

# UTILIZACION DE AGUAS FUERTEMENTE CONTAMINADAS EN EL RIEGO DEL OLIVO

Por

M. SAAVEDRA, A. TRONCOSO y P. de ARAMBARRI

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto.  
Apartado 1052. Sevilla.

## SUMMARY

### USE OF SEWAGE-POLLUTED WATER FOR THE IRRIGATION OF OLIVE TREES

One year old olive trees, *Olea europea* L., manzanillo variety, on Mitscherlich containers were irrigated every 3 to 4 days with water polluted with the sewages from Morón de la Frontera, Sevilla. The polluted water were given without dilution or diluted with different proportion of de-ionized-water. The polluted water application was beneficial and no toxicity symptoms or any other anomaly was observed during the 8 months that the experiment lasted.

## INTRODUCCION

El uso de aguas residuales para regar puede ser una alternativa interesante de los métodos convencionales de control de la contaminación por ser un procedimiento de bajo coste energético (Bouwer y Channey, 1974; Crites y Pound, 1976; Jacobs, 1977) y por permitir el reciclaje de elementos, macro y micronutrientes, asimilables por las plantas.

Entre las posibles ventajas puede citarse el aumento de la fertilidad química de los suelos al mineralizarse por acción biológica o simplemente química los compuestos de nitrógeno y fósforo presentes en los vertidos y el aumento de la fertilidad física al incorporarse materia orgánica en el caso de los suelos deficitarios de la España seca. La incorporación de potasio, calcio, magnesio y otros elementos presentes en los vertidos también puede ser importante para mejorar la fertilidad de los suelos.

Existen desventajas tales como riesgos para la salud debido a la presencia de patógenos (Scarpino, 1974; Bernabé, 1973; Baker y Chesnin, 1975), posible contaminación de aguas subterráneas por sales en general, patógenos y nitratos en particular (Ronen, 1972; Mercado, 1973), pérdidas de permeabilidad por aporte excesivo de sólidos en suspensión y presencia de grasas u otros agentes (Adriano y col., 1975) y daños en las plantas debido a exceso de metales pesados, sales y otros tóxicos (U. S. Salinity Laboratory, 1953; Bouaziz, 1976; Bouat, 1961).

Se elige el olivo como planta testigo por ser árboles especialmente adecuados por razones de higiene, por incrementar su producción notablemente al ser puestos en regadío (Martín y Tovaruela, 1975; Puerta y col., 1972; Rodrigo, 1975; Troncoso y col., 1976), por requerir consumos de agua similares a otros frutales (Hartmann y Opitz, 1966; Hendrickson y Veihmeyer, 1949) y por su rusticidad que admite el uso de agua de baja calidad con excelentes resultados (Amami, 1975; Bouaziz, 1976; Bourdelles, 1975).

En este trabajo se estudiará la incidencia del uso de aguas recogidas en el arroyo "El Cuerno" al que vierten sin tratamiento las aguas residuales de Morón de la Frontera, Sevilla, sobre plantones de olivo, variedad de manzanillo, de un año, sembrados en un suelo calcimorfo contenido en vasijas Mitscherlich. La experiencia está limitada en el tiempo, ya que los plantones no pueden desarrollarse indefinidamente en las vasijas Mitscherlich. La cantidad máxima de contaminantes añadidos viene condicionada por la frecuencia de riego, elegida para asegurar un desarrollo óptimo de las plantas, y por la composición propia del agua que no puede concentrarse sin alterar sus propiedades. Pensamos que la utilización de plantas jóvenes y la pésima calidad del agua empleada serían condicionantes suficientes para poner de relieve los límites de tolerancia a considerar en futuras experiencias.

El trabajo puede tener el interés de ser el primero realizado en nuestra zona en condiciones que esperamos permitan extraer conclusiones de interés práctico.

#### MATERIALES Y METODOS

Se preparan con 5 kilos de suelo calcimorfo cada una, 72 vasijas Mitscherlich. En 60 de estas vasijas se transplantan otros tantos plantones homogéneos de manzanillo, tomados de las experiencias de propagación del C. E. B. A. C. (Troncoso y col., 1976; Troncoso y col., 1978).

El conjunto de las 72 vasijas se distribuyen en seis grupos con 10 vasijas con planta y 2 vasijas más sin planta en cada grupo. Todas las vasijas de cada grupo reciben cada 3 o 4 días 500 ml de agua. El grupo que llamaremos G100 se riega con agua del arroyo "El Cuerno". El grupo que llamaremos G60 se riega con agua del arroyo "El Cuerno" diluída al 60%, hasta alcanzar el volumen de 500 ml de cada riego, con agua desionizada. Los grupos G40, G20 y G10 reciben agua diluída de la misma forma al 40, 20 y 10% respectivamente. El grupo G0 recibe cada vez 500 ml de agua desionizada. Los riegos se efectúan de tal forma que no haya pérdida de agua por percolación, lo que facilita realizar balances de las sustancias añadidas y su distribución entre suelo y planta. La experiencia se inicia en mayo y se prolonga hasta diciembre.

El agua del arroyo se toma en horas cercanas al mediodía y en días en que la influencia de la lluvia sea lo menor posible. La hidrología de los cursos de agua de la zona es cambiante y fuertemente dependiente de la meteorología, por lo que en tiempo seco el agua empleada para regar es prácticamente el agua residual de Morón de la Frontera. Por ello

y por brevedad en lo que sigue nos referimos a agua residual cuando en realidad es agua tomada del arroyo "El Cuerno" y, por tanto, agua residual de Morón de la Frontera más o menos diluída.

En el agua filtrada se analizan en cada ocasión los siguientes parámetros: Sólidos orgánicos e inorgánicos en solución (Rodier, 1965); Calcio y magnesio por absorciometría atómica; Potasio y sodio fotométricamente; Cloruros por el método argentométrico (Taras, 1971); Nitratos por el método Scheiner (1974); Nitritos por la reacción Gries-Ilosvay (Staiton y col., 1977); Nitrógeno amoniacal por el método Nessler (Taras, 1971), y Fósforo en solución (Murphy y Riley, 1962). En el agua sin filtrar se determina: Sólidos orgánicos e inorgánicos en suspensión (Rodier, 1965); pH; Fósforo y nitrógeno totales por el método Kennth (1975); Oxidabilidad al permanganato (Rodier, 1965); y Conductividad eléctrica.

En seis ocasiones, a lo largo de la experiencia, se mide la longitud total de la parte aérea de cada planta, expresada como la suma de las longitudes de cada una de sus ramas. Seguidamente se realiza un análisis de varianza para encontrar la significación de las diferencias de longitud dentro de cada planta y entre plantas en las diferentes mediciones.

