

EFICACIA DE LA DESINFECCIÓN DEL SUELO DE INVERNADEROS DE PIMIENTO MEDIANTE BIOSOLARIZACIÓN

M.M. GUERRERO
M.A. MARTÍNEZ
C. ROS
M.C. MARTÍNEZ
A. LACASA

Biotecnología y Protección de Cultivos. IMIDA. Cl. Mayor s/n,
30150 La Alberca. Murcia

P. FERNÁNDEZ

CIFEA, Consejería de Agricultura y Agua. Cl. Gutiérrez Mellado, 17,
30500 Molina de Segura. Murcia

A. BELLO

Agroecología. Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Serrano, 115 dpto.,
28006 Madrid

INTRODUCCIÓN

La biofumigación con solarización [biosolarización (Reyes *et al.*, 2004)] se considera un método de desinfección de suelos y una alternativa al bromuro de metilo para algunos cultivos y países. La eficacia en el control de los patógenos presenta variaciones con la enmienda utilizada, con el patógeno, con la fecha de aplicación y con las características del suelo (Guerrero *et al.*, 2003 y 2004b).

En la región de Murcia, el pimiento es un monocultivo en más del 95% de los invernaderos del Campo de Cartagena (Lacasa y Guirao, 1997), siendo *Phytophthora* y *Meloidogyne* los principales patógenos (Tello y Lacasa, 1997). Desde unos 20 años los suelos se desinfectan anualmente para el control de los patógenos y para paliar los efectos de la fatiga, producida por la reiteración del monocultivo (Martínez *et al.*, 2003).

La biosolarización es utilizada en los invernaderos con cultivo ecológico, obteniendo buenos resultados en el control de *Phytophthora* (Lacasa *et al.*, 2002), cuando se inicia la solarización en el mes de agosto (Guerrero *et al.*, 2004a). La eficacia se muestra variable en el control de *M. incognita* (Guerrero *et al.*, 2003 y 2005), cuyos daños llegan a repercutir en la producción.

Parece imprescindible conocer la persistencia en la eficacia de este método de desinfección, antes de considerar su uso de forma continuada como una solución a los problemas antes señalados. Por ello se planteó un ensayo de larga duración en el que esta forma de desinfección se aplicó 7 años consecutivos en el mismo suelo, comparando la eficacia con el bromuro de metilo, desinfectante utilizado en el Campo de Cartagena desde hace más de 22 años.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño y planteamiento de los ensayos

En un invernadero situado en la finca experimental que el IMIDA tiene en el Campo de Cartagena, de suelo franco-arcilloso, contaminado de *M. incognita*, donde se cultivaba pimiento desde hacía 5 años, se diseñó, en el verano de 1998, un ensayo de bloque al azar con tres repeticiones por tratamiento, parcelas elementales de 60 m² (formada por tres filas de plantas al marco de 1,0 × 0,4 m), donde se ha reiterado la biosolarización en las mismas parcelas hasta un máximo de 7 años consecutivos, al tiempo que se reducía la cantidad de enmienda orgánica (una mezcla de estiércol fresco de oveja, EFO, y gallinaza, G) hasta un mínimo, alcanzado el quinto año, repitiendo esa cantidad en los años siguientes (tabla 1). Como referencia se ha tenido un testigo no desinfectado y suelo desinfectado con bromuro de metilo.

Realización de la desinfección

El bromuro de metilo (98:2, Brom-o-Gas) se aplicó en fumigación en frío a la dosis de 30 g/m² y plástico VIF (Virtually Impermeable Film) de 0,04 mm, en la primera semana de noviembre, todos los años. Se utilizó un dosificador volumétrico de precisión, al tratarse de parcelas de dimensiones reducidas.

En la campaña 1998-99 la biosolarización se inició en la primera semana de septiembre, haciéndolo en la tercera semana de agosto el resto de las campañas. El plástico se levantó en la última semana de octubre, todos los años. Se procedió de la siguiente forma: tras finalizar el cultivo precedente se trajeron los restos de la plantación anterior, se preparó el terreno, se incorporó la mezcla de estiércol fresco de oveja y gallinaza mediante una labor de rotovator. Luego se extendieron las mangas de riego y se sellaron las parcelas con plástico de polietileno (PE) de 0,05 mm. A continuación se regó hasta humedecer el suelo (6-7 horas de riego total, repartidas –por igual– en dos días consecutivos, emisores de 3 l/h a 0,40 m de distancia y 0,50 m de separación entre ramales), siguiendo el protocolo descrito por Guerrero *et al.* (2004 a).

