2. Valores del estadístico F y significación del análisis de varianza para el peso y el incremento de peso durante la estratificación in vitro de embriones en el cruzamiento Mb1 x MB

Table 2. F-values and statistical significance of the analysis of variance of embryo weights and embryo-weight increments during in vitro stratification of Mb1 x MB embryos

Fuente de variación	GL	Peso 30	Incremento 30	Peso 60	Incremento 60
Tamaño	1	32,629***	17,218***	36,877***	13,810***
Temperatura	1	0,073 ns	3,407 ns	6,267*	38,129***
Interacción	1	1,546 ns	3,083 ns	7,722**	22,6***

(*,**,***) = diferencias significativas a $P < 0,05$, $P < 0,01$; $P < 0,001$ respectivamente.

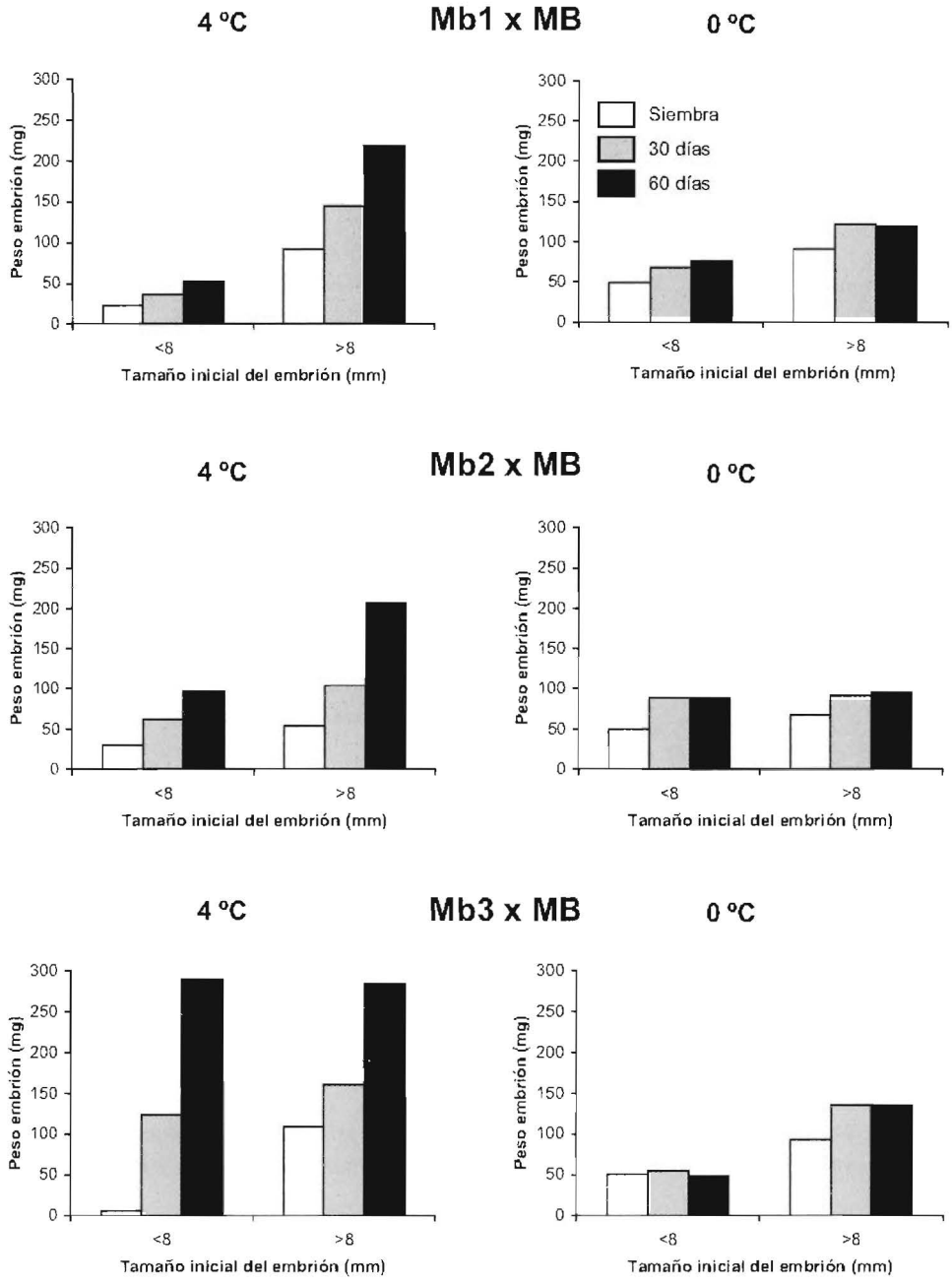


Figura 1. Peso promedio de los embriones de diferentes cruzamientos entre mirobolán y albaricoquero a los 30 y 60 días de estratificación a diferentes temperaturas.

Figure 1. Mean weight of embryos from different crosses between Myrobalan and apricot at 30 and 60 days of stratification at different temperatures.

Cuadro 3. Valores del estadístico F y significación del análisis de varianza para el peso y el incremento de peso durante la estratificación in vitro de embriones en el cruzamiento Mb2 x MB

Table 3. F-values and statistical significance of the analysis of variance of embryo weights and embryo-weight increments during in vitro stratification of Mb2 x MB embryos

Fuente de variación	GL	Peso 30	Incremento 30	Peso 60	Incremento 60
Tamaño	1	0,431 ns	0,431 ns	1,839 ns	4,575 ns
Temperatura	1	0,044 ns	0,044 ns	2,003 ns	16,295**
Interacción	1	0,368 ns	0,368 ns	1,523 ns	3,717 ns

(*,**,***) = diferencias significativas a $P < 0,05$, $P < 0,01$; $P < 0,001$ respectivamente.

Cruzamiento Mb3 x MB

