

Estudio de la dinámica nutricional en hojas de olivo: periodos de estabilidad analítica

Study of the nutritional dynamic in olive leaves: periods of analytical stability
Estudo da dinâmica de nutrientes em folhas de oliveira: períodos de estabilidade analítica

Received: 07.12.2016 | Revised: 08.02.2017 | Accepted: 09.02.2017

AUTHORS

Nieto J.¹

García-Fuentes A.²

García L.M.³

Fernández-Ondó E.⁴
efernand@ugr.es

® Corresponding Author

¹ Olivarum. Laboratorio de la Fundación Caja Rural Jaén. Parque Tecnológico Geolit, Manzana 23. 23620 Mengíbar, Jaén, Spain.

² Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén. 23071 Jaén, Spain.

³ Seplin. Avda. de la Innovación, nº 1. Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud. 18016 Granada, Spain.

⁴ Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Campus Fuentenueva, s/n. 18001 Granada, Spain.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es establecer las curvas de evolución de los macro y micronutrientes en hoja de olivo y los periodos de tiempo en los que presentan estabilidad estadística y pueden ser considerados aptos para realizar un diagnóstico nutricional. El estudio se realizó en dos fincas de la provincia de Jaén (Andalucía, Sur de España) con olivos de la variedad Picual, en régimen de riego y sin deficiencias nutricionales en todo el año. Las curvas de evolución de cada nutriente presentaron grandes similitudes al comparar entre fincas y entre periodos, existiendo periodos con concentraciones superiores en la finca Poco Humo, probablemente debido a las favorables características edáficas de esta explotación. Nitrógeno y fósforo presentaron las concentraciones mínimas cuando las hojas son jóvenes y cuando tienen un año de vida, y las máximas durante el invierno. El potasio y el boro presentaron los valores máximos cuando las hojas son jóvenes, experimentando un descenso en esta concentración a lo largo del año de vida. Con calcio, magnesio y manganeso ocurre lo contrario, acumularon estos elementos en hoja hasta alcanzar el máximo en invierno, momento a partir del cual la concentración se mantuvo con algunas oscilaciones pero sin que las diferencias fueran estadísticamente significativas. No se observaron cambios en la concentración de zinc en los periodos muestreados. Para todos los nutrientes excepto el nitrógeno, se observaron en el periodo invernal periodos de al menos dos meses consecutivos sin diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones. El nitrógeno presentó estabilidad analítica desde la segunda quincena de mayo a la primera quincena de agosto, periodo en el que se observó también estabilidad para la mayoría de los nutrientes estudiados excepto el fósforo y el boro.

ABSTRACT

The aim of this study was to establish the evolution curves of macro- and micro-nutrients in olive leaves and the periods of time in which they are statistically stable and can be considered suitable for a nutritional diagnosis. The study was carried out in two farms of the province of Jaén (Andalucia, Southern Spain), with olive trees of the Picual variety, under an irrigation regime and no nutritional deficiencies over the entire year. The evolution curves of each nutrient had great similarities when comparing between farms and between periods. Only in some periods the farm "Poco Humo" had higher concentrations, probably due to the most favorable edaphic characteristics of this farm. Nitrogen and phosphorus showed minimum concentrations when the leaves were young and when they were one year old, and maximum concentrations during the winter. Potassium and boron showed higher concentrations when the leaves were young, and the concentrations decreased throughout the first year of life. Concentrations of calcium, magnesium and manganese had the opposite behavior: these accumulated in leaf until reaching maximum values in winter and then remained stable, with some oscillations but without statistically significant differences. No changes were observed in the zinc concentrations in the sampled periods. Periods of at least two consecutive months without statistically significant differences were found during the winter period for all elements except

nitrogen. Analytical stability was observed from the second fortnight of May till the first fortnight of August for all elements except phosphorus and boron.

