

# FERTIRRIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y ENTERRADO DEL MELÓN (*Cucumis melo* L.) EN INVERNADERO<sup>1</sup>

Manuel Antonio N. Vásquez<sup>2</sup>, Marcos Vinícius Folegatti<sup>3</sup>, Nildo da Silva Dias<sup>4</sup> y Valdemício F. de Sousa<sup>5</sup>

## Resumen:

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de dos posiciones de instalación de tubos porta goteros, tres láminas de riego y cuatro dosis de potasio sobre la productividad comercial de frutos de melón en invernadero. El experimento fue realizado en un invernadero de 420,0 m<sup>2</sup>, localizado en Piracicaba - São Paulo - Brasil. El diseño experimental fue en bloques completos al azar en esquema factorial de 2x3x4. Las posiciones de instalación de tubos porta goteros fueron superficial y enterrado a 0,2 m, las láminas de riego fueron 33, 67 y 100 % de la evaporación diaria de un mini tanque evaporimétrico y las dosis de potasio fueron 0, 6, 9 y 12 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>. El fertirriego fue realizado basándose en la curva de absorción de N y K del cultivo. La evaporación total del mini tanque evaporimétrico durante la época de riego fue de 417,32 mm. La productividad comercial fue influenciada significativamente (P<0,01) por las dosis de potasio, láminas de riego y posición de los tubos porta goteros. Las dosis de potasio 6 y 9 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>, combinadas con la lámina de 100% y la posición de los tubos porta goteros enterrados, alcanzaron mayor productividad comercial, 61.428 y 66.224 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palabras clave:** Manejo del fertirriego, tubos porta goteros, riego enterrado, productividad.

## INTRODUCCIÓN

El melón es uno de los productos de mayor expresión económica de la agricultura irrigada en el Brasil, con una exportación en 2001 de 99430 t, equivalentes a 39,3 millones de US\$ (FNP Consultoría & Comercio, 2002). La región Nor Oeste se destaca como la principal productora de melón, con una participación en la productividad nacional superior a 50 %, presentando una productividad en torno de 22 a 40 t ha<sup>-1</sup>, con productos de excelente aceptación en el mercado internacional. Esta región presenta buenas condiciones ambientales para este cultivo, con altas temperaturas y baja humedad relativa del aire (Monteiro, 1995).

En virtud de que, en algunas regiones de Brasil, el cultivo de melón al aire libre se restringe a los meses más secos del año, la opción por el invernadero permite prolongar la producción de melón desde la primavera hasta el otoño, mostrándose económicamente viable. Por tanto, existen algunos procedimientos técnicos que deben ser ajustados para el manejo adecuado de este cultivo en invernaderos, evitando problemas originados por la modificación de su ambiente, dentro de los cuales está la dificultad de establecer las dotaciones y momento en que se debe aplicar el riego.

<sup>1</sup> Parte de la tesis doctoral del primer autor financiada por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Brasil/ FAPESP.

<sup>2,3,4</sup> Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, ESALQ/USP. Departamento de Engenharia Rural, LER, CP 09, CEP 13418-900, Piracicaba, São Paulo - Brasil. Teléfono: (019) 3429 4217. E-mail: manvasqu@carpa.ciaagri.usp.br, mvfolega@esalq.usp.br, nisdias@esalq.usp.br

<sup>5</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Meio Norte, CP 01, CEP 64006-220, Teresina, Piauí - Brasil. E-mail: vfsousa@cpamn.embrapa.br

Artículo recibido el 1 de julio de 2003, recibido en forma revisada el 15 de enero de 2004, 27 de enero de 2005 y 19 de septiembre de 2005 y aceptado para publicación el 17 de octubre de 2005. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

No se dispone de informaciones definidas sobre el consumo de agua del cultivo de melón en invernadero. Se encuentra apenas el valor de la lámina de riego de 135 mm en todo su ciclo, determinado en base al potencial matricial de agua en el suelo por Monteiro (1995), en el estado de São Paulo, Brasil. Teniendo en cuenta que la disponibilidad de agua es uno de los factores más importantes para maximizar el rendimiento y calidad de los frutos de melón, debido a su sensibilidad al déficit hídrico y, principalmente, a su baja tolerancia al exceso de agua, es necesario generar informaciones básicas todavía no disponibles para realizar una adecuada dotación de agua para el melón en invernadero, sobretodo cuando va asociado al riego enterrado y a las dosis adecuadas de nutrientes.

En este sentido, los estudios realizados por Phene et al. (1990), demuestran que el riego por goteo enterrado puede aumentar de 46% a 62% el tamaño del bulbo húmedo en comparación con el tamaño del bulbo húmedo del riego por goteo superficial para la misma lámina de agua aplicada. Además que el bulbo húmedo alrededor del emisor enterrado puede ser condicionado por la frecuencia de riego, si el interés es ampliar su volumen, la frecuencia de riego deberá ser aumentada (Phene, et al., 1987).

Así mismo Phene et al. (1992) listó varias características de sistemas de riego por goteo enterrado, entre los que se destacan mayor eficiencia en el uso del agua, menores tasas de evaporación, menor escorrentía, disminución de hierbas dañinas, menor aplicación de herbicidas y fertilizantes, y menos daños causados por animales.

Por otra parte, el potasio es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan de cantidades elevadas de este nutriente. Siendo semejante a la necesidad de nitrógeno, el potasio se encuentra en todos los órganos, translocándose fácilmente de una parte a otra de la planta, y cumple una misión importante en la activación de un número de enzimas (siendo conocidos más de 60 actividades por este catión), que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos, además de tener influencia en el balance de agua y en el crecimiento meristemático (Mengel y Von Braunchwig, 1972).