Para el cruzamiento Mb3 x MB el tamaño inicial del embrión influyó significativamente en su peso a los 30 días, pero no a los 60 días, cuando alcanzaron un peso similar (cuadro 4). La temperatura tuvo una influencia significativa tanto en el peso del embrión a los 30 y a los 60 días de la estratificación, como en el incremento de peso para este momento, siendo en ambos casos superior a 4 °C (cuadro 4).

Cuando se partió de embriones más pequeños se obtuvieron mayores incrementos de peso a 4 °C a los 30 y 60 días del período de estratificación (figura 1)

En general a 0 °C no hubo un incremento de peso apreciable entre los 30 y 60 días para todos los genotipos y para los dos tamaños de embriones (figura 1)

Influencia de la temperatura, el tamaño y el genotipo en la germinación de embriones

El proceso de la germinación ha estado influido tanto por la temperatura de estratificación como por el tamaño y genotipo del propio embrión. El efecto de la temperatura de estratificación ha sido muy notable ya que el 91% de los embriones germinaron cuando la estra-

Cuadro 4. Valores del estadístico F y significación del análisis de varianza para el peso y el incremento de peso durante la estratificación in vitro de embriones en el cruzamiento Mb3 x MB

Table 4. F-values and statistical significance of the analysis of variance of embryo weights and embryo-weight increments during in vitro stratification of Mb3 x MB embryos

Fuente de variación	GL	Peso 30	Incremento 30	Peso 60	Incremento 60
Tamaño	1	8,438**	0,194 ns	10,17 ns	0,289 ns
Temperatura	1	5,363*	2,169 ns	22,890***	19,053***
Interacción	1	1,095 ns	1,229 ns	1,328 ns	0,572 ns

(*,**,***) = diferencias significativas a $P < 0,05$, $P < 0,01$; $P < 0,001$ respectivamente.

