

Influencia de la salinidad edáfica sobre la calidad del aceite de oliva cv. Arbequina

Por A. Royo*¹, M^a S. Gracia², R. Aragüés¹

¹ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA).
Apdo. 727 50080 Zaragoza

² Laboratorio Agroalimentario. Gobierno de Aragón. Montañana, 1005. 50071 Zaragoza

RESUMEN

Influencia de la salinidad edáfica sobre la calidad del aceite de oliva cv. Arbequina.

Este trabajo analiza el efecto de la salinidad edáfica sobre la calidad del aceite de oliva. Durante tres campañas se determinó la composición química de aceites provenientes de olivos jóvenes 'Arbequina' sujetos en campo a tres niveles de salinidad (baja-B, media-M y alta-A). En total se analizaron 30 parámetros (humedad, grasa, acidez, peróxidos, lecturas en el ultravioleta, polifenoles, alcoholes alifáticos, esteroides, ceras y composición de ácidos grasos). La salinidad edáfica se midió en catorce fechas con un sensor electromagnético. La salinidad produjo un aumento del porcentaje de grasa (+15% en A respecto a B), y un descenso de los alcoholes alifáticos (-29%) y del ácido palmitoleico (-32%) (valores significativos a $P < 0,05$). El resto de parámetros no se vio afectado por la salinidad ($P > 0,05$). En conclusión, la calidad del aceite de oliva fue prácticamente independiente de la salinidad, clasificándose en todos los casos como «virgen extra» según la normativa vigente.

PALABRAS-CLAVE: Aceite de oliva virgen - Arbequina - Composición química - Salinidad.

SUMMARY

Effects of soil salinity on the quality of «Arbequina» olive oil.

This work analyzes the effect of soil salinity on olive oil quality. The chemical composition of oils extracted from young 'Arbequina' olives subject in the field to three soil salinity levels (low-L, medium-M and high-H) was determined throughout a period of three years. A total of 30 parameters were analyzed (moisture, oil content, acidity, peroxides, ultraviolet absorbances, polyphenols, aliphatic alcohols, sterols, waxes, and fatty acid composition). Soil salinity was measured on fourteen different dates with an electromagnetic sensor. Overall, salinity increased oil content (+15% in H with respect to L) and decreased aliphatic alcohols (-29%) and palmitoleic acid (-32%) (values significant at $P < 0,05$). The rest of the parameters were not affected by salinity ($P > 0,05$). In summary, olive oil quality was practically independent of soil salinity and, according to the prevailing legislation, all the oils were classified as «extra virgin».

KEY-WORDS: Arbequina - Chemical composition - Salinity - Virgin olive oil.

1. INTRODUCCIÓN

El aceite de oliva representa en términos económicos cerca del 15% del valor total de los aceites vegetales a nivel mundial, si bien este porcentaje

puede llegar a triplicarse según el país y la calidad del aceite. El aceite de oliva es el de mayor consumo en los países Mediterráneos, en los que se localiza el 98,8% de la superficie mundial, siendo España el primer productor con un 31% del total mundial. La relevancia social del olivar en España es muy importante, ya que más de medio millón de agricultores y 46 millones de jornales anuales están ligados al mismo (Luchetti, 2003).

El cultivo tradicional del olivar en España tiene una productividad limitada ya que está frecuentemente implantado sobre suelos de secano pobres, erosionados, con elevadas pendientes, amplios marcos de plantación, árboles muy diseminados y, en general, sin excesivos cuidados agronómicos. Sin embargo, en la última década están aumentando las plantaciones de olivar con nuevas variedades, plantaciones intensivas, tratamientos fitosanitarios adecuados y técnicas de cultivo que incluyen el riego localizado y la fertirrigación. Todo ello ha conducido al aumento de la productividad y a un incremento muy importante de la superficie de olivar en riego (más de 81.000 ha de olivar para almazara en el período 1996 a 1999; MAPYA, 2003). Distintos trabajos indican el efecto beneficioso del riego, tanto en la producción de aceituna y aceite (Faci et al., 2002; Girona, 1996, Cruz-Conde y Fuentes, 1989), como en la disminución de la vecería (Solé, 1994).

Un problema potencial ligado a la intensificación de plantaciones de olivar bajo riego es la presencia de sales en el suelo o en el agua aplicada. Así, en los países mediterráneos unos 16 millones de hectáreas están afectados por salinidad, y cerca de 900.000 ha se encuentran localizadas en España (Aragüés, 1993). La progresiva implantación de olivos en zonas regadas, asociada a las tendencias de salinización en parte de las mismas requiere cuantificar el posible impacto negativo de este estrés abiótico sobre la producción y calidad del aceite de oliva.

Los estudios sobre la respuesta del crecimiento vegetativo del olivo a la salinidad han sido relativamente frecuentes en los últimos 20 años, mostrando la existencia de variabilidad en la respuesta a la salinidad entre los cultivares de olivo. Así Marín et al.

(1985) en un estudio con 26 cultivares de olivo, encontraron que su crecimiento relativo, tras 49 días de tratamiento salino, variaba entre 16% y 70%, estando 'Arbequina' entre las variedades más tolerantes. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se han efectuado en macetas y/o invernadero, utilizando medios artificiales (hidroponía, arena de cuarzo, turba, perlita, etc.) y cortos períodos (semanas) de exposición al estrés salino, lo que limita la extrapolación de los resultados a condiciones reales de campo.