En junio, septiembre y diciembre se retira una vasija con planta de cada grupo y se analiza el suelo y la planta. En la planta se analizan las hojas nuevas y viejas y se halla el valor medio de los análisis de todas las hojas de cada olivo. Las hojas se lavan, se secan a 65.°C y se muelen. Se analiza: nitrógeno con autoanalizador; fósforo (Charlot y Gaugin, 1952); potasio por fotometría; calcio, magnesio, manganeso, zinc y hierro por absorciometría atómica (Pinta, 1971) y boro colorimétricamente (Barbier y Chabannes, 1953).

El suelo de la totalidad de la vasija y de los 5 cm superficiales, se analizan por separado al comenzar la experiencia y en las vasijas retiradas en junio, septiembre y diciembre. En diciembre se analiza también el suelo de las vasijas sin planta de cada grupo. En los suelos se determina: análisis mecánico (Leenheer, 1967), capacidad de retención de agua (Boodt, 1967), conductividad hidráulica del suelo saturado (Martín, 1973), pH, conductividad eléctrica, carbono y materia orgánica, nitrógeno total y potasio, calcio y magnesio asimilables, capacidad de cambio y carbonatos (Comisión de Métodos Analíticos, 1973, 1976); fósforo asimilable (Burriel y Hernando, 1950) y fósforo en la solución del suelo con soluciones de bicarbonato sódico con molaridades comprendidas entre 0,5 y 0,01 M y calculando gráficamente el fósforo que se extraería a concentración cero de bicarbonato (Arenas, 1977; Olsen y col., 1954).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla I muestra los valores extremos y los valores medios de los parámetros analizados en las aguas utilizadas para regar. Como es de esperar, la calidad de las aguas es pésima y propia de auténticas aguas resi-

TABLA I

*Valores extremos y medios de los parámetros analizados en las aguas del arroyo "El Cuerno"*

	Valores			Desviación standard
	Máximo	Mínimo	Medio	
pH	7,9	7,6	7,8	0,13
Cl (meq/l)	30,9	10,7	20,6	7,34
Na (meq/l)	39,0	12,7	24,9	10,97
K (meq/l)	1,2	0,8	1,0	0,14
Ca (meq/l)	13,5	9,3	11,1	1,38
Mg (meq/l)	2,9	2,3	2,6	0,24
Conductividad mmhos/cm)	3,8	2,4	3,0	0,59
R.A.S.	15,2	5,0	9,5	3,90
N-orgánico (ppm)	41,9	6,7	16,4	10,95
N-NH <sub>3</sub> (ppm)	42,0	8,6	19,4	11,17
P total (ppm)	12,2	5,4	9,7	2,21
P disuelto (ppm)	9,1	4,7	6,7	1,52
Sólidos disueltos:				
inorgánicos (ppm)	2.748	1.392	2.017	422,94
orgánico (ppm)	444	50	246	110,22
Sólidos en suspensión:				
Inorgánico (ppm)	108	0	38	37,28
orgánico (ppm)	116	14	58	32,31
Oxidabilidad O <sub>2</sub> (ppm)	352	36	159	100,16

duales, sobre todo en lo que se refiere a sus contenidos en amonio, fósforo y sólidos orgánicos en suspensión y oxidabilidad, aunque estos dos últimos parámetros varíen fuertemente según el día de toma de aguas. Podría haberse cogido agua suficiente para todos los riegos un solo día, congelarla y utilizarla para preparar agua de riego de igual calidad en los 52 riegos efectuados a lo largo de la experiencia. Mantener la heterogeneidad del agua acerca la experiencia a la realidad de campo y no introduce dificultades de experimentación ni de interpretación.

Es de destacar la ausencia de nitrógeno en forma de nitratos o de nitritos en las aguas del arroyo "El Cuerno". Este resultado es de esperar

en un curso de agua que es más un albañal que un río y en el que la familia de los nitrificadores no puede realizar sus funciones. Los datos de la Tabla I muestran que los valores RAS y los de conductividad de las aguas residuales varían fuertemente de unas tomas de agua a otras, de tal forma que las más contaminadas son poco adecuadas para el riego. Esta variación se origina por la presencia de los vertidos del aderezo de aceituna a partir del mes de septiembre. La tardía aparición de estos vertidos, en época en que el riego no suele ser necesario, hace que sus efectos sean poco perceptibles en el caso de riego de plantaciones. En la experiencia realizada la baja calidad para el riego de las aguas tampoco tuvieron efectos perceptibles.

La Tabla II muestra que se añaden a las vasijas cantidades importantes de sólidos orgánicos que pueden ser significativos respecto a la permeabilidad de los suelos. Por su parte, las cantidades de N, P y K añadidas, única fertilización que reciben los suelos, se ha calculado ascienden en el grupo G100 a 372 kg N, 410 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 962 kg K<sub>2</sub>O/ha. Esta fertilización parece correcta respecto al nitrógeno, pero es elevada respecto al fósforo y sobre todo al potasio, si la comparamos con las dosis (248 Kg N, 110 Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 162 Kg K<sub>2</sub>O/ha) normalmente recomendadas en el C. E. B. A. C. para una plantación, con marco 7 x 7, de olivar.

Los suelos calcimorfos utilizados, tomados en la margen derecha del

TABLA II

*Cantidades totales de sustancias añadidas a las vasijas del grupo G100 en 52 riegos*

N-orgánico (mg/vasija)	384
N-NH <sub>3</sub> (mg/vasija)	571
P total (mg/vasija)	252
P solución (mg/vasija)	181
Cl (mg/vasija)	18.774
K (mg/vasija)	962
Ca (mg/vasija)	5.964
Sólidos suspensión:	
orgánico (mg/vasija)	3 086
inorgánico (mg/vasija)	1.995
Sólidos disueltos:	
orgánico (mg/vasija)	5.738
inorgánico (mg/vasija)	51.285
Oxidabilidad O <sub>2</sub> (mg/vasija)	4.280