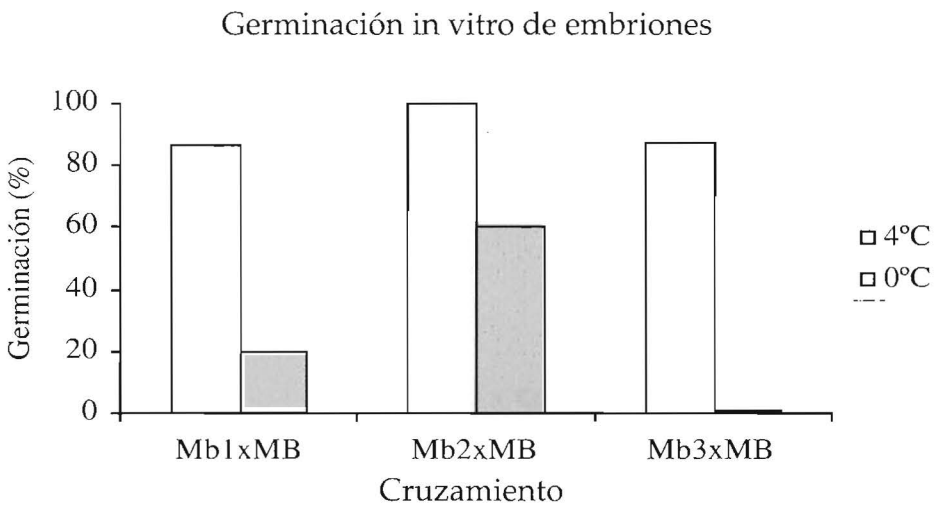


Figura 2. Porcentajes de germinación in vitro de embriones de diferentes cruzamientos entre mirobolán y albaricoquero a diferentes temperaturas de estratificación in vitro.
Figure 2. Germination percentages of embryos from different crosses between Myrobalan and apricot at different stratification temperatures.

tificación tuvo lugar a 4 °C, mientras que sólo el 26% germinó con una estratificación a 0 °C (figura 2). La germinación tuvo lugar generalmente cuando se pasaron a condiciones de luz y temperatura alta, pero en algunos casos sucedió durante el periodo de estratificación.

El tamaño del embrión influyó en la germinación. Los valores de germinación en condiciones óptimas (4 °C) han sido del 95,6% para embriones superiores a 8 mm, mientras que sólo fueron del 60% para tamaños inferiores a 8 mm.

Los distintos cruzamientos respondieron de manera diferente respecto a la germinación, marcando unas diferencias más notables a 0 °C. Los porcentajes de germinación oscilaron entre el 86 y el 100% a 4 °C, mientras que a 0 °C oscilaron entre el 0 y el 60 %.

El momento de aparición del brote y la radícula durante el proceso de estratificación se produjo de manera muy diferente para las dos temperaturas de estratificación en los distintos cruzamientos estudiados (figura 3). A 4 °C y en los tres cruzamientos realizados, los embriones se encontraban germinando en más del 50% de los casos a la 8ª semana. A 0 °C, la germinación ocurrió a partir de la semana 18, cuando el material ya se encontraba en la cámara de cultivo a 23 °C. La aparición de la radícula a 4 °C es, en general, anterior a la aparición de un incipiente brote, no encontrándose diferencias en la secuencia del proceso entre los distintos cruzamientos.

Discusión

Los datos presentados aquí muestran que la germinación in vitro de embriones inmaduros, de los genotipos híbridos utilizados, se ha realizado con éxito (más del 91%) cuando la estratificación se realizó a 4 °C.