El efecto de la salinidad sobre el porcentaje y calidad del aceite ha sido menos estudiado y los resultados son frecuentemente contradictorios. Así, según distintos trabajos recogidos en Gucci y Tattini (1997) el porcentaje de aceite en el fruto puede aumentar, disminuir o no verse afectado por la salinidad del agua de riego. Cresti et al. (1994) indican que la salinidad acelera la maduración del fruto aumentando el contenido de alcoholes alifáticos y triterpénicos y la relación de los ácidos linoleico y linolénico, y disminuyendo la relación de los ácidos oleico y linolénico. Bouaziz (1984) indica que la composición de los ácidos grasos del aceite no se vio afectada después de 12 años de riego con un agua de 4 g l⁻¹. Klein et al. (1994) y Elagaimy et al. (1994) indican que la salinidad del agua de riego incrementó el contenido de ácido oleico y disminuyó el del ácido linoleico, y que los esteroides alcanzaron niveles máximos con aguas de riego de 2 g l⁻¹ y disminuyeron por encima de dicho valor. Zarrouk et al. (1996) indican que la salinidad del agua de riego incrementó el contenido de ácido linoleico y disminuyó el de oleico. Vega et al. (2002) indican que la salinidad del agua de riego incrementó el rendimiento graso, y Wiesmann et al. (2002) encontraron incrementos en el porcentaje de aceite con aguas de 4,2 dS m⁻¹, y que la vitamina E aumentó con aguas de salinidad moderada.

Estos resultados permiten concluir que, en general, los efectos de la salinidad sobre la calidad del

aceite no están suficientemente contrastados. Asimismo, estos trabajos están referidos a la salinidad del agua de riego, pero no cuantifican la salinidad del suelo, que es la variable fundamental a analizar, ya que en función del manejo del riego (frecuencia y fracción de lavado) y del clima (fundamentalmente, lluvia y evapotranspiración potencial) pueden alcanzarse salinidades del suelo muy diferentes para una misma salinidad del agua de riego.

El objetivo de este trabajo es analizar, a lo largo de tres años, el efecto de tres niveles de salinidad del suelo sobre la calidad del aceite extraído de frutos provenientes de olivos jóvenes (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) localizados en una parcela afectada por un gradiente de salinidad edáfica.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La parcela experimental, de 1 ha de superficie, se localiza en el sector V del sistema de riegos Flumen (Cuenca Media del Ebro, Aragón, España). El clima se caracteriza por una temperatura media anual de 15,3° C, una precipitación de 434 mm y una evapotranspiración potencial de 1188 mm. El suelo de la parcela se clasifica como Typic Xerofluvent (Soil Survey Staff, 1999).

La plantación se realizó en primavera de 1997 con plántulas de un año de la variedad 'Arbequina' a un marco de plantación de 4 x 1,8 m (plantación intensiva de unos 1.400 árboles ha⁻¹). Durante el período de estudio (años 1999 a 2001) la parcela se regó por inundación tres veces en cada estación de riego (abril a septiembre) con aguas del canal del Flumen de excelente calidad (CE < 0,4 dS m⁻¹). En primavera de 1999 se seleccionaron 70 árboles según sus diferentes alturas y la salinidad del suelo (conductividad eléctrica aparente, CEa) medida con el sensor electromagnético EM-38 (Geonics, Canadá).

La salinidad del suelo se midió en 14 fechas entre mayo 1999 y octubre 2001 colocando el EM-38 en el suelo en posición horizontal junto a cada árbol control. La temperatura del suelo se midió con un termómetro digital al objeto de convertir los valores de CEa a una temperatura de referencia de 25°C. La Figura 1 presenta la evolución de los valores de CEa (media y desviación típica) a lo largo del período estudiado para el conjunto de olivos seleccionados para los niveles de salinidad baja (B), media (M) y alta (A). Estos valores se transformaron a CEe (conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo) mediante las respectivas calibraciones CEa-CEe obtenidas en cada año experimental. Dado que los olivos eran jóvenes (3 años al inicio del estudio), la profundidad de muestreo del suelo para la calibración del EM-38 fue de 0-30 cm (1999) y 0-50 cm (2000 y 2001). Debido a que algunos de los árboles sujetos a salinidades medias y altas murieron a lo largo del período de estudio, los árboles muestreados no fueron los mismos en cada año. Tanto por

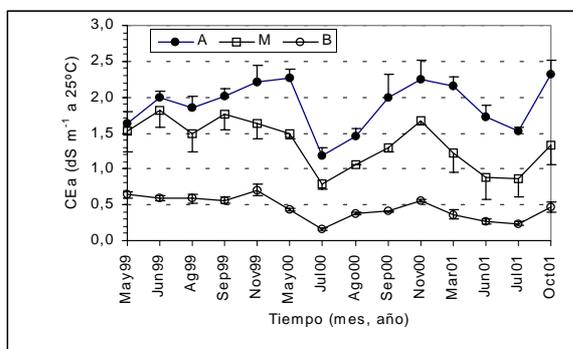


Figura 1

Salinidad del suelo (CEa, media y desviación típica) medida con el sensor electromagnético en posición horizontal durante el período Mayo 1999 a Octubre 2001 en los árboles sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A).

esta razón como por el descenso de la salinidad del suelo a lo largo del período estudiado (Fig. 1) los valores medios anuales de CEE de los tratamientos B, M y A descendieron sistemáticamente en el período 1999 a 2001 (Tabla I y siguientes).