TABLA III

*Datos analíticos del suelo utilizado*

Fecha muestreo	Grupo	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	C.C.C. meq/ 100 g	C.E. ms/ cm
			%			mg/100 g suelo				
<b>Suelo original:</b>										
Marzo	—	7,6	0,95	0,09	3,3	32,0	740	12	20,6	1,6
<b>Vasijas con planta:</b>										
Junio	G100	7,7	1,00	0,09	2,8	26,2	720	19	16,3	1,1
	G60	7,6	1,06	0,09	2,5	26,2	700	19	14,5	1,7
	G40	7,6	1,10	0,10	1,2	28,7	755	16	15,4	1,6
	G20	7,6	1,12	0,10	1,2	24,6	785	16	15,4	1,4
	G10	7,6	1,06	0,09	1,2	26,2	720	16	16,3	1,6
	G0	7,6	1,08	0,10	2,0	24,6	755	17	16,3	1,0
Septiembre	G100	7,6	0,81	0,07	6,5	26,2	755	27	14,5	6,3
	G60	7,7	0,80	0,07	4,0	21,3	785	23	16,3	4,8
	G40	7,7	0,81	0,07	2,8	21,3	740	19	18,1	2,8
	G20	7,7	0,87	0,08	3,3	18,9	700	18	16,3	2,8
	G10	7,7	0,80	0,07	2,5	19,7	720	18	15,4	1,5
	G0	7,7	0,83	0,08	2,5	19,7	720	16	16,3	1,2
Diciembre	G100	7,8	1,20	0,11	2,3	38,5	660	33	18,1	3,2
	G60	7,8	1,18	0,11	1,3	32,8	660	29	16,3	2,3
	G40	7,8	1,00	0,10	1,7	29,5	700	23	16,3	1,3
	G20	7,7	1,00	0,10	1,7	31,2	645	18	20,7	2,1
	G10	7,7	1,30	0,11	0,7	28,7	645	20	23,7	1,0
	G0	7,7	1,30	0,11	0,4	26,2	645	18	23,7	1,0
<b>Vasijas sin plantas:</b>										
Diciembre	G100	8,0	1,30	0,11	2,6	38,5	625	30	20,2	1,6
	G60	7,7	1,26	0,11	2,7	34,4	645	22	21,7	2,6
	G40	7,8	1,24	0,11	1,8	35,3	750	22	22,3	1,3
	G20	7,7	1,20	0,11	3,3	32,8	650	20	21,7	1,2
	G10	7,6	1,20	0,11	2,8	32,0	750	19	22,3	1,0
	G0	7,8	1,24	0,11	2,5	31,2	790	19	22,3	0,6

arroyo "El Cuenco", en las proximidades de Morón de la Frontera, en una finca de olivar, son franco-arcilloso-arenosos, con 31% de arcilla y 10% de  $\text{CaCO}_3$ . La Tabla III muestra algunas de las propiedades de estos suelos y la Tabla IV muestra los resultados de los análisis correspondientes a los 5 cm superficiales de cada grupo de vasijas con árbol y sin árbol en el muestreo realizado en diciembre.

Respecto al suelo original los suelos de las vasijas con árbol en los tres muestreos de junio, septiembre y diciembre muestran las variaciones siguientes (Tabla III):

La adición de agua residual no parece modificar el pH de los suelos; los valores de C y N son algo mayores en junio, se hacen más pequeños que en el suelo original en septiembre, posiblemente como consecuencia de la mayor actividad biológica durante el verano y vuelven a ser algo mayores en diciembre; los valores de fósforo son mayores en septiembre y en diciembre pueden llegar a ser muy pequeños y en todos los casos dependen de la cantidad de agua residual añadida y la actividad fisiológica de las plantas de olivo; el potasio también parece depender de la cantidad de agua residual añadida y en diciembre alcanza valores mayores que el suelo original en los grupos G100 y G60; los contenidos en calcio son similares a los del suelo original en junio y septiembre y ligeramente inferiores en diciembre; el magnesio es mayor en septiembre y diciembre y depende también de la cantidad de agua residual añadida; la capacidad de cambio se mantiene durante toda la experiencia en valores próximos a los del suelo original y la conductividad eléctrica depende de la cantidad de agua residual añadida creciendo fuertemente en septiembre.

Por su parte, en las vasijas sin planta los valores de pH, C y N son muy similares a los anteriormente comentados; los de fósforo son siempre menores que los del suelo original, mientras que los de potasio y magnesio son mayores y dependientes del agua residual añadida; los de calcio y de la capacidad de cambio fluctúan entre valores próximos o mayores que los del suelo original, pero el aumento registrado en los grupos G10 y G0 junto a la disminución de la conductividad eléctrica parecen indicar que se produce un ataque de los carbonatos del suelo.

Todos estos resultados muestran la acción de una serie de efectos contrapuestos como pueden ser las distintas movilidades de los cationes K y Mg frente a la interacción del Ca con aniones poco movibles como fosfato, la acción de los organismos del suelo y la temperatura y la absorción de nutrientes por los olivos.

En la Tabla IV se recogen los datos analíticos del suelo localizado en los 5 cm superiores de las vasijas con planta y sin planta muestreados en diciembre cuando la mayor parte de las variaciones introducidas por la adición del agua residual y los procesos de movilización, insolubilización, mineralización y absorción ya han tenido lugar. Se observa un aumento del pH del suelo en las vasijas con planta que reciben más agua residual. Estos aumentos no se justifican con los resultados de los análisis del agua residual añadida, ni con los contenidos en Ca, Mg y K que son similares o menores, caso del Ca, de los obtenidos para las vasijas sin planta en las que no se produce un aumento de pH.

En los 5 cm superiores del suelo de las vasijas con planta parece se acumula parte de la materia orgánica añadida con el agua de riego (Tabla II). También las vasijas sin planta poseen más C que el suelo original en cantidades similares en los 5 cm superiores, Tabla IV, y en la totalidad del suelo, Tabla III, lo que parece demostrar que parte de la materia orgánica añadida en verano, resultados de C en septiembre, Tabla III, se mineraliza. Los resultados que muestran un mayor contenido de N en los suelos en diciembre corroboran lo anterior. Las vasijas sin planta muestran una superficie de aspecto feo, con "verdina", cosa que no ocurre en las macetas con planta y puede deberse al menor tiempo de residencia del agua, a acción bacteriana propiciada por el cultivo, al ensombrecimiento de la superficie u a otras razones. En cualquier caso, la adición de agua residual puede originar pérdidas de permeabilidad o de otras propiedades físicas deseables de los suelos junto a incrementos de su contenido en C, por lo que se determinó en los suelos de las vasijas retiradas de la experiencia en junio, septiembre y diciembre la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica del suelo saturado. Se encontró que la capacidad de retención de agua no varía significativamente respecto a la del suelo original a lo largo de la experiencia cualquiera que sea la cantidad de agua residual añadida, manteniéndose entre 24,4 y 21,0 por ciento la relación agua/peso suelo en todos los ca-