Juntamente con el nitrógeno, el potasio tiene un papel importante en la translocación de carbohidratos (Prabhakar et al., 1985). Sin embargo,

existen resultados controvertidos, tanto por su efecto individual como por su interacción con otros nutrientes. Distintos autores le atribuyen un papel relevante en el rendimiento (Pinto et al., 1995; Pacheco et al., 1996; Kano, 2002; Sagiv et al., 1980 y Rincón et al., 1998).

De acuerdo con estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de dos posiciones de instalación de los tubos portagotos, tres láminas de riego y cuatro dosis de potasio, sobre la productividad comercial de los frutos de melón en invernadero.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el área experimental del Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba, SP - Brasil, en un área de 420 m<sup>2</sup> (15 m x 28 m), localizado a 22°42'30" de latitud sur, 47°38'00" de longitud al Oeste de Greenwich y 576 m de altitud, en el período comprendido entre el 16 de septiembre de 2001 al 17 de enero de 2002.

El invernadero utilizado poseía estructura metálica galvanizada, altura en la parte central de 4,6 m y pie derecho de 3,0 m, constituido de 4 ventanas frontales, cubiertas con un film de polietileno transparente de alta densidad, con aditivo ultravioleta y espesor de 150 µm. Las laterales de la misma fueron cerrados con tela plástica de protección tipo clarite 50 %, transparente y revestida de cortinas para regular las temperaturas y flujo de aire.

Los datos climáticos fueron recolectados en el interior del ambiente protegido durante el ciclo fenológico del cultivo, mediante una estación agrometeorológica automática portátil de la Campbell sci, modelo CR10X, equipada con sensores de determinación de Radiación Solar Global (RSG), Radiación Solar Neta (RSN), Temperatura (T) y Humedad Relativa del Aire (HRA).

El suelo pertenece al grupo de los oxisoles (Soil Taxonomy, 1973), posee textura franco arcillo arenosa y profundidad efectiva de 50-60 cm. Según el análisis químico (Tablas 1 y 2) y físico (Tabla 3) de las muestras de suelo de 0-20 cm, se trata de un suelo con muy bajo contenido de potasio y fósforo, baja capacidad de intercambio catiónico y muy bajo contenido de materia orgánica.

## FERTIRRIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y ENTERRADO DEL MELÓN (*CUCUMIS MELO L.*) EN INVERNADERO

Posee bajo contenido de B, medio de Cu y Zn, y alto de Fe y Mn, tiene fuerte acidez y su capacidad de retención de agua es baja.

Con base en los resultados del análisis químico del suelo fue aplicado e incorporado al suelo 7120 kg ha<sup>-1</sup> de cal dolomítica 60 días antes del transplante de las plántulas de melón, para elevar la saturación por bases a 80 % (Raij et al., 1986). Un mes antes del transplante de las plántulas de

melón se aportaron 20 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de vacuno (Kiehl, 1985), 520 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato térmico (17,5 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,10 % de B y 0,55 % de Zn).

Las características químicas del agua de riego utilizada en el presente experimento se encuentran descritas en la Tabla 4. De modo general, los resultados no indican limitaciones para la productividad de melón cuando se comparan con las recomendaciones de FAO: Riego y drenaje, 29 (Ayers, 1999).

Tabla 1. Análisis químico del suelo: pH, materia orgánica (M.O.), macro nutrientes disponibles (P, K, Ca y Mg), aluminio intercambiable (Al), acidez total (H+Al), suma de bases (SB), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), saturación por bases (V) y saturación por aluminio (m).

Prof. (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	S-SO <sub>4</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Al	H+Al	SB	C.I.C.	V (%)	m
0-20	4,5	11	5	18	0,6	10	5	2	22	15,6	37,6	41	11

Tabla 2. Análisis químico del suelo, micro nutrientes disponibles: Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn)

Prof. (cm)	B	Cu	Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	Mn	Zn
0-20	-	0,7	15	8,4	0,7

Tabla 3. Análisis físico del suelo: contenido volumétrico de agua a -33 kPa y a -1500 kPa, densidad aparente (Da), arcilla, limo, arena, floculación y clasificación textural (Soil Survey Manual -USDA)

Prof. (cm)	-33 kPa	-1500 kPa	Da	Arcilla	Limo	Arena	Flocul.	Clase
	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>		g cm <sup>-3</sup>	%			%	textural
0-20	0,19	0,13	1,4	28	8	64	100	Fr-arc. are

Tabla 4. Resultados de análisis químico de agua de riego

Parámetros	Unidad	Resultado
Alcalinidad (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	36,4
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	8,1
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	4,1
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	48,1
Fósforo (P)	mg L <sup>-1</sup>	0,2
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	0,3
Sodio (Na <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	8,9
Potasio (K <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	3,4
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	12,7
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	7,3
Hierro (Fe)	mg L <sup>-1</sup>	0,02
Cobre (Cu)	mg L <sup>-1</sup>	0,04
Manganeseo (Mn)	mg L <sup>-1</sup>	0,05
Zinc (Zn)	mg L <sup>-1</sup>	0,03
Conductividad eléctrica (CE)	mS cm <sup>-1</sup>	0,16
PH	-	7,2
Acidez	mg L <sup>-1</sup>	4,0
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	61,8

En el interior del invernadero se delimitaron tres bloques de 3,6 m x 27,0 m, distanciados a 1,5 m en la parte central y a 0,6 m del cerco perimetral. En cada bloque se delimitó 24 unidades experimentales correspondientes a cada combinación de los factores en estudio, con una superficie de 3,6 m x 0,6 m y separados a 0,5 m. Cada unidad experimental contenía un total de 13 plantas a un marco de 0,6 m x 0,2 m (una fila de 7 plantas y otra de 6 plantas), se consideraron 9 plantas útiles y 2 plantas de cada extremo funcionaron como bordadura, totalizando una población de 23.636 plantas ha<sup>-1</sup>, tal como se muestra en la Figura 1.