La recolección y pesaje de los frutos se efectuó individualmente en cada árbol el 18 de noviembre de 1999. Los frutos de 15 árboles sujetos a salinidad alta se juntaron formando el lote A, para la posterior extracción del aceite en laboratorio. Igual se hizo con 7 árboles de salinidad intermedia (lote M) y con 9 de salinidad baja (lote B). En los años 2000 y 2001 se procedió de manera similar, si bien debido a la muerte de algunos árboles la selección se efectuó sobre 59 árboles cosechados el 21 de noviembre de 2000, y sobre 42 árboles cosechados el 14 de noviembre de 2001. El número de árboles muestreados en el segundo año fueron 10 (lote A), 5 (lote M) y 5 (lote B). Para el año 2001, tercer año experimental, se muestrearon 7 árboles entre los sujetos a salinidad alta y 3 y 3 para media y baja.

En dos de los tres años se midió el estado de maduración de las aceitunas según el índice dado por la Estación de Olivicultura de Jaén en función del color de la piel y de la pulpa.

De cada lote de aceitunas se realizó una sola extracción de aceite mediante el método Abencor. Se molturaron 700 g de aceitunas y se batió la pasta a una temperatura de 28°C durante 30 minutos, añadiendo 30g de microtalco por cada kilogramo de aceitunas y agua a temperatura ambiente, 20 minutos antes del final del proceso de batido. El contenido de humedad de las aceitunas se midió por gravime-

tría mediante pesada de unos 20-25 g de pasta homogeneizada en estufa a 105°C durante al menos 12 h. El contenido de grasa se realizó por el método Soxhlet sobre muestras de pasta de aceituna previamente desecadas. El valor de la grasa sobre materia natural se calculó a partir de la humedad y del contenido de grasa sobre peso seco. Los parámetros de calidad del aceite (acidez, índice de peróxidos, lecturas en el ultravioleta (K270 y K232), composición de ácidos grasos, contenido en ceras, composición esteroídica y contenido en eritrodio) se determinaron siguiendo la metodología descrita en el Reglamento n° 2568/91 de la EU y posteriores modificaciones del Reglamento. La determinación de polifenoles se realizó por el método descrito por Vázquez et al (1973) a partir de un complejo coloreado formado por el reactivo de Folin-Ciocalteu. La estabilidad oxidativa se midió con el Rancimat a 120° C y 20 ml de aire/min.

Para la comparación de medias se utilizó el estadístico de la t de Student

3. RESULTADOS

La humedad del fruto disminuyó ligeramente con el aumento de la salinidad del suelo para el promedio de los tres años estudiados, aunque las diferencias no fueron significativas (Tabla I). El único descenso importante se produjo en 2001 para el nivel alto de salinidad (descenso del 16% en A respecto al valor obtenido en B), mientras que en los otros dos años no hubo descensos (año 2000) o fueron muy pequeños (año 1999).

Tabla I
Humedad del fruto y grasa sobre materia fresca en olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05)

Año	Salinidad CEe, dS m ⁻¹	Humedad %	Grasa s. mat. fresca, %
1999	B (3,1)	58,5	18,3
	M (7,8)	55,4	20,5
	A (9,0)	55,5	22,2
	Media	56,5	20,3
2000	B (2,0)	53,6	19,9
	M (5,1)	54,0	22,7
	A (7,1)	55,0	20,4
	Media	54,2	21,0
2001	B (1,6)	60,4	18,4
	M (3,7)	59,8	16,9
	A (6,1)	50,7	22,5
	Media	57,0	19,3
Promedio	B (2,2)	57,5 a	18,9 a
	M (5,5)	56,4 a	20,0 ab
	A (7,4)	53,7 a	21,7 b

Tabla II
Acidez, índice de peróxidos y lecturas en el ultravioleta (K₂₇₀ y K₂₃₂) en el aceite extraído de olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes (P<0,05)

Año	Salinidad CEe, dS m ⁻¹	Grado de acidez % oleico	Peróxidos meq O ₂ kg ⁻¹	K ₂₇₀	K ₂₃₂
1999	B (3,1)	0,10	3,5	0,08	1,39
	M (7,8)	0,12	3,7	0,08	1,38
	A (9,0)	0,12	3,1	0,08	1,37
	Media	0,11	3,4	0,08	1,38
2000	B (2,0)	0,60	4,7	0,07	1,45
	M (5,1)	0,40	4,9	0,07	1,32
	A (7,1)	0,20	4,5	0,07	1,25
	Media	0,40	4,7	0,07	1,34
2001	B (1,6)	0,08	5,1	0,06	1,36
	M (3,7)	0,07	5,7	0,08	1,38
	A (6,1)	0,10	6,8	0,13	1,46
	Media	0,08	5,9	0,09	1,40
Promedio	B (2,2)	0,26 a	4,4 a	0,07 a	1,40 a
	M (5,5)	0,20 a	4,8 a	0,08 a	1,36 a
	A (7,4)	0,14 a	4,8 a	0,09 a	1,36 a
Referencia ¹		≤0,80	≤20	≤0,25	≤2,5
Referencia ²		0,20	7	0,12	1,82
Referencia ³		0,17	-	0,18	-
Referencia ⁴		0,13	5,8	0,11	1,48