TABLA IV

*Datos analíticos de los 5 cm superiores del suelo en diciembre*

	pH	C	N	P	K	Ca	M	Conduct. ms/cm
		%		mg/100 g				
<b>Suelos de vasijas con plantas:</b>								
G100	8,8	1,26	0,11	3,34	47,3	620	40	2,30
G60	8,8	1,22	0,11	3,65	39,0	575	35	1,65
G40	7,9	1,30	0,11	2,02	33,2	620	29	1,76
G20	8,0	1,36	0,12	0,88	31,5	625	24	0,96
G10	7,8	1,26	0,11	2,99	40,7	625	26	1,01
G0	7,8	1,36	0,12	0,66	23,2	620	17	0,36
<b>Suelos de vasijas sin plantas:</b>								
G100	7,9	1,22	0,11	4,53	47,3	850	35	3,80
G60	7,5	1,30	0,11	3,74	45,7	850	36	5,43
G40	7,6	1,26	0,11	3,26	39,0	815	30	2,11
G20	7,6	1,14	0,10	2,46	35,7	815	23	2,23
G10	7,3	0,98	0,09	1,76	34,9	850	22	2,23
G0	7,5	1,20	0,11	1,23	33,2	815	16	1,40

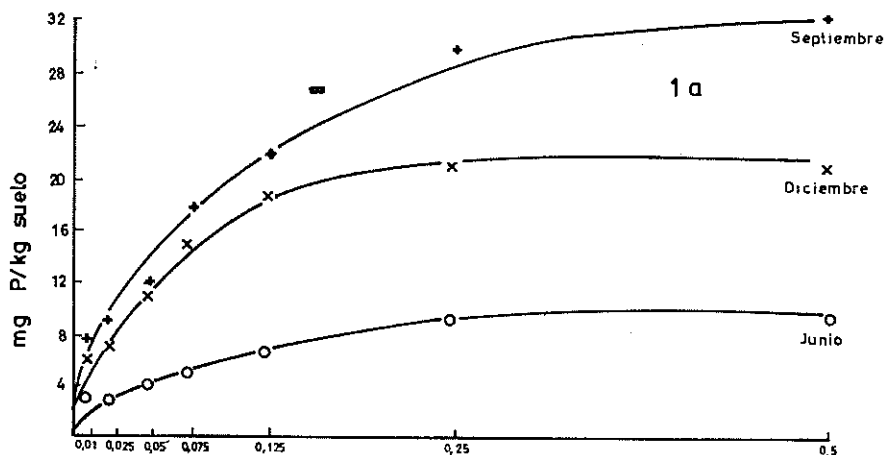


Los. La conductividad hidráulica, por el contrario, varía significativamente. En el muestreo de junio es prácticamente constante para todos los tratamientos y fluctúa entre 13,0 y 16,2 mm/hora. En septiembre crece hasta alcanzar el valor medio de 51,3 mm/hora para los suelos del grupo G100 con planta y en diciembre disminuye hasta 29,7 mm/hora reflejando el efecto de la acumulación de materia orgánica mostrado en las Tablas III y IV. En diciembre la conductividad hidráulica de los suelos de las vasijas sin planta disminuye fuertemente alcanzando el valor de 5,4 mm/hora que parece apoyar la hipótesis adelantada sobre la influencia de la formación de "verdina" y que demuestra la necesidad de investigar por métodos específicos la acción de la adición de aguas residuales sobre los microorganismos del suelo.

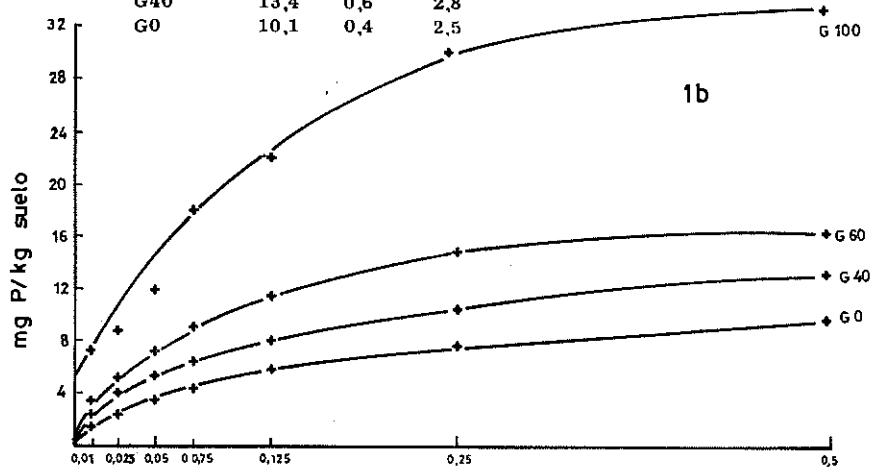
Anteriormente se dijo que la cantidad de P en las vasijas con planta y sin planta dependía de la cantidad de agua residual añadida. Los diferentes métodos de estudio del P del suelo permiten establecer un modelo que explique la dinámica de este elemento en la mayoría de las ocasiones. En la Figura 1a se muestra la evolución del contenido en fósforo en la solución del suelo (valor extrapolado) para las vasijas del grupo G100 analizadas en junio, septiembre y diciembre. Se incluyen, asimismo, los valores del fósforo asimilable hallado por el método Burriel-Hernando y el método Olsen. Se observa que los valores son bajos en junio, época de máximo desarrollo de las plantas en la que todavía sólo se habían realizado incorporaciones de fósforo con 10 riegos, resultados de acuerdo con los recogidos en la Tabla III. En septiembre, después de 40 riegos y con las plantas en relativo reposo después del verano, los valores de fósforo disponible aumentan. En diciembre, con las plantas activas de nuevo, el fósforo de la solución del suelo adquiere un valor intermedio lo mismo que los valores del fósforo Burriel-Hernando y Olsen, lo cual quiere decir que se ha consumido parte del acumulado y el añadido en los últimos riegos o bien que el fósforo ha evolucionado a formas menos disponibles. Cabe destacar que los valores obtenidos para el fósforo disponible por el método Burriel-Hernando son bajos e indican que los suelos son deficientes en fósforo durante toda la experiencia, mientras que los resultados obtenidos por el método Olsen y los valores de fósforo en la solución del suelo indican que hay suficiente fósforo disponible. Creemos que los valores de fósforo obtenidos por el método Burriel-Hernando son bajos, como se ha demostrado ocurre en suelos bien dotados en carbonato cálcico (Cabrera y col., 1984). En la Figura 1b se muestra que los valores de P disponible en los suelos en el muestreo de septiembre depende en todas las determinaciones de la cantidad de agua residual añadida y pueden llegar a ser muy pequeños en las vasijas de los grupos G10 y G0 (Arambarri, 1972; Beek y col., 1977).