El cultivo

La primera campaña se plantó el cultivar Dallas y Lido en la segunda, ambas de fruto alargado grueso; las siguientes se utilizó el cultivar Ribera de fruto cuadrado corto. Se plantó en la primera semana de enero, todas las campañas, finalizando el cultivo en la primera semana de agosto. El riego, abonado, entutorado y el resto de las prácticas culturales fueron las habituales en la zona para este ciclo de cultivo. El control de plagas se

realizó por medios biológicos, disponiendo de sublimadores de azufre para el control de óido desde la campaña 2003-04.

Parámetros medidos

Para la evaluación comparativa se midieron los siguientes parámetros:

- a) Incidencia de *Meloidogyne*: al final del cultivo se arrancaron, al azar, 10 plantas en cada parcela elemental y se examinaron las raíces, anotando el número de plantas que presentaban nódulos y el índice de nodulación en cada una, de acuerdo a la escala de Bridge y Page (1980). Los resultados se expresan en tanto por ciento de plantas con presencia de nódulos y como índice medio de nodulación.
- b) La altura de las plantas: cada dos semanas se midió la altura de 10 plantas, tomadas al azar, en cada parcela elemental (5 en cada una de las dos filas control), comenzando a las dos o tres semanas de la plantación y terminando a finales de junio.
- c) La producción comercial y total: en cada recolección se clasificaron los frutos de cada fila según las categorías comerciales de cada tipo de cultivar, expresando los resultados en kg/m².

La comparación entre tesis se ha realizado mediante un análisis de varianza (ANOVA, tratamientos y bloques) y el test LSD al 95% para la comparación entre medias. Se han empleado para ello los datos transformados con arcsen \sqrt{x} , cuando se trataba del porcentaje de plantas afectadas, la transformación Log₁₀ (x+1) en el caso del índice medio de nodulación y producciones y Log₁₀ (x) en el caso de la altura.

RESULTADOS

Control de *Meloidogyne*

Al final del cultivo de la campaña 1997-98 se detectó la presencia de *Meloidogyne* en el invernadero. En la primera campaña de reiteración de la biosolarización (99-00) la incidencia fue baja y la desinfección ejerció un control absoluto en el caso del BrMe y a un nivel similar la biosolarización, no estableciéndose diferencias entre años de repetición en el mismo suelo (tabla 2). En la siguiente campaña la incidencia en el testigo fue elevada, proporcionando la biosolarización reiterada 2 ó 3 años similares niveles de control que el bromuro de metilo, siendo menor en el caso de la aplicación por primera vez. La situación en el testigo, en el BrMe y en la biosolarización repetida 3 y 4 veces en la campaña 01-02 fue similar a la anterior, pero no para el segundo año de reiteración en que la severidad de los ataques fue mayor que en la homóloga de la campaña anterior, quizás debido a que los antecedentes de ambas eran distintos, la de 2.^º año en la campaña anterior partía de un cultivo precedente con mayor incidencia.

En las tres campañas siguientes (tabla 3) la biosolarización reiterada mantuvo los niveles de control de las campañas precedentes en las parcelas de 3.^º, 4.^º, 5.^º, 6.^º y 7.^º año, situándose en límites aceptables, aunque en algunas reiteraciones los niveles fueron superiores a los del bromuro BrMe. Al reiterar la desinfección en la parcela que se biosolarizó por primera vez en la campaña 02-03 los niveles de control del nematodo no me-

joraron ni en relación al bromuro ni en relación al testigo para los dos parámetros medidos.

Los resultados parecen indicar que si la biosolarización se inicia con densidades poblacionales bajas, el nivel de control se mantiene con el tiempo a niveles aceptables, ya que no repercuten en los niveles de producción, mientras que si en el inicio las densidades o la incidencia precedente es elevada la eficacia se mantiene a niveles medios, algo diferentes de los obtenidos con el BrMe. En general, la tendencia es a disminuir la incidencia con la reiteración, si bien se presentan resultados aleatorios en algunas campañas.