¹ Valor del Reglamento 2568/91 y modificaciones posteriores para la calificación «virgen-extra»

² Valores del cv. Arbequina en Aragón según Gracia (1996)

³ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Tous et al. (1997)

⁴ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Faci et al. (2002)

Tabla III
Polifenoles, estabilidad oxidativa, ceras, eritrodol + uvaol y alcoholes alifáticos en el aceite extraído de olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05)

Año	Salinidad (CEe, dS m ⁻¹)	Polifen. (ac. cafeico, mg l ⁻¹)	Estabilidad (horas)	Ceras mg kg ⁻¹	Eritrodol + Uvaol, (%)	Alcoholes alifáticos mg kg ⁻¹
1999	B (3,1)	312	11,3	81	2,1	
	M (7,8)	353	12,4	78	1,8	
	A (9,0)	303	11,0	77	2,5	
	Media	322	11,6	79	2,1	
2000	B (2,0)	93	3,7	107	1,5	138
	M (5,1)	127	5,0	125	1,8	108
	A (7,1)	121	5,6	131	1,4	102
	Media	114	4,8	121	1,6	116
2001	B (1,6)	198	10,5	102	1,5	131
	M (3,7)	275	12,1	122	1,0	89
	A (6,1)	431	13,0	99	2,2	89
	Media	301	11,9	108	1,6	103
Promedio	B (2,2)	201 a	8,5a	97 a	1,7 a	135 a
	M (5,5)	251 a	9,8a	108 a	1,5 a	99 ab
	A (7,4)	285 a	9,9a	102 a	2,0 a	96 b
Referencia ¹		-	-	≤250	≤4,5	≤300
Referencia ²		-	-	160	2,0	-
Referencia ³		347	8,41	-	-	-
Referencia ⁴		406	14,1	-	-	-

¹ Valor del Reglamento 2568/91 y modificaciones posteriores para la calificación «virgen-extra»

² Valores del cv. Arbequina en Aragón según Gracia (1996)

³ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Tous et al. (1997)

⁴ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Faci et al. (2002)

Tabla IV
Esteroles totales y su composición en el aceite extraído de olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

Año	Salinidad, dS m ⁻¹	Esteroles (%)				
		Total (mg kg ⁻¹)	Colesterol	Campesterol	Estigmast.	β-sitost.
1999	B (3,1)	1399	--	3,1	0,8	95,1
	M (7,8)	1563	--	3,4	0,8	95,2
	A (9,0)	1338	--	3,0	0,7	95,3
	Media	1433	--	3,2	0,8	95,2
2000	B (2,0)	1359	0,3	3,3	0,8	95,3
	M (5,1)	1530	0,2	3,3	0,7	95,5
	A (7,1)	1627	0,3	3,1	0,8	95,4
	Media	1505	0,3	3,2	0,8	95,4
2001	B (1,6)	1496	0,1	3,0	0,6	95,7
	M (3,7)	1313	0,1	3,1	0,6	95,5
	A (6,1)	1589	0,1	3,3	0,7	95,3
	Media	1466	0,1	3,1	0,6	95,5
Promedio	B (2,2)	1418 a	0,2 a	3,1 a	0,7 a	95,4 a
	M (5,5)	1469 a	0,2 a	3,3 a	0,7 a	95,4 a
	A (7,4)	1518 a	0,2 a	3,1 a	0,8 a	95,3 a
Referencia ¹		≤1000	≤ 0,5	≤ 4	<camp	≤ 93
Referencia ²		1630	-	3,3	1,1	94,7
Referencia ³		1247		3,6	0,6	95,0

¹ Valor del Reglamento 2568/91 y modificaciones posteriores para la calificación «virgen-extra»

² Valores del cv. Arbequina en Aragón según Gracia (1996)

³ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Faci et al. (2002)

El porcentaje de grasa sobre materia fresca varió entre un mínimo del 17% (2001-M) y un máximo del 23% (2000-M) (Tabla I). Este intervalo se encuentra dentro de los valores normales para 'Arbequina' en regadío (Solé, 1997; Faci et al., 2000). El porcentaje de grasa sobre materia fresca aumentó con el aumento de la salinidad del suelo para el promedio de los tres años estudiados. Respecto al nivel bajo de salinidad, los incrementos fueron del 5% en el nivel medio y del 15% en el nivel alto de salinidad, siendo este último incremento significativo ($P < 0,05$).

Para obtener aceite en las mejores condiciones para su posterior análisis, no se utilizó agua a 100°C como establece el método Abencor para determinar el rendimiento, sino a temperatura ambiente. Por ello los valores de rendimiento obtenidos (datos no presentados) solo pueden utilizarse para comparar entre sí los distintos tratamientos, pues es evidente que estos valores de rendimiento son inferiores a los obtenidos utilizando agua caliente. El rendimiento medio en el año 2000 fue superior al de los otros dos años. Los tres tratamientos salinos dieron rendimientos en aceite similares, sin diferencias estadísticas entre ellos.