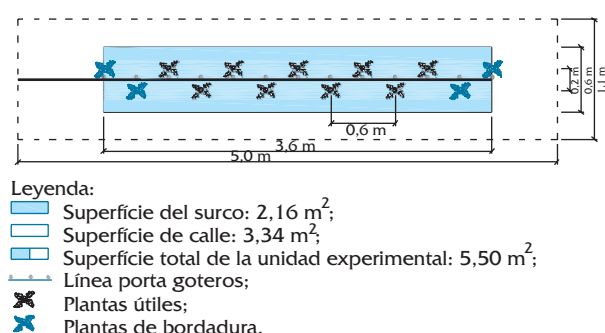


Figura 1. Esquema de la unidad experimental

El melón (*Cucumis melo* L. híbrido Bonus n° 2, tipo Cantaloupe) se sembró en tubos de polietileno de 0,04 m de diámetro x 0,12 m de largo conteniendo sustrato a base de estiércol de corral, permanecieron en un vivero por 18 días donde recibieron riegos de nascencia y control de exceso de sombra. En este período las plántulas alcanzaron 2 hojas verdaderas y luego fueron transplantadas para el invernadero el 5 de octubre de 2001.

Las plantas fueron tutoradas en vertical, hasta 2,0 m de altura, con ayuda de alambre y cuerdas.

Se realizaron desbrotes periódicos de las guías laterales asegurando el crecimiento de una sola rama, al alcanzar los 2 m de altura, fue eliminada la yema apical. La polinización tuvo lugar entre los 30 a 50 días después del transplante (DDT) utilizando un enjambre de abejas propio para esta finalidad, localizado en el centro del invernadero. Los frutos fueron conducidos en cestas de plástico amarradas a las líneas de alambre.

El riego fue por goteo, controlado por un programador tipo Basic Step y un periférico, provisto de válvulas tipo solenoide que posibilitaron el flujo a la red hidráulica de polietileno de 13 mm de diámetro y presión de 15 m.c.a. Se utilizaron goteros compensantes de 1,6 L h<sup>-1</sup>, distanciados 0,30 m dentro de cada línea porta goteros. Las líneas porta goteros estaban separadas entre sí 1,1 m y mantenidas en el centro de las dos hileras de plantas de la unidad experimental, con un gotero por cada planta.

Antes de la aplicación de las respectivas láminas de riego, fue evaluada la uniformidad de emisión de los goteros de acuerdo con la metodología propuesta por Keller y Karmeli (1975), además se efectuaron revisiones periódicas de la instalación y limpiezas del filtro de disco para prevenir riesgo de obturaciones de los mismos. Los resultados dieron un grado de aceptabilidad entre bueno y excelente, lo cual ya fue esperado para este sistema de riego.

El riego superficial (P1) y enterrado a 0,2 m (P2) se aplicaron diariamente con diferentes láminas según los tratamientos: 33, 67 y 100 % de Evp (L1, L2 y L3, respectivamente), siendo "Evp" la evaporación diaria de un mini tanque evaporimétrico de 0,60 m de diámetro y 0,25 m de altura,

Tabla 5. Distribución de la extracción de N y K (% ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) para el cultivo de melón fertirrigado por goteo, en diferentes fases de su ciclo fenológico

Días después de la germinación	Extracción (% ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	
	Nitrógeno (N)	Potasio (K)
1 – 5	1	1
6 – 11	2	1
12 – 16	3	2
17 – 22	6	4
23 – 27	9	8
28 – 33	17	16
34 – 38	28	18
39 – 43	16	20
44 – 49	7	18
50 – 54	6	9
55 – 60	3	2
61 – 65	2	1

instalado sobre un soporte de madera de 0,2 m de altura en el tercio medio dentro del invernadero, previniendo su sombramiento. Este mini tanque evaporimétrico, también es llamado Tanque Clase A reducido, es utilizado en invernadero para manejar el riego, debido a que ocupa menos área, tiene menor costo y es más práctico en relación con el Tanque Clase A construido por el Servicio Meteorológico Norte Americano (U.S.W.B.) que tiene un inconveniente de impedir la productividad de cultivos en un área de aproximadamente 1,15 m<sup>2</sup>, ya que posee 1,21 m de diámetro.

Se aplicaron cuatro tratamientos de dosis de potasio: 0, 6, 9 y 12 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup> (K0, K1, K2 y K3, respectivamente). Estas dosis correspondieron a 0, 134, 201 y 267 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Las aplicaciones fueron en forma de disolución de nitrato de potasio (44% de K<sub>2</sub>O y 14% de N) a lo largo de las líneas de riego, en 34 aplicaciones distribuidas de acuerdo con la extracción durante el ciclo fenológico del cultivo, propuesto por Bar-Yosef (1999), indicados en la Tabla 5.

Este fertirriego se aplicó con una frecuencia de 2 días, sin alterar las láminas de riego propuestos y mediante succión directa de un tanque de 500 L de capacidad, provisto de mecanismo de agitación permanente. El fertirriego nitrogenado no se consideró como otro tratamiento diferente, ya que todas las combinaciones recibieron en media 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, adicionándose nitrato de amonio (34% de N). No se aplicaron otros elementos vía agua de riego, debido a la corrección efectuada al suelo.