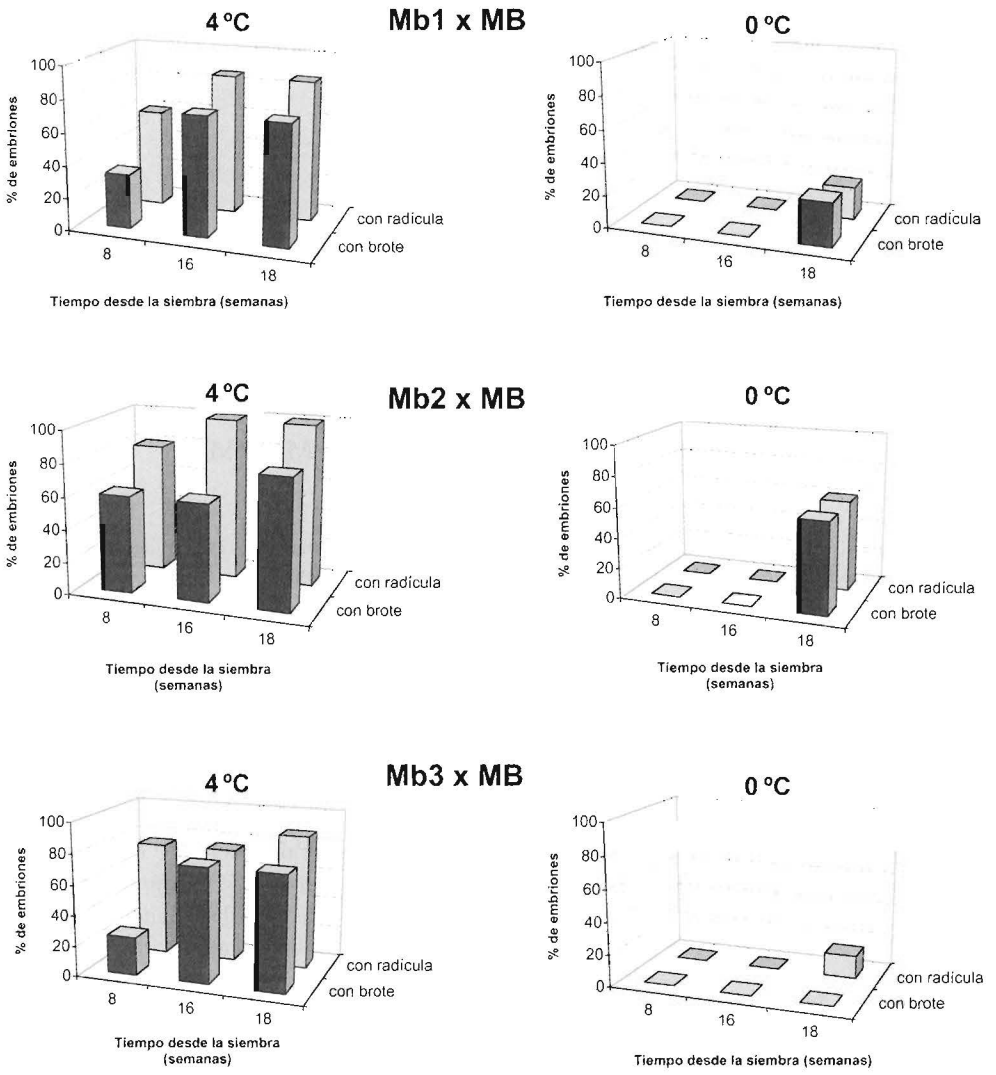


Figura 3. Evolución de los embriones de diferentes cruzamientos entre mirobolán y albaricoquero durante la estratificación a distintas temperaturas mostrando la aparición de la radícula y del brote (germinación).

Figure 3. Evolution of embryos from different crosses between Myrobalan and apricot at different stratification temperatures showing the appearance of the radicle and the shoot (germination).

Esto ha permitido su aplicación en la obtención eficaz de plántulas de semillas de cruzamientos interespecíficos dentro de un programa de mejora de patrones de albaricoquero (ARBELOA *et al.*, 2001; DAORDEN *et al.*, 2001a y b).

El éxito del cultivo de embriones está relacionado con el estado de madurez del

embrión, del que depende el tamaño del mismo (BURGOS y LEDBETTER, 1993). Cuanto menor es el tamaño del embrión hay una mayor dependencia del medio en el cual se cultivan, siendo más difícil su desarrollo para formar plantas. Cuando el tamaño de los embriones es muy pequeño no llegan a desarrollarse in vitro (PIERIK, 1990). En el momento en que se llevó a cabo la cosecha de los frutos inmaduros (12 semanas después de la polinización), se encontraron embriones en diferentes estados de desarrollo y con diferentes tamaños por ser semillas provenientes de cruzamientos interespecíficos, con un grado de incompatibilidad polen-pistilo. En general, los embriones poseían un tamaño superior a los 8 mm, lo cual garantiza su germinabilidad, pero un 25,5% de los embriones utilizados fueron de menor tamaño. A pesar de esto, en nuestro caso se obtuvo una germinación total del 91% de los embriones cultivados, incluyendo los embriones menores de 8 mm que se consideran como no viables.