El grado de acidez (o acidez libre), parámetro indicativo de posibles alteraciones en la aceituna provocadas por la hidrólisis de los triglicéridos, fue bajo

en todos los aceites extraídos ($\leq 0,6\%$ de ácido oleico). Aunque en promedio el grado de acidez disminuyó un 46% en A y un 23% en M respecto al valor en B, las diferencias no fueron significativas, indicando que el grado de acidez fue independiente del nivel de salinidad del suelo (Tabla II). Mientras que en los años 1999 y 2001 el grado de acidez presentó valores muy similares en los tres tratamientos, en el 2000 hubo descensos del 33% en M y del 67% en A con respecto al valor en B. La variabilidad interanual fue mucho mayor que la variabilidad entre tratamientos, lo que sugiere que el grado de acidez se vio más afectado por factores climáticos o de manejo que por la salinidad del suelo.

El índice de peróxidos, parámetro de referencia para valorar el estado inicial de oxidación del aceite, fue muy bajo en todos los años y tratamientos (≤ 7 meq O₂ kg⁻¹). En el 2001 se observó un aumento de los peróxidos con respecto al valor en B, siendo del 12% en M y del 33% en A (Tabla II). La variabilidad interanual fue alta, observándose un progresivo incremento significativo ($P < 0,05$) del índice de peróxidos con el tiempo (incrementos del 38% en 2000 y del 74% en 2001 con respecto al valor medio de 3,4 meq O₂ kg⁻¹ en 1999). Como en el caso de la acidez, la variabilidad entre años fue mayor que la variabilidad entre tratamientos.

Tabla V
Composición relativa de ácidos grasos en el aceite extraído de olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05)

Año	Salinidad CEe, dS m ⁻¹	Ácidos grasos, %					
		C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
1999	B (3,1)	13,4	2,0	1,6	73,1	9,2	0,6
	M (7,8)	13,2	1,8	1,6	72,5	9,2	0,6
	A (9,0)	13,2	1,6	1,7	71,9	9,7	0,6
	Media	13,3	1,8	1,6	72,5	9,4	0,6
2000	B (2,0)	14,5	1,9	1,7	71,5	9,0	0,6
	M (5,1)	14,3	1,4	1,6	70,9	10,1	0,6
	A (7,1)	14,3	1,2	1,5	71,5	9,5	0,7
	Media	14,4	1,5	1,6	71,3	9,5	0,6
2001	B (1,6)	13,5	1,9	1,7	73,8	7,4	0,5
	M (3,7)	13,6	1,4	1,8	72,8	8,4	0,6
	A (6,1)	13,9	1,2	2,0	70,9	10,1	0,6
	Media	13,7	1,5	1,8	72,5	8,6	0,6
Promedio	B (2,2)	13,8 a	1,9 a	1,7 a	72,8 a	8,5 a	0,6 a
	M (5,5)	13,7 a	1,5 b	1,7 a	72,1 a	9,2 a	0,6 a
	A (7,4)	13,8 a	1,3 b	1,7 a	71,4 a	9,8 a	0,6 a
Referencia ¹		-	-	-	-	-	≤ 1
Referencia ²		13,1	1,20	2,20	70,8	10,9	0,8
Referencia ³		13,6	1,24	2,08	70,1	12,1	0,8
Referencia ⁴		12,6	1,17	2,22	73,3	9,4	0,6

¹ Valor del Reglamento 2568/91 y modificaciones posteriores para la calificación «virgen-extra»

² Valores del cv. Arbequina en Aragón según Gracia (1996)

³ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Tous et al. (1997)

⁴ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Faci et al. (2002)

La absorbancia en el ultravioleta (K) a las longitudes de onda de 270 y 232 nm son parámetros de referencia para valorar el estado de oxidación y conservación de los aceites. Los hidroperóxidos conjugados absorben a 232 nm, mientras que los productos de oxidación secundaria (aldehídos y cetonas) absorben a 270 nm (Kiritsakis, 1992). El valor de K_{270} fue el mismo para los tres tratamientos tanto en 1999 como en 2000, pero aumentó con la salinidad en 2001 (incrementos del 33% en M y del 117% en A con respecto al valor de 0,06 en B) (Tabla II). El valor de K_{232} fue errático, ya que los tres tratamientos mostraron valores semejantes en 1999, en tanto que se observó una disminución apreciable al aumentar la salinidad en el año 2000 y un aumento en 2001. En cualquier caso, todos los valores de K_{270} y K_{232} fueron muy bajos ($\leq 0,13$ y $\leq 1,46$, respectivamente) e independientes de la salinidad edáfica para el promedio de los tres años estudiados.

El contenido total en polifenoles es un parámetro relacionado con el amargor y con la estabilidad de los aceites. Los polifenoles aumentaron con el nivel de salinidad para el promedio de los tres años (incrementos del 25% en M y del 42% en A respecto al valor en B) (Tabla III), pero las diferencias no fueron significativas ($P>0,05$) debido a la variabilidad interanual (valores claramente inferiores en 2000 que en

los otros dos años) y, en particular, a las elevadas diferencias obtenidas entre los tres niveles de salinidad en 2001 (incrementos del 39% en M y del 118% en A respecto al valor de 198 mg l⁻¹ obtenido en B).