Una vez alcanzada la maduración de los frutos se inició la recogida de todas las parcelas de forma individual, totalizando tres épocas de cosecha. Se determinó el parámetro de productividad comercial (PC) juntando las tres épocas de cosecha.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar dispuestos en esquema factorial de 2x3x4, resultando 24 tratamientos en cada bloque producto de las combinaciones entre dos posiciones de instalación de tubos porta goteros (P1 y P2), tres láminas de riego (L1, L2 y L3) y cuatro dosis de potasio (K0, K1, K2 y K3). Con los datos de PC, fueron realizados análisis de variancia para cada factor evaluado y para sus respectivas interacciones, Las interacciones de los tres factores que mostraron significancia estadística (P < 0,01 y P < 0,05) fueron descompuestas por el test de

Tukey para la variable cualitativa de posición de los tubos porta goteros y por el test de regresión polinomial para las variables cuantitativas de láminas de riego y dosis de potasio, lo que permitió determinar el efecto de los factores asociadas a las respectivas interacciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos climáticos recolectados en el interior del ambiente protegido durante el ciclo fenológico del cultivo están presentes en la Tabla 6. En los 99 días (05/10/01 a 12/01/02) que duró el ciclo fenológico del cultivo, se registró valores totales de RSG de 1.314 MJ m<sup>-2</sup> con media de 13 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> y de RSN de 918 MJ m<sup>-2</sup> con media de 9 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, observándose que estos valores tienden al mínimo en condiciones de baja energía (días nublados).

Los valores son menores que los encontrados por Cardoso (2002) en el período de 4 de septiembre a 15 de diciembre de 2001 para el mismo híbrido de melón, que fueron de 2.811 MJ m<sup>-2</sup>, con media de 29 MJ m<sup>-2</sup> para RSG y de 1.965 MJ m<sup>-2</sup>, con media de 19 MJ m<sup>-2</sup> para RSN. Este mismo autor, para el mismo período encontró valores de T y HRA de 24°C y 76 %, próximos a los del presente experimento que fueron de 25°C y de 73 %.

Las variaciones encontradas pueden deberse a las características y dimensiones del invernadero, a la época de producción, al manejo de las cortinas laterales y a la densidad de plantío, principalmente.

Tabla 6. Valores totales mensuales de radiación solar global (RSG), radiación solar neta (RSN), temperatura media del aire (T) y humedad relativa media del aire (HR), durante el ciclo fenológico del cultivo de melón

Meses	RSG MJ m <sup>-2</sup>	RSN MJ m <sup>-2</sup>	T °C	HR %
Octubre	369	225	25	65
Noviembre	383	271	25	75
Diciembre	404	305	25	74
Enero	158	117	25	78
Total	1.314	918	25	73

En la Figura 2 se muestran los valores diarios de los tratamientos referentes a las láminas de riego (L1, L2 y L3) y acumulados (L1a, L2a y L3a), resultantes de la Evp.

La menor y mayor E<sub>pv</sub> fue de 0,65 mm y 7,34 mm registrados a los 5 DDT y 47 DDT, respectivamente, con una media de 4,39 mm y un total durante los 94 días de riego del cultivo de 417,32 mm. Por lo que las láminas de riego L1, L2 y L3, correspondieron a 137,72 mm, 279,60 mm y 417,32 mm, respectivamente.

forma superficial y enterrado, puede ser considerado próximos al consumo total de agua para el melón en invernadero encontrados por Monteiro (1995) en el estado de São Paulo - Brasil, que fue de 135 mm y a los encontrados por Caron y Heldwein (2000) en los años de 1996, 1997 y 1998 también en invernadero, que registraron un consumo total de agua para el cultivo de melón de 210 mm, 167 mm y 159 mm, respectivamente.

Estos valores de lámina de riego aplicada de

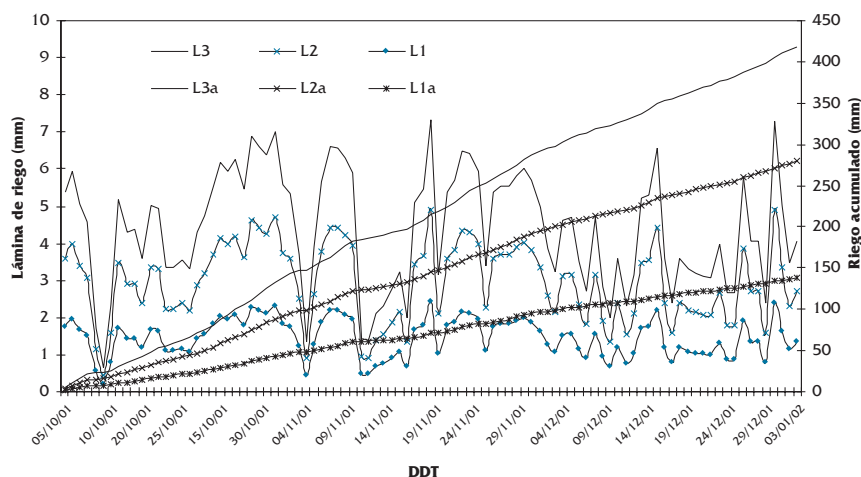


Figura 2. Láminas de riego (L1, L2 y L3) y acumulados (L1a, L2a y L3a) durante la época de riego del cultivo de melón, provenientes de la evaporación del mini tanque evaporimétrico

Tabla 7 Clasificación de fruto comercial de melón por categoría de peso

Combinación	Número de frutos ha <sup>-1</sup>				
	0,55-0,80 Kg	0,80-1,05 Kg	1,05-1,30 Kg	1,30-1,55 Kg	>1,55 Kg
P1L1K0	3.953				
P2L1K0	5.929	1.317	1.317	1.976	
P1L2K0	22.398	9.221			
P2L2K0	18.445	15.810	1.316	1.976	
P1L3K0	17.128	23.715	6.588	11.199	
P2L3K0	19.763	10.540	7.905		
P1L1K1	7.905	1.976			
P2L1K1	16.469	9.221	1.316		
P1L2K1	26.349	9.223	2.634	3.294	
P2L2K1	17.128	15.151	1.316		
P1L3K1	21.739	18.445	5.269		
P2L3K1	27.008	19.103	6.588	11.197	1.316
P1L1K2	5.929	3.953	659		
P2L1K2	11.198	6.588	659		
P1L2K2	21.739	1.040	3.294		
P2L2K2	21.739	9.881	3.294		
P1L3K2	26.350	13.834	5.269	1.976	
P2L3K2	21.739	15.151	12.516	13.834	1.976
P1L1K3	5.929	3.953			
P2L1K3	16.469	5.269	2.634		
P1L2K3	27.009	5.929	1.316	1.976	
P2L2K3	19.128	10.540	1.976	1.976	
P1L3K3	17.128	10.540	3.292	2.634	659
P2L3K3	16.469	9.223	1.976		

## FERTIRRIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y ENTERRADO DEL MELÓN (CUCUMIS MELO L.) EN INVERNADERO

De esto se puede deducir que existe un menor consumo de agua por parte del cultivo de melón en invernadero al relacionar las investigaciones reportadas por Doorenbos y Pruitt (1976), que indica requerimiento total de agua para el cultivo de melón al aire libre durante su ciclo de desarrollo (100 días), que está en torno de 400 mm a 600 mm, coincidiendo con los resultados reportados por Hudson *et al.* (1981) que manifiestan un consumo total de 500 mm.

La PC del melón fue calculada con los frutos de peso mayor a 0,550 kg, considerando estos óptimos para la comercialización y son mostrados en la Tabla 7. El número de frutos ha<sup>-1</sup> correspondiente a la categoría de 0,55-0,80 kg fueron los que más contribuyeron para el total de la PC, así mismo se verifica que el número de frutos ha<sup>-1</sup> disminuye a medida que la clasificación por peso aumenta.

Los valores de PC para las 24 combinaciones entre los niveles de cada factor fueron muy dispersos y están mostrados en la Figura 3. Las combinaciones P2L3K1 y P2L3K2, alcanzaron mayor PC con media de 61.428 kg ha<sup>-1</sup> y 66.224 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La peor PC de frutos ocurrió en la combinación P1L1K0, con media de 2.727 kg ha<sup>-1</sup>, lo que significa una reducción de 95,9 % de la PC con respecto a la mejor combinación.

El análisis de variancia indicó que hubo diferencia estadística significativa por el test de F (P<0,01), entre los factores estudiados de posición de los tubos porta goteros, láminas de riego y do-

sis de potasio de forma individual y también para sus respectivas interacciones, para productividad comercial de frutos (Tabla 8).

Tabla 8. Resumen del análisis de varianza para los valores medios de productividad comercial, con descomposición de los grados de libertad de los tratamientos, de acuerdo con el esquema factorial 2x3x4

Causas de variación	G. L.	Cuadrado medio (significancia – Prob. >F)
P	1	900871401**
L	2	6084172176**
K	3	393705671**
PxL	2	258926684**
PxK	3	94592297**
LxK	6	339467412**
PxLxK	6	174947767**
(Combinación)	(23)	
Bloques	2	385351
Residuo	46	14879248
Total	71	
Media (kg)		27194
CV (%)		14

\*\* indica que el test de F, fue significativo al nivel de 1% de probabilidad.

En consecuencia de los resultados encontrados en el análisis de varianza (Tabla 8), se procedió a descomponer los grados de libertad de las interacciones significativas de la variable cualitativa de posición de los tubos porta goteros,

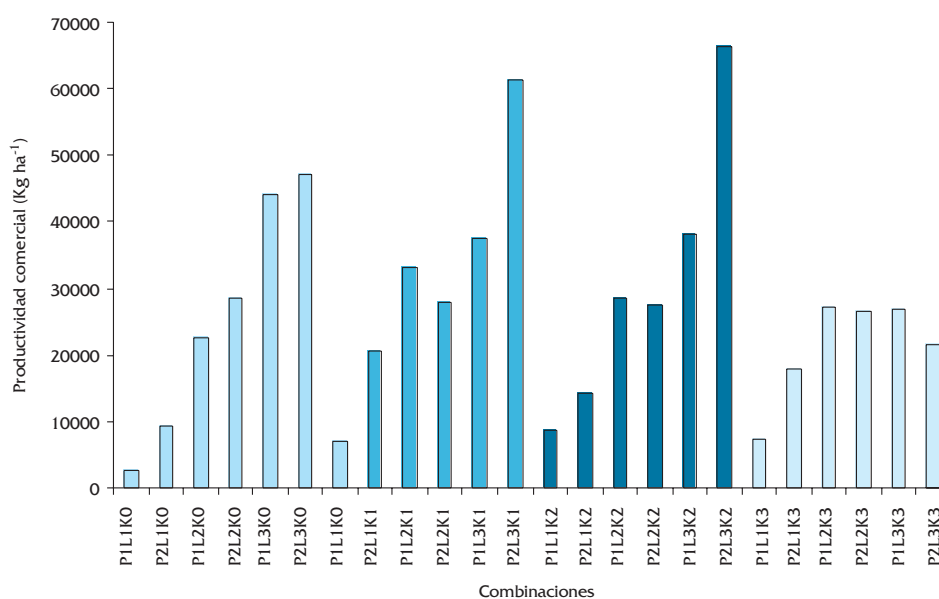


Figura 3. Productividad comercial (kg ha<sup>-1</sup>) de melón, en combinación con las dos posiciones de instalación de los tubos porta goteros, tres láminas de riego y cuatro dosis de potasio

con relación a los niveles de los demás factores estudiados, utilizando el test de Tukey. Para las lámina de riego L1 y L3, se verifica que la PC aumenta cuando los tubos porta goteros están localizados de forma enterrada para las combinaciones de dosis de potasio mostradas en el Tabla 9, con diferencia media significativa (DMS) de 6.349 kg ha<sup>-1</sup> (P<0,05) y de 8.467 kg ha<sup>-1</sup> (P<0,01) y ratificando como se manifestó anteriormente la combinación P2L3K2 con la mas alta PC de 66.224 kg ha<sup>-1</sup>.