En los 5 cm superiores del suelo, Tabla IV, parece acumularse K. En el grupo G100 se acumula igual cantidad de K en las vasijas con planta y sin planta, hecho que puede deberse al elevado contenido de este elemento en el agua residual, pero con dosis menores de riego las vasijas con planta acumulan menos K que las vasijas sin planta, de tal forma que las vasijas con planta del grupo G0 finalizan la experiencia con me-

	Olsen	Solución	Burriel
Junio	8,10	1,30	2,8
Septiembre	32,0	4,5	6,5
Diciembre	21,5	3,9	2,8



	Olsen	Solución	Burriel
G100	32,1	4,5	6,5
G60	17,1	1,0	4,0
G40	13,4	0,6	2,8
G0	10,1	0,4	2,5



Na H CO<sub>3</sub> molaridad

FIG. 1.—Determinación del fósforo en solución (método Olsen extrapolado) y valores del Olsen y P Burriel-Hernando en: 1.a) vasijas con árbol, del grupo G100, en tres momentos de la experiencia, y 1b) vasijas de los grupos G100, G60, G40 y G0 con árbol, en Septiembre.

nos K que el suelo original. El caso del Mg es similar, pero sin llegar a empobrecerse el suelo de las vasijas del grupo G0 con planta respecto al suelo original. Este hecho junto con el considerable aumento de Ca en los suelos de las vasijas sin planta parece indicar que durante la experiencia se ha producido un ataque de los carbonatos del suelo que se pone de manifiesto en los 5 cm superficiales del suelo por ser esta la zona de máxima actividad biológica o por otras razones como fenómenos de difusión ascendente, etc. Además, los valores bajos de la conductividad eléctrica en los suelos con planta de los grupos de vasijas que reciben menos agua residual demuestra la capacidad de absorción de sales por parte de los plantones de olivo.

Las consideraciones anteriores parecen permitir explicar el efecto de la adición del agua residual sobre los componentes minerales del suelo, pero la explicación de la evolución del pH y de los contenidos en C y N requieren un conocimiento del desarrollo de los organismos, fijadores o no, añadidos con el agua residual.

La Figura 2, muestra la variación del tamaño medio de cada grupo de plantas, durante el ensayo. Se observa que entre la medida hecha en el mes de mayo y la del mes de junio, los olivos, tienen un crecimiento muy fuerte y prácticamente con el mismo ritmo entre los grupos, aunque con una ligera ventaja, sin significación estadística, para aquellos tratados con aguas más contaminadas. El que el desarrollo sea tan intenso se debe fundamentalmente a las favorables condiciones climáticas de esas fechas, en las que el olivo suele presentar su mayor grado de crecimiento vegetativo, al pequeño tamaño inicial de las plantas que no encuentran limitaciones en la capacidad del contenedor y a una respuesta positiva a los tratamientos de riego. El que no existan diferencias significativas entre el desarrollo de los distintos grupos de plantas, indica que por el momento, no se producen efectos tóxicos al usar aguas fuertemente contaminadas en el riego. Por el contrario, la ligera ventaja en crecimiento que se observa en los grupos irrigados con aguas de mayor concentración de agentes contaminantes, comienza a señalar que estos pueden actuar como fertilizantes añadidos al suelo. Durante el segundo y tercer mes del ensayo, el ritmo de crecimiento de las plantas decrece bastante, en coincidencia con el aumento de temperatura ambiente de la época estival. No obstante, la disminución del desarrollo es más acentuada en el grupo G0 (regado sólo con agua desionizada), lo que confirma lo indicado antes sobre una cierta acción beneficiosa sobre la planta de las impurezas contenidas en las aguas de riego.

En el período final del experimento, otoño, el ritmo de crecimiento, aunque con ligeros aumentos en algunos casos, se puede considerar en conjunto que sigue la misma tónica de fechas anteriores, lo cual no era esperable dadas las mejores condiciones climáticas de la época. Una explicación a esta menor capacidad de respuesta de las plantas puede relacionarse con el tamaño de la vasija contenedora que en este momento de la experiencia ya obstaculiza el desarrollo normal del sistema radicular. No obstante, de nuevo es el grupo de plantas G0 el que presenta el crecimiento más bajo.

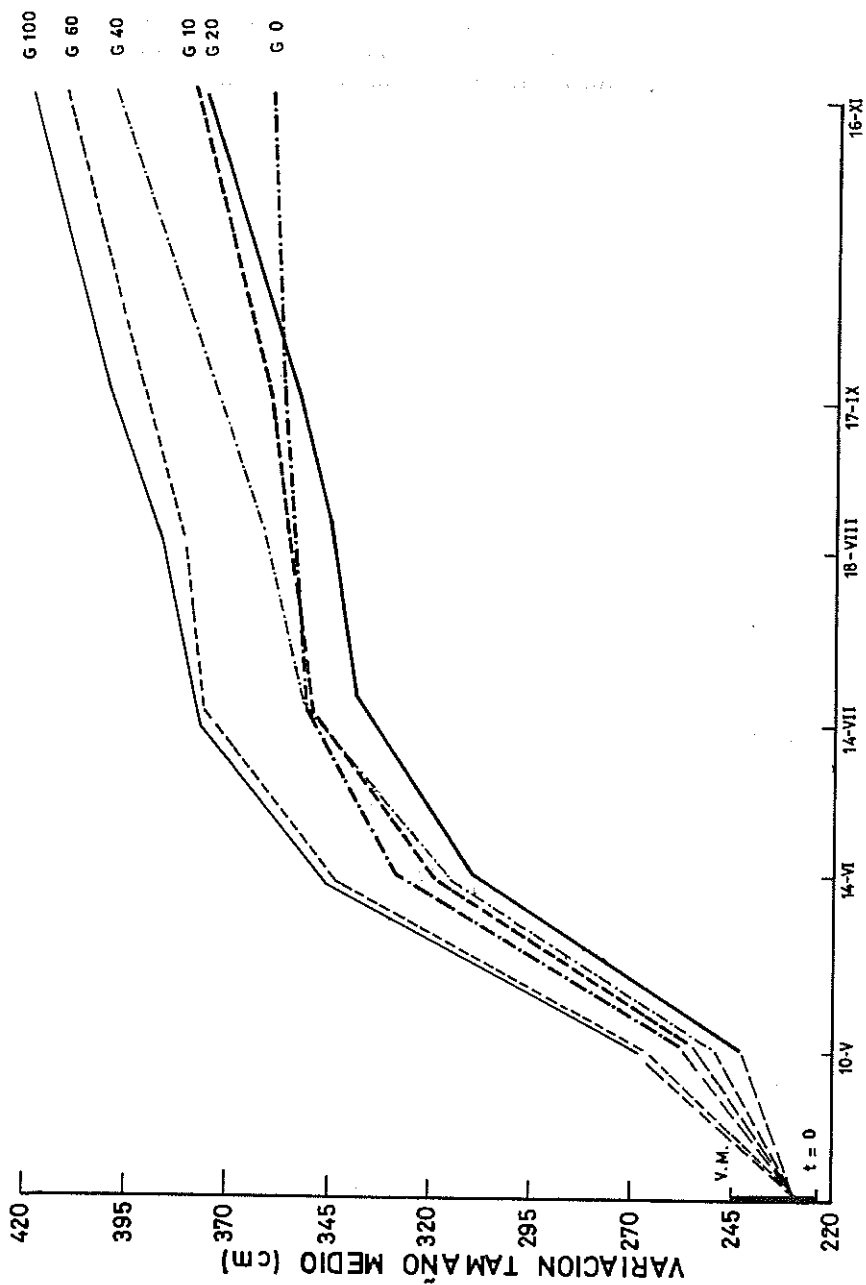


FIG. 2.—Variación del tamaño medio de los árboles de cada grupo a lo largo de la experiencia. V.M. = valor medio a tiempo cero,  $t = 0$ .