Durante la estratificación, tanto el peso de los embriones, como su incremento de peso, fueron considerados indicadores de su evolución. Estas características estuvieron condicionadas de diferente manera por diferentes factores: 1) la temperatura de estratificación, 2) el tamaño del embrión en el momento de su siembra y 3) el cruzamiento efectuado. De esta forma, se ha observado una gran influencia de la temperatura en el peso e incremento de peso observado a los 60 días después de la siembra. Una influencia menor se observó según el tamaño de siembra del embrión. Diferentes temperaturas y tiempos de estratificación in vitro han sido utilizadas en especies de *Prunus* por diversos autores. Las temperaturas varían entre 0 y 5 °C, mientras que la estratificación osciló entre 30 y 120 días (BASSI e INFANTE, 1994; BURGOS y LEDBETTER, 1993; CHAPARRO y SHERMAN, 1994; EMERSHAD y RAMMING, 1994; LEDBETTER *et al.*, 1998). En este trabajo, en todos los cruzamientos evaluados, se advirtió una mayor respuesta en el peso de los embriones y en su ganancia de peso cuando la temperatura de estratificación fue de 4 °C.

La temperatura durante la estratificación resultó ser, además, un factor crítico tanto en la evolución de los embriones (momento de aparición de la radícula y del ápice caulinar), como en el porcentaje de germinación, independientemente del cruzamiento efectuado, de forma similar a la estratificación de semillas convencional (HERRERO, 1978). La estratificación a 4 °C adelantó el inicio de la germinación 10 semanas, en comparación con la estratificación a 0 °C, permitiendo reducir sensiblemente el tiempo necesario para la obtención de plántulas in vitro. A esta temperatura (4 °C) se lograron porcentajes de germinación del 91% en los embriones inmaduros de los tres cruzamientos frente a un promedio del 26% a 0 °C.

El cultivo de embriones y la estratificación a 4 °C permitió una adecuada germinación de semillas inmaduras procedentes de cruzamientos de programas de mejora. La técnica de la germinación in vitro descrita aquí ha permitido la puesta a punto de un método alternativo (ARBELOA *et al.*, 2001; DAORDEN *et al.*, 2001b) eficaz, más rápido y que ha proporcionado un mayor número de plantas híbridas obtenidas respecto al método convencional de germinación de semillas.

Agaradecimientos

Este trabajo ha sido finaciado por los proyectos CONSID – DGA: P012/2001 ; CICYT: AGF98-0277-C04-01 y CICYT: AGL2001-2414-C04-01.

Bibliografía

ARBELOA A., GARCÍA E., DAORDEN M.E., ANDREU P., MARÍN J.A., 2000. Germinación in vitro de semillas inmaduras de mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.). ITEA 21 (Ext.), 59-61.

ARBELOA A., DAORDEN M.E., GARCÍA E., MARÍN J.A., 2001. Successful establishment of *in vitro* cultures of *Prunus cerasifera* hybrids by embryo culture of immature fruits. Acta Hortic. (en prensa).

BASSI D., INFANTE R., 1994. Esperienze di embriocoltura nel miglioramento genetico di pesco e ciliego. Frutticoltura, 7-8, 65-70.

BLAKE M.A., 1939. Some results of crosses of early ripening varieties of peaches. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 37, 232-241.

BURGOS L., LEDBETTER C.A., 1993. Improved efficiency in apricot breeding: Effects of embryo development and nutrient media on *in vitro* germination and seedling establishment. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 35, 217-222.

CHAPARRO J.X., SHERMAN W.B., 1994. Culture date and germination procedure affects success of nectarine ovule and embryo culture. Fruit Varieties Journal 48, 173-175.

CHEÉ R., POOL R.M., 1987. Improved Inorganic Media Constituents For In Vitro Shoot Multiplication Of *Vitis*. Sci. Hort., 32, 85-95.