Medias seguidos por letras distintas defieren entre si al nivel de significancia indicado.

Al comparar la misma lámina de riego (L1) con las dosis de potasio (K0, K1 y K3) se verifica un incremento de PC del orden de 237%, 192% y 59% respectivamente, cuando el riego fue aplicado de forma enterrada, demostrando que la poca cantidad de agua aplicada (137,72mm) fue mejor aprovechada de forma enterrada, coincidiendo con lo manifestado por Goldberg et al., (1976) al afirmar que pequeños volúmenes de agua pueden ser aplicados para los cultivos por sistemas de riego por goteo enterrado, evitando estrés por falta o exceso de agua y obteniendo un ahorro adicional y alta eficiencia en su uso.

Otra explicación referente a la baja PC encontrada con la menor lámina de riego aplicada de forma superficial es que esta lámina de riego puede ser considerada como un riego deficitario, al constatar que proporcionó menor numero y tamaño de frutos (Tabla 7). Asimismo se observaron altas fluctuaciones de potencial matricial del suelo a 0,30 m de profundidad, que estuvieron entre -22 kPa y -80 kPa. Estos resultados coinciden con los encontra-

dos por Pérez y Cigales (2001), que con híbrido de melón Cantaloupe registraron potenciales matriciales del suelo de -45 kPa cuando aplicaron láminas de riego de 279 mm, obteniendo rendimientos del 30 % o inferiores respecto del mejor tratamiento de potencial matricial del suelo (-10 kPa), que alcanzó 50.000 kg ha<sup>-1</sup> de frutos de exportación de las categorías 9 y 12 (0,55 – 1,00 kg).

La lámina L2 no mostró diferencia estadística para la posición de las líneas porta goteros ni para las dosis de potasio estudiadas. La lámina L3 mostró también aumentos del orden de 63% y 73% respectivamente cuando comparada con la irrigación enterrada y las dosis (K1 y K2), induciendo a afirmar que el riego por goteo enterrado, resulta provechoso cuando existe poca demanda de agua en la finca, garantizando mayor productividad y un mejor aprovechamiento del recurso agua, evitando pérdidas por evaporación directa del suelo.

De igual forma, la descomposición de las variables cuantitativas de láminas de riego (L) y dosis de potasio (K) por el test de regresión polinomial, está presente en la Tabla 10. Se muestra que el efecto de las láminas de riego sobre la PC del melón puede ser representado a través de las estimativas de las ecuaciones de primer grado válidas para las láminas de riego pertenecientes a los intervalos de [279,60; 417,32], donde se verifica un aumento de la PC con el nivel máximo de riego para todas las combinaciones que monstnan significancia estadística (1% de probabilidad). La interacción L(P2xK2) evidencia una mayor PC de 61.792 kg ha<sup>-1</sup> para el nivel máximo de riego estudiada (L3 = 417,32 mm), con ajuste significativo (P<0,01) y coeficiente de determinación de R<sup>2</sup> = 0,92.

Tabla 9. Resumen de análisis de significancia para productividad comercial por el test de Tukey para el factor de posición de los tubos porta goteros (P), dentro de los niveles de factores de láminas de riego (L) y dosis de potasio (K) aplicados

Causas de variación	Media original (kg ha <sup>-1</sup> )	(Significancia – Prob. > F)	
		5%	1%
P1(L1xK0)	2.727	A	A
P2(L1xK0)	9.188	B	A
P1(L1xK1)	7.048	A	A
P2(L1xK1)	20.604	B	B
P1(L1xK3)	7.388	A	A
P2(L1xK3)	17.946	B	B
P1(L3xK1)	37.586	A	A
P2(L3xK1)	61.428	B	B
P1(L3xK2)	38.224	A	A
P2(L3xK2)	66.224	B	B
DMS		6.349	8.467



## FERTIRRIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL Y ENTERRADO DEL MELÓN (CUCUMIS MELO L.) EN INVERNADERO

En la misma tabla se muestran que los efectos de las dosis de potasio sobre la PC del melón pueden ser representados a través de las estimativas de las ecuaciones de primer y segundo grado válidas para las dosis de potasio pertenecientes a los intervalos de [6, 9] donde se constata un aumento de la PC con las dosis intermedias de potasio estudiadas (K1 = 6 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup> y K2 = 9 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>), en cuanto que para las dosis extremas de potasio (K0 = 0 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup> y K3 = 12 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>), no se verificó efecto sobre la PC. La interacción K(P2xL3) evidencia mayor PC con 69.279 kg ha<sup>-1</sup> y efecto cuadrático para la dosis de 6 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>, con ajuste significativo (P<0,01) y coeficiente de determinación de R<sup>2</sup> = 0,84.

Las máximas producciones se consiguieron en los tratamientos que cubrieron su necesidad hídrica (0,67 Evp en la posición enterrada y 1,00 Evp en las dos posiciones de los tubos porta goteros), diferenciándose con los obtenidos por Mannini (1988) que no obtuvo diferencias significativas respecto a los tratamientos que recibieron el 100 % de la ETc cuando fueron comparados con las láminas de riego del 75-80% de la ETc.

Así mismo el número de frutos de melón recolectados en el presente experimento tuvo una notable influencia con la lámina de riego, resultando en una disminución del número de frutos, a medida que disminuye la lámina de riego, concordando con los resultados obtenidos por Mannini (1988) o Ito *et al.* (1995). De igual forma el tamaño del fruto se vio influenciado por la reducción de la lámina de riego, de acuerdo con lo señalado por Wacquant (1989) y los obtenidos por Mannini (1988) con riegos del 33 % de la ETc. No obstante, la comparación de este parámetro debe realizarse con cautela, ya que el tamaño del fruto está rela-

cionado con la densidad de plantación o con los números de plantas que se deja en la planta, tal como lo observado por Maynard y Clark (1989).