El conjunto de la prueba indica, en consecuencia, un retraso en el crecimiento de las plantas regadas con agua desionizada (G0) frente a los otros grupos en los que se usa agua residual, que es significativo a nivel  $P > 0,05$ . Además, los grupos de olivos que reciben mayores cantidades de agua residual son los que muestran ritmos de crecimiento más altos, aunque el nivel de significación de esta tendencia no es suficientemente elevado. Se puede decir pues que los contaminantes del agua no producen efectos tóxicos sobre las plantas sino, al contrario, una acción beneficiosa que se interpreta, en principio, en relación con su uso como nutrientes.

TABLA V

*Análisis de las hojas representativas (Bouat y col., 1958). Grupo de olivos muestreados en junio, septiembre y diciembre.*

Grupo	Muestreo	N	10P	K	Ca	Mg				
							%			ppm
G100	junio	1,35	1,00	0,82	0,85	0,14	19	60	18	85
	septiemb.	1,17	0,77	0,90	0,93	0,08	16	37	20	26
	diciemb.	1,40	0,80	0,77	1,00	0,08	13	25	25	30
G60	junio	1,30	1,00	0,85	0,78	0,12	18	60	18	65
	septiemb.	1,05	0,82	0,95	0,70	0,07	18	37	15	24
	diciemb.	1,20	0,85	0,85	1,00	0,07	13	35	25	30
G40	junio	1,20	1,00	0,92	0,75	0,14	18	60	14	65
	septiemb.	1,05	0,82	0,95	0,82	0,08	16	37	15	24
	diciemb.	1,25	0,88	0,95	0,75	0,07	14	35	20	30
G20	junio	1,20	0,90	0,82	0,78	0,14	16	75	14	65
	septiemb.	1,00	0,82	0,95	0,80	0,07	17	37	15	21
	diciemb.	1,00	0,88	0,97	0,65	0,06	14	35	20	30
G10	junio	1,30	1,00	0,90	0,75	0,12	17	75	14	60
	septiemb.	0,90	0,85	0,90	0,72	0,08	16	37	15	24
	diciemb.	1,00	0,85	0,95	0,75	0,07	16	35	15	35
G0	junio	1,20	0,90	0,77	0,70	0,14	16	60	18	60
	septiemb.	0,90	0,85	0,95	0,70	0,07	18	37	15	21
	diciemb.	0,90	0,85	0,95	0,62	0,08	14	35	15	28

Para profundizar en este último aspecto, en la Tabla V, se indican los niveles de elementos nutritivos en hojas representativas de los olivos de cada grupo, tomadas respectivamente en junio, septiembre y diciembre. En lo que concierne al estado nutritivo de cada grupo de plantas, no se encuentran diferencias fisiológicas significativas entre ellas, salvo en el contenido foliar de nitrógeno. En este caso, las plantas que reciben mayor cantidad de agua contaminada son las que presentan niveles más elevados de nitrógeno en hoja, mientras que el grupo G0 tiene un valor medio muy bajo. Según Troncoso y col. (1984), el nivel foliar de nitrógeno en olivos jóvenes en crecimiento, es directamente proporcional a la disponibilidad del nutriente e inversamente proporcional al crecimiento del ramo. Así, las diferencias que bajo este punto de vista existen entre los grupos de plantas, indican una mayor disponibilidad del nutriente para las plantas tratadas con aguas contaminadas, y este hecho cobra mayor significado si se considera que son esas plantas las que más crecen.

En cuanto a las fechas de toma de muestra, cabe destacar el descenso en el contenido foliar de nitrógeno del muestreo de septiembre, lo que parece indicar una menor absorción del nutriente muy probablemente relacionada con las altas temperaturas ambientales, previas a esta toma de muestra, y la recuperación posterior (muestra de diciembre) en las plantas que se riegan con aguas con mayores concentraciones de impurezas. También se observa un descenso importante en el nivel de magnesio de la segunda y tercera toma de muestras en relación con la primera.

En una serie de trabajos de reciente aparición (Bartolini y col., 1983; Bartolini y col., 1984 y Troncoso y col., 1984), se estudian los intervalos de niveles de algunos nutrientes en hojas de olivos jóvenes, autoenraizados y cultivados en medios hidropónicos y en substrato de arena y turba. En el caso del nitrógeno, niveles próximos e inferiores al 1% se relacionan con estados carenciales; entre 1,50-2% con buenos desarrollos de las plantas y próximos al 3% con toxicidad. En cuanto al fósforo los autores citados indican que en el intervalo entre 0,08 y 0,3% las plantas crecen aceptablemente y no definen niveles de deficiencia o toxicidad, aunque plantas sometidas a tratamientos con soluciones nutritivas deficientes en fósforo ocupan la parte inferior del intervalo. Asocian buenos desarrollos vegetativos con contenidos foliares de potasio entre 0,7-2,0% y de calcio entre 0,7-1,50%. Por otra parte, Nicolás (1983) considera que una composición mineral de la hoja del ramo de olivo con: N = 1,70%, P = 0,11%, K = 0,90%, Ca = 1,40%, Mg = 0,11%, Fe = 85 ppm, Mn = 25 ppm, Zn = 26 ppm y B = 17 ppm indican un buen estado nutritivo para el enraizamiento y desarrollo de la estaquilla.

Según los datos anteriores, las plantas que se consideran en el presente trabajo, tienen contenidos de P, K, Ca, B y Mn durante toda la prueba que se sitúan dentro de los intervalos definidos como nivel adecuado para el crecimiento del ramo. Esto significa, que el suelo usado como substrato de cultivo posee una dotación aceptable de estos elementos en cuanto a las necesidades del olivo, y que es suficiente la acción del agua, aunque sea desionizada, para asegurar una intensidad nutritiva correcta.

No obstante, queda la posibilidad de que al ser las plantas regadas con agua con mayor concentración de contaminantes, las que más crecen, el mantener el mismo nivel foliar de estos nutrientes pueda significar una ganancia en los mismos. En cualquier caso, lo que parece claro es que las aguas del arroyo no producen efectos negativos, tóxicos, sobre las plantas.