DAORDEN M.E., GARCÍA E., ARBELOA A., MARÍN J.A., 2001a. Aplicación de la micropropagación a la obtención de patrones híbridos para albaricoquero. Actas de Horticultura (en prensa).

DAORDEN M.E., GARCÍA E., MARÍN J.A., ARBELOA A., 2001b. Obtención de híbridos interespecíficos entre ciruelo y albaricoquero mediante el cultivo *in vitro* de embriones inmaduros. IV Reunión de la Sociedad Española de Cultivo *in vitro* de Tejidos Vegetales, 5, Santiago de Compostela (España).

EMERSHAD R.L., RAMMING D.W., 1982. In ovulo embryo culture of *Vitis vinifera* L. c.v. "Thomson Seedless". HortScience 17, 576. (Abstr.)

EMERSHAD R.L., RAMMING D.W., 1994. Effects of media on embryo enlargement, germination and plant development in early-ripening genotypes of *Prunus* grown in vitro. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 37, 55-59.

GARCÍA E., DAORDEN M.E., MARÍN J.A., ARBELOA A., 2001. Cultivo in vitro de embriones inmaduros de *Prunus*. Actas de Horticultura (en prensa).

HARTMANN H.T., KESTER D.E., DAVIES F., 1990. En: Plant propagation. Principles and practices. Fifth Edition, 647 pp. Ed. Prentice-Hall International. Englewood Cliffs.

HERRERO J., 1978. Estratificado de huesos de ciruelo Mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.). An. Aula Dei, 14, 173-180.

LEDBETTER C.A., PALMQUIST D.E., PETERSON S.J., 1998. Germination and net in vitro growth of peach, almond and peach-almond hybrid embryos in response to mannitol inclusion in the nutrient medium. Euphytica, 103, 243-250.

PIERIK R.L.M., 1990. Cultivo de embriones, pp. 139-147. En: Cultivo in vitro de las plantas superiores. 326 pp. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

RAMMING D.W., 1985. In ovulo embryo culture of early-ripening *Prunus*. HortScience 20, 419-420.

RAMMING D.W., 1990. The use of embryo culture in fruit breeding. HortScience 25, 393-398.

(Aceptado para publicación el 11 de marzo de 2002)

CONCESIÓN DEL PREMIO PRENSA AGRARIA 2002 DE AIDA

Presidente
Leonardo Plana Claver

Vocales
Álvaro Blanco Braña (ausente)
Miguel Valls Ortiz

Secretario
Eduardo Notivol Paíno

Reunido el jurado del Premio 2001 de Prensa Agraria de A.I.D.A. formado por D. Leonardo Plana Claver, Presidente de A.I.D.A., D. Álvaro Blanco Braña (ausente), en representación del Director de la Estación Experimental de Aula Dei (C.S.I.C.), D. Miguel Valls Ortiz, Director del Instituto Mediterráneo de Zaragoza (I.M.A.Z.) Y D. Eduardo Notivol Paíno en representación de D. Ricardo Revilla Delgado. Actúa como Secretario D. Eduardo Notivol Paíno, 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 2001 a los siguientes:

Serie Producción Vegetal: "Selección de patrones de albaricoquero procedentes de plantaciones locales mediante el uso de microsatélites", P. ERREA, J.I. HORMAZA.

Serie Producción Animal: "Resultados de la aplicación de metodologías de extensión de lactaciones a 120 días en ovejas de la raza Latxa", A. LEGARRA, E. UGARTE.