RESUMIO

Os objetivos deste estudo foram o de estabelecer curvas de evolução de macro- e micronutrientes em folhas de oliveira, e os períodos de tempo nos quais são estatisticamente estáveis e podem ser considerados corretos para fazer um diagnóstico de nutrientes. O estudo foi realizado em duas explorações da província de Jaén (Andaluzia, Sul de Espanha), com oliveiras da variedade Picual, em regime de regadio e sem deficiência de nutrientes durante todo o ano. Comparando as duas explorações e os períodos de tempo, as curvas de evolução de cada nutriente foram muito semelhantes. Porém, na exploração "Poco Humo" ocorreram períodos com concentrações de nutrientes mais altas, provavelmente devidas às condições edafoclimáticas mais favoráveis nesta exploração. O nitrogénio e o fósforo apresentaram concentrações mínimas em folhas jovens e com um ano de vida e máximas durante o inverno. O potássio e o boro apresentaram concentrações máximas em folhas jovens apresentando um decréscimo durante o primeiro ano de vida. As concentrações de cálcio, magnésio e manganês apresentaram comportamento oposto; acumulando-se na folha até atingirem valores de concentração máximos no inverno, mantendo-se estáveis a partir daí com algumas oscilações, mas sem diferenças estatisticamente significativas. Durante os períodos de amostragem não se observaram alterações nas concentrações de zinco. Durante o inverno e por períodos de pelo menos dois meses consecutivos, não se observaram diferenças significativas nas concentrações dos elementos com exceção do nitrogénio. Observou-se estabilidade analítica, desde a segunda quinzena de Maio até à primeira quinzena de Agosto, para os elementos químicos estudados, com exceção do fósforo e do boro.

1. Introducción

La UE es el principal productor de aceite de oliva en el mundo; en el periodo que va de la campaña 2008/9 a 2013/14 la media de producción ha sido de 2.118.600 Tm, de las cuales 1.312.350 Tm las produjo España, lo que representa un 61,9% sobre lo producido en la UE (Consejo Oleícola Internacional 2015). En España, Andalucía dedica a olivar una superficie de 1.567.375 ha, un 60,2% del cultivo de olivar a nivel nacional (Ministerio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2015).

Aunque el riego, la mejora en los sistemas de manejo y los tratamientos de abonado mitigan en gran medida los fenómenos de alternancia productiva en el olivar, hay que decir que, como cualquier otro cultivo, sigue sujeto a los fenómenos climatológicos, lo que ha deparado producciones a nivel europeo del orden de 1.781.500 Tm en 2013/2014 a datos de 618.000 Tm 2012/2013 (Consejo Oleícola Internacional 2015).

Por otra parte, algunos estudios han señalado en los últimos años la necesidad de ajustar la aportación de fertilizantes, especialmente nitrógeno, a las necesidades reales testadas a partir del análisis foliar (Fernández-Escobar 2011; Rodrigues et al. 2012).

Para hacer sostenible el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.) económica y medioambientalmente, es necesario conocer los requerimientos nutricionales de los árboles en función de su fenología y con ello adecuar los tratamientos fertilizantes tanto en su formulación y dosis como en el momento óptimo de aplicación. Para determinar las necesidades de los cultivos se han utilizado diversos métodos como la determinación de las extracciones en función

PALABRAS CLAVE
Análisis foliar, olivar de riego, Picual, evolución de nutrientes, periodo de muestreo

KEYS WORDS
Leaf analysis, olive tree irrigation, Picual, nutrients evolution, sampling period

PALAVRAS-CHAVE
Análise foliar, oliveiras de regadio, Picual, evolução de nutrientes, período de amostragem do solo, qualidade do solo

de la cosecha, el análisis de flores, frutos, madera, savia y hoja (Martínez et al. 2003; Cadaña 2008). Sin embargo, es el análisis foliar el más ampliamente difundido y aceptado ya que, aun admitiendo sus limitaciones, el contenido de nutrientes en hoja es reflejo de la fertilización, la variedad genética y está relacionado con el rendimiento del cultivo.