En cuanto al nitrógeno, se observa una mayor influencia de los distintos tratamientos de riego. Todas las plantas tienen contenidos foliares inferiores al intervalo definido antes como bueno, pero con la diferencia de que los grupos regados con mayores proporciones de agua residual se acercan a dicho intervalo, mientras los otros presentan muchas veces niveles de auténtica deficiencia, y además, como se indicó antes, siendo las plantas de los primeros las que más crecen. En consecuencia, la aplicación a los olivos de estas aguas contaminadas, ricas en materia orgánica y en nitrógeno, mejoran notablemente la nutrición nitrogenada de los mismos. Por otra parte, el que este elemento sea el que más alejado esté de los intervalos "óptimos" indica que, en nuestro caso, es el mayor responsable del grado de desarrollo de los ramos (Bouat y col., 1958; Samish y col., 1961).

No se observa relación entre la calidad del agua usada y los niveles foliares de Mg, Fe y Zn. El primero, presenta para la toma de muestra de junio niveles foliares plenamente coincidentes con los considerados óptimos. Después, bajan algo los contenidos, por igual en todos los grupos, aunque sin que se llegue a valores que hagan pensar en influencias negativas para las plantas. Algo similar ocurre con el hierro, mientras que el cinc presenta en la primera toma de muestra, contenidos muy altos en todos los grupos de plantas, que por ello y por tratarse de un muestreo en que apenas se habían iniciado los tratamientos, no puede relacionarse con contaminación producida por el agua residual (González y col., 1972; Mazuelos y col., 1976).

### CONCLUSIONES

Como se dijo anteriormente, tratamos de encontrar dosis de agua residual excesivas para plantas jóvenes de olivo. Los resultados obtenidos muestran que la adición de dosis altas de agua residual producen crecimientos mayores y que los olivos regados con agua desionizada muestran un crecimiento menor, significativo al nivel  $P > 0,01$ , que el conjunto de los grupos que reciben agua del arroyo "El Cuerno" al que vierten las aguas residuales de Morón de la Frontera.

De igual forma, el grupo G10, que recibe menor cantidad de agua residual, también se diferencia por tener un crecimiento menor que los otros grupos que reciben más agua residual.

El estado nutritivo de los olivos también es tanto mejor cuanto más agua residual reciben y son destacables las mejoras relativas producidas en los contenidos de calcio y nitrógeno. En el caso de este último ele-

mento parece ser juegan un papel importante los organismos aportados a los suelos por las aguas residuales.

Los suelos de las vasijas con olivo no sufren alteración importante en sus propiedades, mientras que los suelos sin olivos sufren una fuerte disminución de su conductividad hidráulica y una acumulación en los 5 cm superficiales de fósforo, potasio y magnesio cuando reciben dosis altas de agua residual y una acumulación de calcio en todos los casos.

De todo lo anterior, parece deducirse que las aguas residuales podrían utilizarse en olivos adultos en experiencias tendentes a establecer si su utilización origina problemas indeseables en los organismos del suelo o en procesos fisiológicos tales como floración, abscisión, etc. del olivo, ya que como fertirrigantes no parecen producir problemas en los árboles y suelos.

## RESUMEN

Se utiliza agua contaminada con los vertidos de Morón de la Frontera, Sevilla, para regar plantones de *Olea europea* L., variedad manzanillo, de un año, sembrados en vasijas Mitscherlich. A cada árbol se añade cada 3 o 4 días 500 ml de agua contaminada sin diluir o agua contaminada diluida en diferentes proporciones con agua desionizada. La aplicación de agua contaminada resultó beneficiar a los árboles y no pudieron detectarse síntomas de toxicidad u otras anomalías debidas al riego durante los 8 meses que duró la experiencia.

## BIBLIOGRAFIA

- ADRIANO, D. C.; NOVAK, L. T.; ERICKSON, A. E.; WOLCOTT, A. R. y ELLIS, B. G. (1975). Effect of long term land disposal by spray irrigation of food processing wastes on some chemical properties of the soil and surface water. *Journal of Environmental Quality* 4, 242-248.
- AMAMI, S. EL. (1975). Necesidad de agua del olivar, variedad chetour, del norte tunecino. Seminario Oleícola Internacional, Córdoba.
- ARAMBARRI, P. de (1972). Falta de resupestu a la fertilización fosfatada de una tierra negra andaluza con bajo contenido en fósforo total. *An. Edaf. y Agrobio.* XXXI, 307-319.
- ARENAS, J. (1977). Estudio de diversas formas de fósforo con significado agrobiológico presentes en suelos de terrazas del Guadalquivir. Tesina de Licenciatura, C. E. B. A. C.
- BAKER, D. E. y CHESNIN. (1975). Chemical monitory of soils for environmental quality and animal and human healt. *Ad. Agronomy*, 27, 306-375.
- BARBIER, G. y CHABANNES, J. C. (1953). Contribution a l'etude du bore dans le sol et les plantes. *Ann. Agron.* 1, 1-17.
- BARTOLINI, G.; FIORINO, P. y TRONCOSO, A. (1983). Influence of several nutritional balances on olive plant development in hidroponic culture. *Acta Horticultural* 133, 111-118.
- BARTOLINI, G. VALENTINI, A. y TRONCOSO, A. (1984). Ecceso e carenza di azot in giovani piante di olivo allevate in idroponica. *Ortoflorofruitticoltura Italiana* 2, 169-180.