Desarrollo de las plantas

Los efectos de la biosolarización sobre la altura de las plantas, en relación al bromuro de metilo (tablas 4 y 5) han variado con los años más que con las veces que se ha reiterado su aplicación, siendo en todos los casos bastante más altas que las del testigo, al final del período de controles (finales de junio). Como ocurría con la incidencia de los nematodos, en algunas campañas se han establecido diferencias entre algunas reiteraciones de biosolarización y el bromuro de metilo (tabla 5), aunque en sentidos contrarios. La no aportación de enmienda orgánica en las parcelas desinfectadas con bromuro de metilo pudiera influir en el desarrollo vegetativo, ya que la biosolarización mejora las características físicas del suelo (Fernández *et al.*, 2004 y 2005).

Producciones comerciales

Desde el segundo año de reiteración, la producción comercial final en los tratamientos de biosolarización fueron similares o mayores que las del bromuro de metilo (tablas 4 y 5) y mucho mayores que las del testigo. Los rendimientos productivos no aumentan a partir de la tercera campaña de reiteración de la biosolarización en el mismo suelo, como no lo hace, tampoco, cuando se desinfecta con bromuro de metilo en invernaderos comerciales (Guirao *et al.*, 2004; Guerrero *et al.*, 2004b). Las diferencias entre tratamientos se establecen en las categorías comerciales de mayor valoración económica, como se puede apreciar en las figuras 1 y 2, correspondientes a las campañas 2000-01 y 2003-04, respectivamente.

CONCLUSIONES

La eficacia de la biosolarización en el control de *Meloidogyne* se mantiene a niveles aceptables al reiterar la aplicación en el mismo suelo. Aunque presenta algunas deficiencias en relación al bromuro de metilo, la tendencia es a la estabilidad con el tiempo.

La biosolarización proporciona plantas con similar o mejor desarrollo y producción que el bromuro de metilo cuando se reitera la aplicación, sin que la reducción de la dosis de enmienda orgánica suponga perdidas de eficacia desinfectante o de capacidad productiva.