Los nutrientes que han sido aplicados habitualmente al olivo han sido N, P y K (Morales-Sillero et al. 2007). Varios autores consideran que la fertilización con nitrógeno es excesiva y causa de problemas ambientales, y que debe ser reducida y adaptada de acuerdo con las necesidades diagnosticadas mediante el análisis foliar (Rodrigues et al. 2012). Otros autores (Fernández-Escobar et al. 2012) señalan que las necesidades de nitrógeno de los árboles pueden ser cubiertas por la mineralización de la materia orgánica y por el aportado por el agua de lluvia, de forma que el cultivo no necesitaría una fertilización anual de nitrógeno y solo sería necesario fertilizar cuando apareciesen deficiencias en hojas. Un abonado excesivo de nitrógeno podría causar efectos negativos sobre la calidad del aceite y la flor, así como en el medioambiente (Fernández-Escobar et al. 2014). Otros autores también han señalado la adaptación de las plantas leñosas para almacenar y movilizar nitrógeno (Cheng et al. 2004; Guérin et al. 2007).

El interés por determinar las necesidades nutricionales del olivo ha generado numerosos trabajos (Chapman 1966; Bouat 1976; Fernández-Escobar 1999; Chatzissavvidis et al. 2010; Centikaya et al. 2016), gracias a los cuales se aportaron datos de los contenidos de los tres elementos principales en la nutrición (N, P, K) en hojas y en otros órganos. En 1948, en la Escuela Nacional Superior de Agronomía de Montpellier, se realizaron una serie de trabajos recogidos por Bouat (1976), orientados a utilizar la hoja del olivo como herramienta para el diagnóstico nutricional en olivo. Se partió de árboles de la variedad Arbequina y se obtuvieron una serie de conclusiones: 1) que era relativamente indiferente elegir una u otra rama en el vuelo del árbol, 2) que en cada rama se debían eliminar las hojas de las extremidades (hojas deterioradas o jóvenes) porque presentaban grandes diferencias con las hojas centrales y 3) que era preciso diferenciar las hojas de cada año por-

que las hojas más jóvenes presentaban contenidos mayores en algunos elementos. Estas conclusiones orientadas a la estandarización de la recogida de la muestra fueron matizadas por otros autores (Ortega Nieto 1965; Brito 1971), que han demostrado las diferencias en concentración de nutrientes en las hojas dependiendo de la orientación del árbol.

Otros estudios (Fernández-Escobar et al. 1999) han realizado un análisis muy completo de la evolución de nutrientes en hoja en función de la edad de éstas. En concreto, en un olivar de secano de la variedad Picual. Concluyeron que la edad de las hojas afecta a los contenidos de nutrientes por hoja. Así mismo, este trabajo aportó información en relación con los contenidos y concentraciones de nutrientes según se tratara de un año de carga o descarga. Fernández-Escobar et al. (2004) establecieron curvas de evolución de nitrógeno para diversas partes y órganos de olivos de secano, de la variedad Picual, en la zona de Cabra (Córdoba, S España) en años de carga y descarga y para árboles fertilizados y no fertilizados. La relación entre el abonado y la concentración en hoja ha sido también estudiada por diversos autores (Troncoso et al. 1987; Fernández Escobar & Marín 1997) y la translocación de N en hojas y fruto fue investigada en olivos de la variedad Manzanillo (Fernández Escobar et al. 2011).

De otra parte, autores como Bouat (1954, 1976), Samish et al. (1961), Quintanilla Rejado (1963) y Brito (1971) consideraban el periodo de reposo invernal como el adecuado para realizar la toma de muestras. Este periodo fue muy estudiado y algunos de los resultados obtenidos referentes a las relaciones de equilibrio entre varios nutrientes en hoja durante el reposo invernal y las relaciones de estos niveles con factores como la fertilización, el riego, la producción o el suelo, fueron recogidos por Ferreira et al. (1986).

No obstante, el protocolo aceptado actualmente es el propuesto por Fernández-Escobar (1997), en el que el muestreo se realiza en el mes de julio, desaconsejando los muestreos de invierno, ya que según los trabajos de Chapman (1966) las curvas de evolución de los árboles bien nutridos y de los que presentaban deficiencias tienden a converger a medida que progresa el ciclo anual.