- BEEK, J.; HAAN, F. A. M. de y RIEMSDIJK, W. H. van. (1977). Phosphates in soils treated with sewage water. I. General information on sewage farm, soil and treatment results. II. Fractionation of accumulated phosphates. *Journal of Environmental Quality* 6, 4-12.
- BERNABE, R. A. (1973). Land disposal and sewage effluent. Appraisal of health effects of pathogenic organisms. *J. Amer. Water Works Ass.* 65, 432-439.
- BOODT, M. de (1967). Determination of the moisture characteristic between pH 2 and 5 by means of a centrifuge. *Est European Method for Soil Structure Determination*. V, 77-78.
- BOUAT, A. (1961). Variabilité de l'alimentation minerales chez l'olivier. *Information Oleicoles Internationales*, 16.
- BOUAT, A.; RENAUD, P. y DULAC, J. (1958). Etude sur la physiologie de la nutrition de l'olivier. 5ème Memoire. *Ann. Agron. Serie A*, 193-215.
- BOUAZIZ, E. (1976). Comportement de l'olivier, var. chemlali, irrigué à l'eau saumâtre dans les conditions arides de la Tunisie centrale. *Station Experimentale de Ksar Cheriss, Tūnez*.
- BOURDELLES, J. le (1975). Riego en olivicultura. III Seminario Oleícola Internacional. Córdoba.
- BOUWER, H. y CHANNEY, R. L. (1974). Land treatment of waste-water. *Advances in Agronomy* 26, 133-169.
- BURRIEL, F. y HERNANDO, V. (1950). Nuevo método para determinar el fósforo en los suelos. *An. Edaf. y Agrobiol.* 9, 64-621.
- CABRERA, F.; MADRID, L. y ARAMBARRI, P. (1984). Influencia del carbonato cálcico sobre el poder extractante de los reactivos para la determinación del fósforo disponible de los suelos. I Cong. Nac. Ciencia del Suelo, Madrid, Vol. I, 83-92.
- CHARLOT, G. y GAUGIN, R. (1952). Dosages Colorimétriques. Principes et Methodes. *Mason et Cie. Paris*.
- COMISION DE METODOS ANALITICOS DEL INSTITUTO DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA JOSE MARIA ALBAREDA. (1973). Determinaciones analíticas de suelos. I. pH, materia orgánica, nitrógeno. *An. Edaf. y Agrobiol.* XXXII, 1153-1172. 1976. Determinaciones analíticas. II. Potasio, calcio y magnesio. *An. Edaf. y Agrobiol.* XXXV, 813-824.
- CRITES, R. W. y POUND, C. E. (1976). Land treatment of municipal waste-water. *Environmental Science and Technology* 10.
- GONZALEZ, F.; CHAVES, M.; MAZUELOS, C.; TRONCOSO, A.; CATALINA, L. y SARMIENTO, R. (1972). Aspectos fisiológicos de la nutrición del olivar de mesa, variedad "manzanillo", de Sevilla: Ciclo y metabolismo de nutrientes. III Coloquio de la fertilización de las plantas cultivadas. Budapest.
- HARTMANN, H. T. y OPITZ, K. W. (1966). Olive production in California. *Calif. Agric. Exp. Sta., Circular* 540.
- HENDRICKSON, A. H. y VEIHMAYER, F. J. (1949). Irrigation experiments with olives. *Calif. Exp. Sta. Bull.* 715.
- JACOBS, L. W. (1977). Utilizing municipal sewage waste-water and sludges on land for agricultural production. *North Central Regional Extension*, 52. Michigan State University.
- KENNETH, N. H. (1975). A single digestion procedure for rapid manual determination of Kjeldahl nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 76, 208-212.
- LENIHEER, L. de (1967). Determination of particle size distribution using a hydrometer. *West-European Methods for Soil Structure Determination*. *Gent IV*, 28-34.
- MARTIN, J. (1973). Factores físicos fundamentales de la economía del agua de los suelos de Andalucía Occidental. Alcance agronómico en cultivos de regadío. Tesis Doctoral. Univ. de Granada.

- MARTIN, J. y TOVARUELA, P. (1975). Ensayos sobre consumo de agua en un "olivar manzanillo" en Sevilla. Seminario Oleícola Internacional, Córdoba.
- MAZUELOS, C.; PRIETO, J. y LIÑAN, J. (1976). Balance de macro y microelementos en el olivo. 4.<sup>o</sup> Colloque International sur le controle de l'alimentation des plantes cultivées. Gent.
- MERCADO, A. (1973). Groundwater pollution and salinity rise in the Rishon Le Zien. Rehovot Area Tahal Report n.<sup>o</sup> 1, 73-46.
- MURPHY, J. y RILEY, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *An. Chim. Acta* 27, 31-36.
- NICOLAS, A. (1983). Influencia del estadio fenológico, estado de nutrición, dinámica de nutrientes y estructura anatómica en el enraizamiento de estaquillas de oliv. Tesis Doctoral, Univ. de Sevilla, Facultad de C. Biológicas, Sept. 1983.
- OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S. y DEAN, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. D. A. Circular 939.
- PINTA, M. (1971). Spectrometrie absorption atomique. Application a l'analyse chimique. Tomo II. ORSTOM. Masson et Cie. Paris.
- PUERTA, C. de la; BORRERO, L. y FLORES, V. (1972). El olivar español. Ministerio de Agricultura, Dirección General de la Producción Agraria, Madrid.
- RODIER, J. (1965). L'Analyse des Eaux. Dumont, Paris.
- RODRIGO, E. (1975). Riego del olivar con aguas elevadas de los canales, en las zonas de vegas del Guadalquivir y Rumberal (Jaén). II Seminario Oleícola Internacional, Córdoba.
- RONEN, D. (1972). Nitrate contamination of ground water. Rishon Le Zien-Rehovot District. Tahal Report n.<sup>o</sup> HR 72-946.
- SAMISH, R. M.; MOSCICKI, W. Z.; KESSLER, B. y HOFFMAN, M. (1961). A nutritional survey of Israel vineyards and olive groves by foliar analysis. The National and Univ. Inst. of Agric. Beit Dagan, Spec. Bull. n.<sup>o</sup> 39.
- SCARPINO, D. (1974). Human enteric viruses and bacteriophages indicators of sewage pollution. Int. Symp. Sea Outfalls. Pergamon Press.
- SCHEINER, D. (1974). A modified version of the sodium salicylate method for analysis of waste-water nitrates. *Water Res.* 8, 835-840.
- STAITON, M. P.; CAPEL, M. J. y ARMSTRONG, F. A. J. (1977). The chemical analysis of fresh-water. 2.<sup>a</sup> Ed. Fisheries and Marine Service. Canada. Miscellaneous Special Pub. n.<sup>o</sup> 25.
- TARAS, M. J. Ed. (1971). Standard Methods for the Examination of water and the waste-water. Am. Public Health. Ass. N. Y.
- TRONCOSO, A.; PRIETO, J.; LIÑAN, J. y MAZUELOS, C. (1976). Multiplicación de plantas de olivo por nebulización. II. Factores responsables del desarrollo de las plantas recién ensayadas. 4.<sup>o</sup> Colloque International sur le controle de l'alimentation des Plantes Cultivées. Gent.
- TRONCOSO, A.; PRIETO, J.; MAZUELOS, M.; NICOLAS, A. y LIÑAN, J. (1978). Rooting responses and nutritive status of olive cuttings. Fed. En. Soc. Plant Physiologi. Meeting at Edimburgh: 526-527.
- TRONCOSO, A.; CERDA, A. y BARTOLINI, G. (1984). Acción del nitrógeno sobre el desarrollo y la composición mineral de plantas de olivo. Reunión X Aniversario de la Red Cooperativa Europea de Investigaciones en Olivicultura de FAO. Córdoba (España).
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY. Riverside. (1953). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture. Handbook n.<sup>o</sup> 60.