A pesar de que la dosis de potasio K3 (267 kg ha<sup>-1</sup>) fue elevada, el aporte de este elemento no produjo aumento de la PC, esta falta de respuesta de la PC podía ser esperado debido al aporte suplementario de estiércol de vacuno (práctica común en la zona). No obstante, los efectos negativos del exceso de potasio, podrían ser debidos a la disminución de la asimilación de fósforo (Valenzuela *et al.* 1996) o a la obtención de frutos de menor calibre como lo manifestado por Rincón y Giménez (1989), efectos que evidentemente se presentaron en el experimento.

Entre tanto la influencia del abonado potásico sobre el rendimiento del melón no está clara, pues los resultados de algunas investigaciones no son concluyentes. Heriprakasa y Srinivas (1990), en parcelas con contenido medio en potasio y Pacheco *et al.* (1996) y Pinto *et al.* (1995) en suelos pobres en este elemento encontraron una respuesta positiva. Sin embargo, Nerson *et al.* (1985) estudiando un suelo con alta fertilidad y Pardossi *et al.* (1994), estudiando un suelo inerte no obtuvieron diferencia en la productividad con distintas dosis de abonado potásico, a pesar de que estos últimos observaron un incremento en la concentración de potasio foliar.

La mayor PC se obtuvo con los tratamientos K1 y K2 (133 y 201 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), parecidos a los resultados de Sagdullaev y Umarov (1974) que revelan aumento en la calidad y productividad del melón cuando fue aplicado 100 kg de N ha<sup>-1</sup> y 150 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, siendo que la interacción NxK no ocasionó un incremento significativo en el peso de los frutos.

Tabla 10. Ecuaciones de primer y segundo grado para la productividad comercial (Y, kg ha<sup>-1</sup>). Resultados del test de regresión polinomial para el factor lámina de riego (L, mm) en el intervalo [279,60; 417,32] y dosis de potasio (K<sub>2</sub>O, g planta<sup>-1</sup>) aplicados

Causas de variación	Ecuación	R <sup>2</sup>	(significancia – Prob. > F)
L(P1xK0)	Y = -17958,354 + 147,545 L	0,99	**
L(P1xK1)	Y = -4587,186 + 109,595 L	0,86	**
L(P1xK2)	Y = -4084,767 + 104,978 L	0,96	**
L(P1xK3)	Y = 1015,488 + 70,081 L	0,74	**
L(P2xK0)	Y = -9483,518 + 135,481 L	0,99	**
L(P2xK1)	Y = -3868,340 + 145,529 L	0,87	**
L(P2xK2)	Y = -15366,637 + 184,892 L	0,92	**
K(P1xL2)	Y = 22813,503 + 2592,776 K -190,579 K <sup>2</sup>	0,87	**
K(P1xL3)	Y = 45059,131 - 1250,087 K	0,81	**
K(P2xL3)	Y = 45756,026 + 9539,466 K -936,489 K <sup>2</sup>	0,84	**

\*\* indican que el test de F, fue significativo al nivel de 1% de probabilidad

La mayor eficiencia de uso de agua se obtuvo en los tratamientos de riego enterrado y con láminas 0,67 Evp y 1,00 Evp, la combinación K2L3P2 alcanzó un máximo de eficiencia de uso de agua con 16 kg m<sup>-3</sup>, valores superiores a los obtenidos por Ribas *et al.* (1995), en melón irrigado por aspersión en campo abierto y próximos a los obtenidos por Cardoso (2002) para el mismo híbrido de melón en condiciones protegidas que fue de 19 kg m<sup>-3</sup>.

## CONCLUSIONES

1. Los valores medios de productividad comercial de melón, fueron influenciados significativamente ( $P < 0,01$ ) por la posición de los tubos porta goteros, láminas de riego y dosis de potasio.
2. Las láminas de riego L1, L2 y L3 (137,72; 279,60 y 417,32 mm) aplicadas de forma enterrada no mostraron déficit de agua para el melón cultivado en invernadero, en algunos casos con las láminas L1 y L3 se observó un incremento de la producción comercial en relación con las láminas de riego aplicadas en la superficie.
3. La máxima producción comercial de melón se consiguió con dotaciones hídricas de 1,00 Evp, equivalentes a 4.173 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con dosis de potasio K1 y K2 (134 y 201 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) que fueron de 61.428 kg ha<sup>-1</sup> y 66.224 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Láminas de riego y dosis de potasio superiores a los rangos estudiados no muestran ningún efecto sobre el rendimiento cuando son extrapolados en las ecuaciones de primer y segundo grado encontrados.
4. La mayor eficiencia en el uso del agua por parte del cultivo se obtuvo con las posiciones de los tubos porta goteros de forma enterrados y con las láminas de riego de 0,67 Evp y 1,0 Evp, siendo la combinación P2L3K2 (porta goteros enterrado a 0,2 m, lámina de riego de 417,32 mm y dosis de 9 g de K<sub>2</sub>O planta<sup>-1</sup>) que obtuvo un máximo de eficiencia con 16 kg de fruta para cada m<sup>3</sup> de agua de riego.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brasil, FAPESP. Proyecto 00/00088-5.