En definitiva, la biosolarización se muestra como un método eficaz y estable de desinfección de los suelos de invernaderos de pimiento, que requeriría de su integración con otros métodos para cubrir sus deficiencias en el control de nematodos.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha financiado a través de los proyectos INIA SC97-003-C05-03 y OT03-006-C07-04, así como del Programa de Colaboración de la Federación de Cooperativas Agrarias de Murcia y la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Agradecemos la colaboración técnica de D. Jerónimo Torres Corcueras y de D. Pedro Fernández Molina. M.A. Martínez ha disfrutado de una beca predoctoral del INIA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRIDGE, J.; PAGE, S.J. 1980. Estimation of root-knot nematodes infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management*, 26: 296-298.
- FERNÁNDEZ, P.; GUERRERO, M.M.; ROS, C.; BELLO, A.; GARCÍA, A.; LACASA, A. 2004. Efecto de la biofumigación+solarización sobre la características físicas y químicas de los suelos de pimiento del sureste español. *Actas de Horticultura*, 42: 6-12.
- FERNÁNDEZ, P.; GUERRERO, M.M.; MARTÍNEZ, M.A.; ROS, C.; LACASA, A.; BELLO, A. 2005. Effects of biofumigation plus solarization on soil fertility. *Industrial crops and rural development. Proceedings of Annual Meeting of the Association for the Advancement of industrial crops*, 17-21 September, Murcia Spain, 229-236.
- GUERRERO, M.M.; LACASA, A., ROS, C.; MARTÍNEZ, M.A., GUIRAO, P.; BARCELÓ, N.; MARTÍNEZ, M.C.; BELLO, A., FERNÁNDEZ, P.; QUINTO, V. 2003. Eficacia de la biofumigación con solarización reiterada en los suelos de invernaderos para cultivo ecológico de pimiento. *Actas de Horticultura*, 39: 33-35.
- GUERRERO, M.M.; LACASA, A.; ROS, C.; BELLO, A.; MARTÍNEZ, M.C.; TORRES, J.; FERNÁNDEZ, P. 2004a. Efecto de la biofumigación con solarización sobre los hongos del suelo y la producción: fechas de desinfección y enmiendas. A. Lacasa, M.M. Guerrero, M. Oncina y J.A. Mora Eds. *Publicaciones de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Jornadas 16*: 209-238.
- GUERRERO, M.M.; ROS, C.; MARTÍNEZ, M.A.; BARCELÓ, N.; MARTÍNEZ, M.C.; GUIRAO, P.; BELLO, A.; CONTRERAS, J.; LACASA, A. 2004b. Estabilidad en la eficacia desinfectante de la biofumigación con solarización en cultivos de pimiento. *Actas de Horticultura*, 42: 20-24.
- GUERRERO, M.M.; ROS, C.; GUIRAO, P.; MARTÍNEZ, M.A.; MARTÍNEZ, M.C.; BARCELÓ, N.; BELLO, A.; LACASA, A.; LÓPEZ, J.A. 2004c. Biofumigation plus solarisation efficacy for soil disinfection in sweet pepper greenhouses in the Southeast of Spain. *Acta Horticulturae* 698: 293-297.
- GUERRERO, M.M.; ROS, C.; MARTÍNEZ, M.A.; MARTÍNEZ, M.C.; BARCELÓ, N.; LACASA, A. 2005. Biofumigación con solarización. Un método estable de desinfección de suelos de invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura*, 7 (3): 111-115.
- LACASA, A.; GUIRAO, P. 1997. Investigaciones actuales sobre alternativas al uso del bromuro de metilo en pimiento de invernadero». A. López, J.A. Mora. Eds. *Publicaciones de la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Jornadas 11*: 47-50.
- GUIRAO P.; GUERRERO, M.M.; ROS, C.; LACASA, A.; BELTRÁN, C., MARTÍNEZ, M.C.; TORRES, J.; ONCINA, M.; CONTRERAS, J. 2004. La reducción de dosis del bromuro de metilo en el cultivo de pimiento y el calendario de retirada. En: A. Lacasa, M.M. Guerrero, M. Oncina y J.A. Mora (Eds.). *Desinfección de suelos en*

- invernaderos de pimiento.* Publicaciones de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. Jornadas 16: 61-78.
- LACASA, A.; GUERRERO, M.A.; GUIRAO, P.; ROS, C. 2002. Alternatives to methyl bromide in sweet pepper crops in Spain. En T.A. Batchelor, J.M. Bolívar (Edits.). Proceedings of the International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. The Remaining Challenges. Sevilla. Spain. 5-8 March. 172-177.
- MARTÍNEZ, M.A., GUERRERO, M.M.; MARTÍNEZ, M.C.; BARCELÓ, N.; GUIRAO, P.; ROS, C.; LACASA, A.; TELLO, J. 2003. La fatiga del suelo en cultivos convencionales y ecológicos de pimiento en invernadero. Actas de Horticultura 39, 36-37.
- REYES, J.M.; DE CARA, M.; DIÁMEZ, F.; SANTOS M.; SEGURA, J.M.; BLANCO, R.; SÁNCHEZ, J.A.; TELLO, J. 2004. Efecto de la solarización, biofumigación y biosolarización sobre la población de la microbiota fungica del suelo del olivo. VI Congreso SEAE, Almería, 27 septiembre-4 octubre. Resúmenes, 96.
- TELLO, J.; LACASA, A. 1997. Problemática Fitosanitaria del suelo en el cultivo del pimiento en el campo de Cartagena. En Posibilidad de alternativas viables al bromuro de metilo en pimiento de invernadero. A. López y J.A. Mora Eds. Publicaciones de la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Jornadas 11; 11-18.