La mayor parte de los trabajos que han evaluado los nutrientes en hoja de olivo lo han hecho en olivar de secano; sin embargo, actualmente el 46,93% de la superficie de olivar en Jaén (S España) es de riego (VV.AA. 2013). Resultaría de gran interés conocer la evolución de los nutrientes bajo condiciones no limitantes de cultivo, como es el caso del agua o la fertilización para una variedad tan ampliamente extendida como la Picual.

El objetivo principal de este trabajo es establecer las curvas de evolución de los macro y micronutrientes en hoja de olivo y los periodos de tiempo en los que presentan una estabilidad estadística, pudiendo así ser considerados aptos para realizar un diagnóstico nutricional.

2. Material y metodos

2.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en un grupo homogéneo de árboles repartidos en dos parcelas de las fincas Valdecastro y Poco Humo, situada la primera en el término de Linares (30N 449747E 4220563N) y la segunda en Torreperogil (30N 478468E 4205019N), ambas en la provincia de Jaén, S España (**Figura 1**).

Biogeográficamente ambas parcelas quedan encuadradas en la provincia Bética, sector Hispalense, subsector Guadalquivireño campiñés, distrito altocampiñés (Rivas-Martínez 2007).

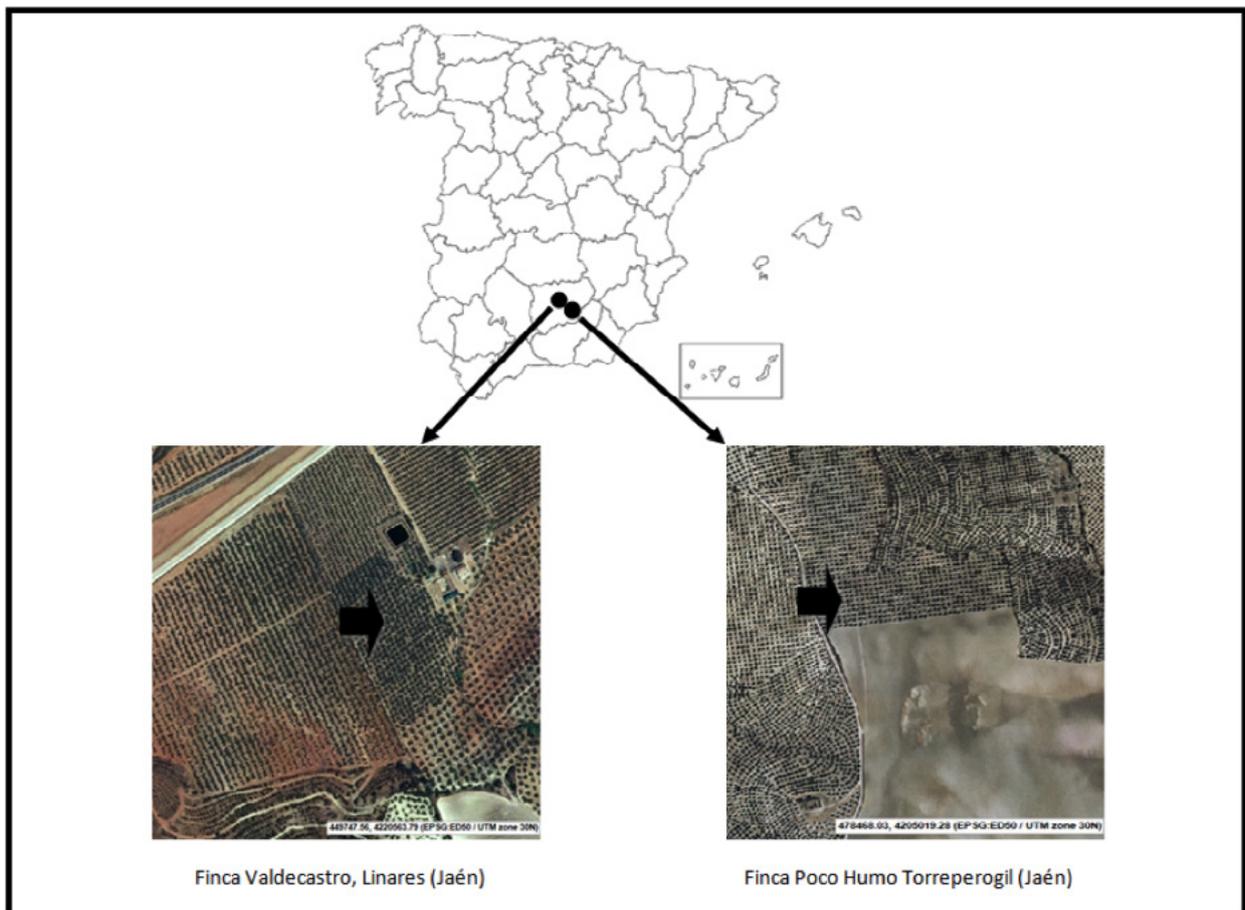


Figura 1. Localización de las parcelas en las que se ha realizado el estudio.

La vegetación potencial dominante es la serie mesomediterránea, Bética, seco-subhúmeda, basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*).

En las **Tablas 1 y 2** se presentan las características agronómicas y bioclimáticas de las dos explotaciones estudiadas. Las principales características de los suelos de acuerdo con Soria (2002) se resumen en la **Tabla 3**.

Tabla 1. Características agronómicas de las plantaciones

	VALDECASTRO	POCO HUMO