## REFERENCIAS

- Ayers, R. S.; Westcot, D. F. A. (1999). A qualidade de água na agricultura. Trad. de H. R. Gheyi et al. Ca Grande: UFPB, (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29), 153p.
- Bar-Yosef, B. (1999). Advances in fertigation. Advances in Agronomy, Agricultural Research Organization. Bet Dagan, Israel 50250, cap. 65, p.44-49.
- Cardoso, S. S. (2002). Dose de CO<sub>2</sub> e de potássio aplicados através de irrigação no meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* L.) cultivado em ambiente protegido. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo., 101p. Tese Doutorado.
- Caron, B. O.; Heldwein, A. B. (2000). Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 19-25.
- Doorembos, J. Pruitt, W. O. (1976). Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: Food and Agricultura Organization of the United Nations. (FAO Riego y Drenage, n. 24), 194 p.
- FNP Consultoria & Comercio. Agriannual 2002: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo. Melão, p.412-414.
- Goldberg, D. B.; Cornat; D. Rimon, P. (1976). Drip irrigation: principles, design and agricultural practices. Shmaryahu, Israel: Drip Irr. Sci. Publ., 296p.
- Heriprakasa M., Srinivas K. (1990). Effect of different levels of N, P, K on petiole and leaf nutrients, and their relationships to fruit yield and quality in muskmelon. *Ind. J. Hort.* 47, p. 250-255.
- Hudson, T.; Hartmann, T.; Flocker, W. J. (1981). Growth, development and utilization of cultivated plants, Plant Science, New York, p. 551-552.
- Ito T., Tognoni F., Namiki T., Nukaya A., Maruo T. (1995). Control of mineral nutrition in melon plants grown with NFT. *Acta Horticulturae* 396, p. 173-180.
- Kano, C. (2002). Extração de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido com a adição de potássio e CO<sub>2</sub> na água de irrigação. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 102p. Dissertação Mestrado.
- Keller, J., Karmeli, D. (1975). Trickle Irrigation Design. S. 1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California, 133p.
- Kiehl, E. J. (1985). Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agronômica Ceres, 147p.

- Mannini P. (1988). Effects of different irrigation scheduling and system on yield response of melon and cucumber. *Acta Horticulturae* 228, p. 155-161.
- Maynard D. N., Clark G. A. (1989). Response of micro-irrigated vegetable crops on various bed widths. *Soil and Crop Science Society of Florida* 49, p. 88-90.
- Mengel, K.; Von Braunchweig, L. C. (1972). The effect of soil moisture upon the availability potassium and its influence on the growth of young maize plants (*Zea mays L.*). *Soil Science*, v.114, n.2, p.142 – 148.
- Monteiro, S. B. (1995). Irrigação por gotejamento na cultura do melão em estufa e seu efeito na produção. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, 83 p. Dissertação Mestrado.
- Nerson H., Giskin M., Edelstein M. (1985). Foliar nutrition of muskmelon. II. Field experiments. *Soil Sci. Plant. Anal.* 16, p. 1165-1177.
- Pacheco A.O., Hochmuth G.J., Maynard D.N., Csizinszky A.A., Sargent S.A. (1996). Potassium rates effect yield of two muskmelon varieties in Florida. *HortSci*, p. 31, 593.
- Pardossi A., Landi S., Malorgio F., Ceccatelli M., Tognoni F., Campiotti A. (1994). Studies on melon grown with NFT. *Acta Horticulturae* 361, p. 186-193.
- Pérez Z., O.; M. Cigales Rivero. (2001). Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón Cantaloupe, híbrido Ovation. Tepames, Colima, México. *Agrociencia* 35, p. 479-488.
- Phene, C. J.; Detac, W. R.; Clark, D. A. (1992). Real-time irrigation scheduling of cotton with an automated pan evaporation system. *Applied Engineering in Agriculture*, v.8, n.6, p.787-793.
- Phene, C.; Davis, K. R.; Hutmacher, R. B. et al. (1990). Effect of high frequency subsurface and surface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrigation Science*, v.12, p.135-140.
- Phene, C. J.; Davis, K. R.; Hutmachec, R. B. et al. (1987). Advantages subsurface irrigation for processing tomatoes. *Acta Horticulturae*, n.200, p. 101-114.
- Pinto M., Soares M., Costa D., Brito L., Pereira R. (1995). Aplicação de N e K via água de irrigação em melão. *Horticultura Brasileira* 13, p. 192-195.
- Prabhakar, B. S.; Srinivas, K.; Shukla, V. (1985). Yield and quality of muskmelon (cv. Hara Madhu) in relation to soacing and fertilization. *Progressive Horticulture*, v. 17, n. 1, p. 51-55.
- Raij, B. van; Cantarela, H.; Quaggio, J. A. et al. (1986). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: IAC,.:Melão. (IAC.Boletim, 100), p.181
- Ribas F., Cabello M. J., Moreno M. M. (1995). Necesidades de riego del melón y respuesta del cultivo a riegos diferenciales en la provincia de Ciudad Real. XIII Jornadas Técnicas sobre Riegos. Tenerife, p. 12-20.
- Rincón, Z. L.; Sáez, S. J.; Pérez, C. J. A.; et al. (1998). Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Horticulture*, v.458, n. 3, p.153-159.
- Rincón L.; Giménez M. (1989). Fertirriego por goteo en melón. *Fertilización* 105, p. 55-56.
- Sagdullaev, M. M.; Umarov, K. Z. (1974). The effect of phosphorus fertilizer on the yeld and quality of melons. *Horticultural Abstracts*, v.45, n.1, p.27.
- Sagiv, B.; Bar-Yosef, B.; Eliah, E. (1980). Drip irrigation and fertilization of spring muskmelon at Beso. Israel: Bet Dagan, (The Volcani Center, Pub. 17, p.18-22.
- Soil Survey Staff. *Soil Taxonomy. Agric. Handboock* N° 436. USDA, 1973.
- Valenzuela L., Ruiz M., Belakbir A., Romero L. (1996). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium treatments on phosphorus fractions in melon plants. *Soil Sci. Plant Anal.* 27, p. 1417-1425.
- Wacquant C. (1989). Melon. *Maîtrise du climat et production. Infos-Ctifl.* 49, p. 33-39.