Tabla 1. Dosis de la mezcla de enmienda orgánica (estiércol fresco de oveja EFO+gallinaza G) utilizada en cada campaña, distribución de tratamientos en el invernadero en cada año

Tratamientos	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
BrMe, 30	sí						
1. ^{er} año, 7+3	sí		sí		sí		
1. ^{er} año, 6+2		sí					
2. ^º año, 5+2,5		sí	sí	sí		sí	
3. ^{er} año, 4+2			sí	sí			sí
4. ^º año, 3+1,5				sí		sí	
5. ^º año, 2+0,5					sí	sí	sí
6. ^º año, 2+0,5					sí	sí	sí
7. ^º año, 2+0,5						sí	sí
Testigo	sí	sí	sí	sí	no	sí	sí

Tabla 2. Incidencia de *Meloidogyne* en los diferentes tratamientos realizados en las tres campañas primeras. 1999-00 a 2001-02

Tratamiento	1999-00		2000-01		2001-02	
	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)
Testigo	1,16 b	50,0 b	6,78 c	100,0 b	7,2 c	100 c
BrMe	0,00 a	0,0 a	1,48 a	36,7 a	1,3 a	54,2 ab
Bios. 1. ^{er} año	0,28 a	11,1 ab	4,53 b	90,0 b		
Bios. 2. ^º año	0,18 a	12,8 ab	1,77 a	43,3 a	4,3 b	87,5 bc
Bios. 3. ^{er} año			1,30 a	40,0 a	1,4 a	33,3 a
Bios. 4. ^º año					1,6 a	54,2 ab

^a Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log10 (x+1). ^b Test LSD al 95% con datos transformados mediante Arcsen(\sqrt{x}). Las cifras con la misma letra en una misma columna no son diferentes ($P < 0,05$).

Tabla 3. Incidencia de *Meloidogyne* en los diferentes tratamientos realizados en las tres últimas campañas 2002-03 a 2004-05

Tratamiento	2002-03		2003-04		2004-05	
	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)	Índice medio ^a	Plantas con nódulos ^b (%)
Testigo.....	ne	ne	3,8 c	66,7 c	3,97 d	83,33 c
BrMe.....	0,00 a	0,00 a	0,0 a	0,0 a	0,20 a	6,60 a
Bios. 1. ^{er} año	2,40 b	53,3 b				
Bios. 2. ^o año.....			2,7 c	53,3 bc		
Bios. 3. ^{er} año	1,93 b	53,3 b			2,33 c	73,33 c
Bios. 4. ^o año.....	2,67 b	66,6 b	0,7 ab	20,0 b		
Bios. 5. ^o año.....	1,80 b	40,0 ab	1,0 b	33,3 b	0,67 ab	13,33 a
Bios. 6. ^o año.....			0,3 a	13,3 ab	1,67 b	40,00 b
Bios. 7. ^o año.....					0,13 a	6,67 a

^a Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log₁₀(x+1). ^b Test LSD al 95% con datos transformados mediante Arcsen(√x). Las cifras con la misma letra en una misma columna no son diferentes (P < 0,05).

Tabla 4. Altura de las plantas a finales de junio y producciones comerciales en los tratamientos evaluados en las campañas 99-00 a 01-02

Tratamiento	1999-00		2000-01		2001-02	
	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)
Testigo.....	156 b	7,7 b	145 c	9,6 b	153 b	7,0 c
BrMe.....	165 a	9,1 a	164 a	11,0 a	157 ab	8,2 b
Bios. 1. ^{er} año	138 d	8,3 a	153 b	10,0 b	—	—
Bios. 2. ^o año.....	147 c	8,0 ab	152 b	11,1 a	161 a	10,1 a
Bios. 3er año			154 b	11,1 a	162 a	9,3 a
Bios. 4. ^o año.....					161 a	9,2 a

^a Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log₁₀(x+1). ^b Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log₁₀(x). Las cifras con la misma letra en una misma columna no son diferentes (P < 0,05).

Tabla 5. Altura de las plantas a finales de junio y producciones comerciales en los tratamientos evaluados en las campañas 02-03 a 04-05

Tratamiento	2002-03		2003-04		2004-05	
	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)	Altura plantas ^b (cm)	Producción comercial ^a (kg/m ²)
Testigo.....	161 c	8,6 b	126 b	7,4 b	158 b	6,3 b
BrMe.....	194 a	8,1 b	142 a	8,7 a	183 a	5,9 c
Bios. 1. ^{er} año	182 b	10,6 a	—	—	—	—
Bios. 2. ^o año.....	—	—	145 a	8,7 a	—	—
Bios. 3. ^{er} año	184 b	10,4 a	—	—	185 a	8,7 a
Bios. 4. ^o año.....	181 b	10,1 a	147 a	8,4 a	—	—
Bios. 5. ^o año.....	183 b	10,6 a	141 a	9,2 a	179 a	9,2 a
Bios. 6. ^o año.....			147 a	9,2 a	188 a	8,4 a
Bios. 7. ^o año.....					188 a	8,5 a

^a Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log₁₀ (x+1). ^b Test LSD al 95% con datos transformados mediante Log₁₀ (x). Las cifras con la misma letra en una misma columna no son diferentes ($P < 0,05$).