Los resultados de estabilidad oxidativa son similares a los de los polifenoles, con incrementos del 15% en M y 16% en A, respecto al valor en B, para el promedio de los tres años (Tabla III). Estos incrementos no fueron significativos ($P>0,05$). La variabilidad interanual fue grande, siendo los valores del año 2000 bastante más bajos que los de los otros dos años.

Las ceras, parámetro que varía según las categorías del aceite de oliva y que puede utilizarse como parámetro de calidad y de pureza, tuvieron unos valores iguales o inferiores en todos los casos a 131 mg kg⁻¹ (Tabla III), considerados normales en 'Arbequina'. Los valores medios de los contenidos en ceras de los tres tratamientos fueron muy similares, indicando que no son afectados por la salinidad. Los valores medios de los años 2000 y 2001 fueron claramente superiores a los de 1999.

El contenido en eritrodíol (o suma de los dialcoholes eritrodíol y uvaol) es un componente del insaponificable característico de algunos tipos de materias grasas, y su determinación permite detectar la existencia de aceite de orujo. No se encontró

Tabla VI

Composición relativa y relaciones de ácidos grasos en el aceite extraído de olivos sujetos a salinidades baja (B), media (M) y alta (A) en los tres años de estudio. En cada columna, las medias de los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

Año	Salinidad CEe, dS m ⁻¹	Ácidos grasos, %				Relaciones		
		Saturados	Insaturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados	Insat/Sat	Mono/Poli	Oleico/Linoleico
1999	B (3,1)	15,6	85,5	75,7	9,8	5,5	7,7	7,9
	M (7,8)	15,4	84,7	74,9	9,8	5,5	7,6	7,9
	A (9,0)	15,5	84,4	74,1	10,3	5,4	7,2	7,4
	Media	15,5	84,9	74,9	9,9	5,5	7,5	7,8
2000	B (2,0)	16,7	83,5	73,9	9,6	5,0	7,7	7,9
	M (5,1)	16,4	83,5	72,8	10,7	5,1	6,8	7,0
	A (7,1)	16,3	83,5	73,3	10,2	5,1	7,2	7,5
	Media	16,5	83,5	73,3	10,2	5,1	7,2	7,5
2001	B (1,6)	15,8	84,1	76,2	7,9	5,3	9,7	10,0
	M (3,7)	16,0	83,8	74,8	9,0	5,2	8,3	8,7
	A (6,1)	16,6	83,4	72,7	10,7	5,0	6,8	7,0
	Media	16,1	83,8	74,6	9,2	5,2	8,3	8,6
Promedio	B (2,2)	16,0 a	84,4 a	75,3 a	9,1 a	5,3 a	8,4 a	8,6 a
	M (5,5)	15,9 a	84,0 a	74,2 a	9,8 a	5,3 a	7,6 a	7,9 a
	A (7,4)	16,1 a	83,8 a	73,4 a	10,4 a	5,2 a	7,1 a	7,3 a
Referencia ¹		15,3	83,7	72,0	11,7	5,5	6,2	6,5
Referencia ²		15,7	84,3	71,3	12,9	5,4	5,5	5,8
Referencia ³		15,3	84,7	73,6	9,9	5,7	7,5	7,8

¹ Valor del Reglamento 2568/91 y modificaciones posteriores para la calificación «virgen-extra»

² Valores del cv. Arbequina en Aragón según Gracia (1996)

³ Valores del cv. Arbequina en Aragón según Faci et al. (2002)

efecto de la salinidad sobre este parámetro, y las diferencias entre los distintos tratamientos fueron menores que las existentes entre los valores de los distintos años (Tabla III).

Los alcoholes alifáticos permiten también distinguir la presencia de orujo ya que se incrementan notablemente en la extracción con disolventes. Aunque solo se midió en dos de los años se observa una disminución significativa ($P < 0,05$) en el tratamiento A respecto al B.

El contenido en esteroides totales y su composición permiten detectar mezclas fraudulentas con aceites de semillas o con otras grasas. Los resultados de la Tabla IV muestran un pequeño incremento de los valores medios de esteroides totales en los tratamientos salinos M (3,6%) y A (7%) sobre el B. En esta Tabla no se incluye el brasicasterol ya que no se detectó en ninguno de los aceites.

Los ácidos grasos son los componentes fundamentales y mayoritarios del aceite de oliva. La composición de los ácidos grasos fue muy estable, tanto entre años como entre tratamientos salinos (Tabla V). Únicamente el ácido palmítico tuvo un comportamiento consistente, disminuyendo con la salinidad en los tres años analizados y en el promedio de los mismos. El ácido oleico disminuyó ligeramente

en dos de los tres años, mientras que el ácido linoleico aumentó en 2001.

El porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados, así como la distribución de estos últimos en mono y poliinsaturados no varió significativamente con la salinidad del suelo (Tabla VI). Respecto a las relaciones entre ácidos, la relación Insaturados/Saturados fue independiente de la salinidad. Tanto la relación Monoinsaturados/Poliinsaturados como la relación Oleico/Linoleico tendieron a disminuir con la salinidad del suelo (descensos del orden del 15% en A respecto al valor en B), pero las diferencias no fueron significativas ($P > 0,05$).