Zaragoza, 7 de mayo de 2002

CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 2001-02-03

CIHEAM

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	BIOINFORMÁTICA: UTILIZACIÓN DE BASES DE DATOS GENÉTICOS EN MEJORA VEGETAL	17-21 Sep. 01	Zaragoza	IAMZ
	*OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	25 Sep. 01/ 16 Mayo 02	Córdoba	UCO/CAP-JA/ CSIC/INIA/COI/IAMZ
	VIVEROS Y PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL PARA CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	19-30 Nov. 01	Guadalajara	IAMZ/MIMAM-CNMF
	SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN EN AGRONOMÍA: MODELIZACIÓN	14-25 Ene. 02	Zaragoza	IAMZ
	AGRICULTURA DE REGADÍO SOSTENIBLE: GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE ZONAS SEMIÁRIDAS	11-22 Mar. 02	Zaragoza	IAMZ/AECI
	ELECCIÓN DE CULTIVOS EN CONDICIONES DE SECANO MEDITERRÁNEAS. CRITERIOS TÉCNICOS Y SOCIOECONÓMICOS	6-17 Abr. 02	Argel	IAMZ/ITGC/ ICARDA
	GESTIÓN DE RIESGOS EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA: SEGUROS AGRARIOS	10-14 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ/MAPA-ENESA/OCDE
	*MEJORA GENÉTICA VEGETAL	30 Sep. 02/ 6 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ
PRODUCCIÓN ANIMAL	*PRODUCCIÓN ANIMAL	1 Oct. 01/ 7 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ
	MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DEL DROMEDARIO	4-15 Mar. 02	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II
	PRODUCCIÓN DE MOLUSCOS EN PAÍSES MEDITERRÁNEOS	27-31 Mayo 02	Zaragoza	IAMZ/FAO
	*ACUICULTURA	7 Oct. 02/ 4 Abr. 03	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/ IAMZ
	BRUCELOSIS	16-20 Sep. 02	Pamplona	IAMZ/Univ. Navarra/ FAO/OIE/ OMS-MZCP
	TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL: SISTEMAS Y TÉCNICAS	4-8 Nov. 02	Zaragoza	IAMZ
	NUEVAS TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE OVINOS Y CAPRINOS EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	9-20 Dic. 02	Túnez	IAMZ/INRAT
	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE CONEJOS	13-24 Ene. 03	Zaragoza	IAMZ
	AVANCES EN REPRODUCCIÓN DE PECES Y SU APLICACIÓN AL MANEJO DE REPRODUCTORES	24-28 Feb. 03	Zaragoza	IAMZ
	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE OVINO DE LECHE	7-11 Abr. 03	Valdepeñas/Ciudad Real	IAMZ/JCCM/ UCLM
	OPTIMIZACIÓN DEL USO DE VACUNAS Y MEDICAMENTOS EN ACUICULTURA MEDITERRÁNEA	12-16 Mayo 03	Izmir	IAMZ/FAO/ MARA
	PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN CLIMAS CÁLIDOS	26-30 Mayo 03	Zaragoza	IAMZ

(*) **Cursos de Especialización Postuniversitaria** del correspondiente Programa Master of Science (*marcados con asterisco en el listado). Se desarrollan cada dos años:

- MEJORA GENÉTICA VEGETAL: 02-03; 04-05; 06-07
- OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 01-02; 03-04; 05-06
- PRODUCCIÓN ANIMAL: 01-02; 03-04; 05-06
- ACUICULTURA: 02-03; 04-05; 06-07
- ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: 02-03; 04-05; 06-07
- MARKETING AGROALIMENTARIO: 01-02; 03-04; 05-06