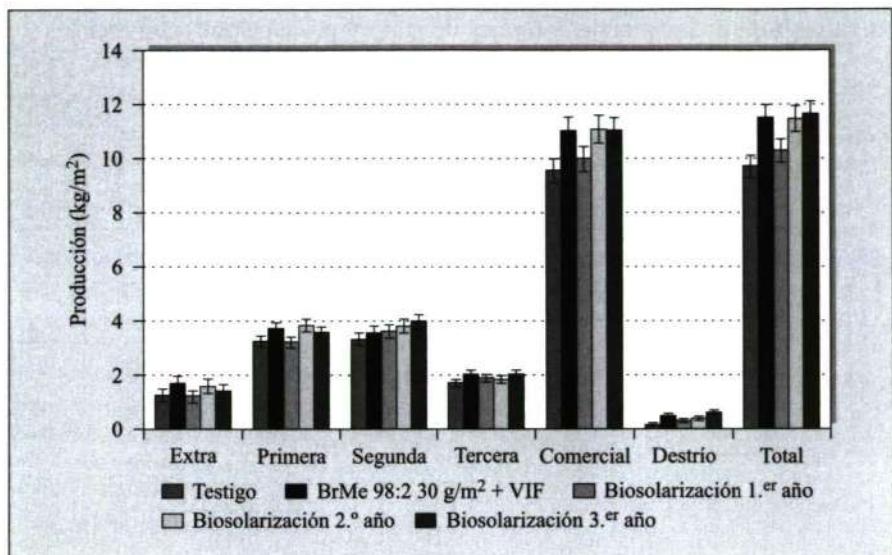


Figura 1

PRODUCCIÓN MEDIA POR CATEGORÍAS COMERCIALES
EN LA CAMPAÑA 00-01. INTERVALOS LSD AL 95% CON LOS DATOS
TRANSFORMADOS CON $\log_{10}(x+1)$

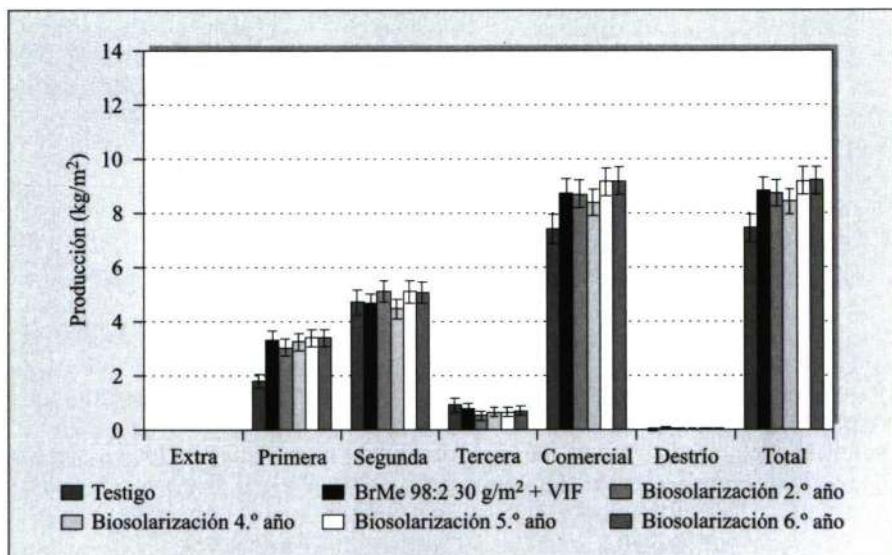


Figura 2

PRODUCCIÓN MEDIA POR CATEGORÍAS COMERCIALES
EN LA CAMPAÑA 03-04. INTERVALOS LSD AL 95% CON LOS DATOS
TRANSFORMADOS CON $\log_{10}(x+1)$