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

El porcentaje de grasa sobre materia fresca aumentó significativamente con la salinidad del suelo, aunque dicho incremento fue pequeño. Este resultado coincide cualitativamente con los resultados obtenidos por Vega et al. (2002), Klein et al. (1994) y Weissman (2002), pero no con otros trabajos donde se concluyó que el porcentaje de grasa era independiente de la salinidad (Bouaziz, 1984, 1990).

Los contenidos de los distintos parámetros de calidad y sus valores de referencia presentados en las

Tablas I a VI indican que la mayor parte de los mismos fueron independientes de la salinidad edáfica, y que todos los valores de estos parámetros se encontraron dentro de los intervalos de variación normales para 'Arbequina', por lo que se puede concluir que la calidad del aceite no se vio afectada por la salinidad.

Por su grado de acidez, todos los aceites se clasificaron como de oliva virgen extra, ya que ninguno alcanzó el valor de 0,8, que es el máximo permitido para esa calidad, y su envasado y comercialización están permitidos ya que los índices de peróxidos fueron muy inferiores al límite de 20 meq O₂ kg⁻¹ establecido por el Reglamento (CE) 1989/2003.

La alta absorbancia a 270 (K₂₇₀) está relacionada con la oxidación del aceite y también con el proceso de refinación o blanqueo. Los valores bajos de absorbancia (K₂₇₀ y K₂₃₂) corresponden a aceites de oliva de buena calidad, y en todos los casos estuvieron muy por debajo de los máximos permitidos para el aceite de oliva virgen.

El contenido en polifenoles se ve muy afectado por diversos factores tales como la disponibilidad de agua en el suelo, la variedad y el sistema de obtención del aceite (Civantos, 1999; Tous y Romero, 1993). En este ensayo todos los olivos eran de la variedad 'Arbequina' y los aceites se obtuvieron todos en laboratorio, por lo que las variaciones observadas serían debidas al manejo del cultivo, incluyendo la salinidad del suelo a la que estuvieron sometidos los árboles, aunque como ya se ha indicado las variaciones no fueron significativas.

Los valores de la estabilidad oxidativa del año 2000 fueron sensiblemente inferiores a los otros dos años. Esa menor estabilidad puede estar relacionada con los elevados índices de acidez obtenidos ese año, y que no se corresponden con los de un aceite obtenido de olivas sanas, procesadas inmediatamente a su recolección. Por otra parte, la estabilidad oxidativa mostró una alta correlación con los polifenoles ($r = 0,92$, $P < 0,01$), como habían señalado Vázquez et al. (1975).

Ninguno de los aceites extraídos en este trabajo es confundible con mezclas de otros tipos de aceites (orujo, refinado o de semillas), ya que los contenidos en ceras y eritrodol fueron muy inferiores a los del aceite de orujo, la ausencia de brasicasterol los caracteriza como aceites sin colza, y los bajos valores de campesterol los diferencia de los aceites de soja, colza y girasol.

La reducción del valor de los alcoholes alifáticos al aumentar la salinidad está en contradicción con lo obtenido por Cresti et al (1994), si bien ellos lo relacionan con la aceleración de la maduración del fruto y los valores del índice de madurez en los dos años en que se midió en nuestro ensayo fueron contradictorios. Así, mientras en 1999 el índice aumentaba con la salinidad, en 2000 sucedió lo contrario y la salinidad produjo un retraso en la maduración.

Aunque la relación oleico/linoleico disminuyó al aumentar la salinidad, los descensos no fueron estadísticamente significativos. Cresti et al. (1994) indicaron que la salinidad disminuía esa relación, así como que incrementaba la linoleico/linoléico. En nuestro ensayo esta relación no mostró ninguna variación.

Finalmente, se ha efectuado para cada uno de los parámetros de calidad la comparación entre los valores medios de los aceites obtenidos en árboles sujetos a una C_{Ee} ≥ 4 dS m⁻¹, salinidad inferior al umbral de tolerancia del olivo (Gucci y Tattini, 1997), y los de los aceites de árboles sujetos a una C_{Ee} 7 dS m⁻¹. El primer grupo comprende los aceites de los tratamientos 1999-B, 2000-B y 2001-B y M, y el segundo grupo los aceites de los tratamientos 1999-M y A, y 2000-A. Los resultados obtenidos en este análisis coinciden con los obtenidos anteriormente, concluyéndose que, salvo el incremento con la salinidad de la grasa sobre materia fresca, la salinidad edáfica no tiene un efecto significativo sobre la calidad del aceite de oliva.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este trabajo se ha efectuado en un período de tres años y sobre una plantación joven de olivar. Las variaciones en la producción fueron importantes entre los años estudiados. Así, las producciones medias por árbol en cada uno de los niveles salinos, A, M y B pasaron de 193, 226 y 330 g/árbol respectivamente, en el primer año de producción a 516, 2060 y 5051 g/árbol en el tercero (5^o año de plantación). En este período, Aragüés et al. (2002) concluyeron que la tolerancia del crecimiento vegetativo del olivo a la salinidad disminuyó significativamente debido a la progresiva acumulación foliar de los iones Na⁺ y Cl⁻. Aunque en este período los resultados del presente trabajo permiten concluir que el efecto de la salinidad sobre la calidad del aceite ha sido irrelevante, no puede descartarse que la creciente acumulación de sales en los tejidos del olivo tenga un efecto a más largo plazo sobre la calidad del aceite.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por INIA (Proyecto RTA01-001). Agradecemos la ayuda en campo del personal de la Unidad de Suelos y Riegos y del Centro de Técnicas Agrarias de la DGA.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragüés R. 1993. Current Research and research needs on irrigated soils. In: *Cahiers Options Méditerranéennes*, **1(2)**, 195-205.
- Aragüés R, Royo A., Gracia M^a S, Espada J L. 2002. Field response of young olive trees (cv. Arbequina) to soil salinity: growth, leaf ion concentrations and oil quality. *Proceedings VII Congress of the European Society for Agronomy*, Cordoba (Spain) 15-17 July 2002: 157-158.