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	INCENDIOS FORESTALES: INVESTIGACIÓN DE CAUSAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN	15-26 Oct. 01	Zaragoza	IAMZ/FAO/ MIMAM-DGCN
	GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS PISCÍCOLAS EN AGUAS CONTINENTALES DE LOS PAÍSES MEDITERRÁNEOS	12-16 Nov. 01	Zaragoza	IAMZ/FAO
	FUENTES ALTERNATIVAS DE AGUA PARA REGADÍO: CONDICIONANTES TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES	10-14 Dic. 01	Zaragoza	IAMZ
	LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA Y SU APLICACIÓN A LA GESTIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	19-23 Ene. 02	El Cairo	IAMZ/ARC-CLAC
	MEJORA DE HÁBITATS PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS CINEGÉTICOS	18-23 Feb. 02	Zaragoza	IAMZ
	ECOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LOS RÍOS MEDITERRÁNEOS Y HERRAMIENTAS PARA SU GESTIÓN	8-19 Abr. 02	Zaragoza	IAMZ/AECI
	GESTIÓN, RESTAURACIÓN Y APLICACIONES DE LOS HUMEDALES	13-24 Mayo 02	Zaragoza	IAMZ
	*ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	30 Sep. 02/ 6 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ
	DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LAS REGIONES AGRÍCOLAS MEDITERRÁNEAS: IMPACTO Y MEDIDAS DE CORRECCIÓN	21 Oct./1 Nov. 02	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II/ AECI
	ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES	3-14 Feb. 03	Zaragoza	IAMZ
	GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA PESCA ARTESANAL EN EL MEDITERRÁNEO	9-13 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ/FAO-COPEMED
COMERCIALIZACIÓN	*MARKETING AGROALIMENTARIO	1 Oct. 01/ 7 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ
	ESTRATEGIAS DE MARKETING DE ACEITE DE OLIVA	14-18 Oct. 02	Rabat	COI/IAMZ/ MADREF
	LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO Y SU IMPACTO EN EL MARKETING INTERNACIONAL AGROALIMENTARIO	18-22 Nov. 02	Zaragoza	IAMZ/OMC
	TRAZABILIDAD Y ETIQUETADO: RESPUESTA A LOS REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS	17-21 Mar. 03	Zaragoza	IAMZ
	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL MARKETING AGROALIMENTARIO: NORMATIVAS, DENOMINACIONES Y GESTIÓN	24-28 Mar. 03	Zaragoza	IAMZ
	INNOVACIONES EN TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS AGROALIMENTARIOS	5-9 Mayo 03	Zaragoza	IAMZ

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 Mejora Genética Vegetal, Ordenación Rural en Función del Medio Ambiente y Acuicultura finaliza el 15 de Mayo 2002. El plazo de inscripción para el curso de Olivicultura y Elaiotecnia finaliza el 15 de Abril 2003. El plazo de inscripción para los cursos de Producción Animal y Marketing Agroalimentario finaliza el 15 de Mayo 2003.

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.

Becas. 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.

Información e inscripción. Los folletos informativos de cada curso se editan 6-8 meses antes de la fecha de inicio. Dichos folletos, así como los correspondientes formularios de inscripción pueden solicitarse a la dirección del IAMZ u obtenerse directamente de la página web:

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Apartado 202 - 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)

Teléfono +34 976 716000 - Fax +34 976 716001 - e-mail iamz@iamz.ciheam.org

www.iamz.ciheam.org

PREMIOS DE PRENSA AGRARIA 2002 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 2002. 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) Director de la Estación Experimental de Aula Dei.
4. Los premios serán anuales y con una dotación de 300 € 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 realizará con motivo de la celebración de las Jornadas de Estudio de AIDA.

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 } 27 €

❑ Ambas Series 36 €

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.º ..... 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.º .....

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 XXXIII (2002), Vol. 98V N.° 1

ÍNDICE

Página

E. LESCAY, L. ARIAS BASULTO, A. ÁLVAREZ, C. CORDOVÍ.- Comportamiento de siete variedades de patata (*Solanum tuberosum*, L) con bajos recursos en una zona montañosa de Cuba 5

J.A. DE JUAN, J.F. ORTEGA, J.M. TARJUELO, F.J. MONTERO, R.J. SAJARDO.- Aplicación de la geoestadística a la distribución espacial de la evapotranspiración de referencia y la precipitación en Castilla-La Mancha..... 11

A. PARDO GIMÉNEZ, J.A. DE JUAN VALERO, J.E. PARDO GONZÁLEZ.- Factores que influyen en la iniciación de la fructificación del champiñón cultivado. I. Factores físicos y ambientales. Factores químicos y nutritivos 33

P. SANS, B. SYLVANDER.- Competencia internacional y ética de producción: ¿la agricultura ecológica, un caso aparte? 44

GIUSEPPE DI VITA.- La gestión de la calidad según las normas ISO 9000:1994 en el sector agro-alimentario europeo: el caso de una región mediterránea 54

M.E. DAORDEN, J.A. MARÍN, A. ARBELOA.- Germinación *in vitro* de embriones inmaduros a distintas temperaturas de estratificación 71