- Bouaziz A. 1984. Coltura intensiva ed irrigazione dell'olivo (*Olea europaea*) con acqua salmastra. *OLIVAE*, **2**, 48-49.
- Bouaziz A. 1990. Behaviour of some olive varieties irrigated with brackish water and grown intensively in the central part of Tunisia. *Acta Hort.* **286**, 247-250.
- Civantos L, Contreras R, Grana R M. 1992. Obtención del aceite de oliva virgen.- Ed. Agrícola Española, S.A. Madrid.
- Cresti M, Ciampolini F, Tattini M, Cimato A. 1994. Effect of salinity on productivity and oil quality of olive (*Olea europaea* L.) plants. *Adv. Hort. Sci.*, **8**, 211-214.
- Cruz-Conde J, Fuentes M. 1989. Riego por goteo del olivar. Dosis de agua. *OLIVAE*, **25**, 24-25.
- Elagaimy MA, Neff WE, Elsayed M, Awatif II. 1994. Effect of saline irrigation water on olive oil composition. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **71**, 1287-1289
- Faci JM., Berenguer MJ, Gracia S, Espada JL. 2002. Effect of variable water irrigation supply in olive (*Olea europaea* L.) cv. Arbequina in Aragon (Spain). II. Extra virgin oil quality parameters. *4th International Symposium of olive growing*. Bari (Italia).
- Girona J. 1996. Requerimientos hídricos del olivo. Estrategias de aplicación de cantidades limitadas de agua de riego en 'Arbequina'. *Fruticultura profesional*, **81**, 32-40
- Gracia S. 1996. El olivar y su aceite en Aragón. *Oleo* (Especial SIO-96), 44-46
- Gucci R, Tattini M. 1997. Salinity tolerance in olive. *Hortic. Rev.* Volumen 21, capítulo 6. J. Janick ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kiritsakis AK. 1992. El aceite de oliva. A. Madrid Vicente, Ediciones. 306 pp. Madrid.
- Klein I, Ben Tal Y, Lavee S, De Malach Y, Davis I. 1994. Saline irrigation of cv. Manzanillo and Uovo di Piccione trees. *Acta Hort.*, **356**, 176-180.
- Luchetti F. 2003. Introducción al estudio del aceite de oliva. En: Manual del aceite de oliva. Aparicio, R. y Harwood, J. Eds. AMV y Mundi-Prensa. Madrid. 614pp.
- M.A.P.Y.A. 2003. Anuarios de Estadística Agraria. Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación.
- Marín L., Benlloch M., Fernández-Escobar R. 1995. Screening of olive cultivars for salt tolerance. *Scientia Hort.* **64**, 113-116...
- Reglamento (CEE) n° 2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.
- Reglamento (CE) n° 1989/2003 que modifica el Reglamento (CEE) n° 2568/91 relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.
- Soil Survey Staff 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd Edition. USDA Natural Resources Conservation Service Agricultural Handbook 436. Washington DC.
- Solé MA. 1994. Influencia del riego de auxilio por goteo con pequeñas dosis de agua en olivar en las Garrigas (cv. Arbequina). *Fruticultura profesional*, **62**, Especial Olivicultura, 24-36.
- Tous J, Romero A. 1993. Variedades del olivo, con especial referencia a Cataluña. Fundació «La Caixa». AEDOS. Barcelona. 172pp.
- Tous J., Romero A., Plana J, Guerrero L, Díaz I, Hermoso F. 1997. Características de los aceites de oliva virgen de la variedad 'Arbequina'. *Fruticultura profesional*, **88**, Especial Olivicultura II: 118-124.
- Vázquez Roncero A, Janer del Valle C, Janer del Valle ML. 1975 Polifenoles naturales y estabilidad del aceite de oliva. *Grasas y Aceites*, **26**, 14-18.
- Vega V, Fernández M, Rojo J, Rapoport H, Pastor M, Salas J. 2002. Influencia del riego con aguas salinas en plantaciones jóvenes de olivo en condiciones de campo. *Jornadas de Investigación y transferencia de tecnología al sector oleícola*. 313-314. Córdoba.
- Wiesmann Z., Malach Y, David Y. 2002. Successfully irrigating olive trees using salt-water. *International Water and Irrigation*, **22**, 18-21.
- Zarrouk M, Marzouk B, Ben-Miled-Daoud D, Cerif A. 1996. Oil accumulation in olives and effect of salt on their composition. *OLIVAE*, **61**, 41-45.

Recibido: Marzo 2004
Aceptado: Septiembre 2004