Variedad	PICUAL	
Edad (años)	25	60
Marco (M)	8 x 8	12 x 12
Nº de pies por árbol	1	3-4
Riego medio anual (m³/ha)	2500	2500
Modo riego	Superficial. Riego 5 días por semana	Superficial con 4 emisores de 8 l/árbol. Riego 2 días por semana
Campaña riego	abril-octubre	
Vol. copa (m³/árbol)	170	150-170
Sistema de cultivo	Cultivo con cubierta con siega química	Laboreo y bajo las copas no laboreo con control químico de la hierbas
Agua de riego	pH: 7,4	pH: 7,4
CE: dS/m	CE: 0,54	CE: 1,1
Abonado	N: 0,70	N: 1,80
Kg/olivo	P ₂ O ₅ : 0,37	P ₂ O ₅ : 0,51
	K ₂ O: 1,04	K ₂ O: 1,60
Producción	2001: 34,1	2000: 152,6
Kg/olivo	2002: 104,3	2001: 119,1
	2003: 82,6	2002: 148,6
	2004: 85,5	2003: 215,6
Tratamientos	2 tratamientos con cobre para repilo y tratamiento insecticida antes de la floración	

Tabla 2. Caracterización bioclimática de las plantaciones

	VALDECASTRO	POCO HUMO
Bioclima	Mediterráneo Pluvial-Océánico	Mediterráneo Pluvial-Océánico
Piso bioclimático	Mesomediterráneo inferior seco superior	Mesomediterráneo inferior seco superior
Precipitaciones Periodo 2000-2010	497,02 mm/año (Estación agroclimática de Linares, UTM: 443002.0, 4212540.0)	472,14 mm/año (Estación agroclimática de Úbeda, UTM: 473599.0, 4199520.0)
Evapotranspiración Periodo 2000-2010	1.399,6 mm/año. (Estación agroclimática de Linares, UTM: 443002.0, 4212540.0)	1.251,2 mm/año. (Estación agroclimática de Úbeda, UTM: 473599.0, 4199520.0)

Tabla 3. Características edáficas de las explotaciones estudiadas

Clasificación	VALDECASTRO					POCO HUMO	
	Cambisol calcárico					Cambisol vértico	
Horizontes	Ap	Bw	C	2Bwk	3Bwg	Ap	Bw
Profundidad (cm)	0-15	15-51	78-99	99-152	152-162	0-30	30-60
Arcillas (%)	29,3	32,5	35,3	29,6	38,0	52,1	55,8
CaCO ₃ eq. (%)	19,6	18,6	19,6	10,8	4,6	32,6	32,0
N (%)	0,1	0,06	0,03	0,05	0,08	0,15	0,05
Ca (cmol ₍₊₎ /Kg)	17,1	sat.	15,2	14,3	19,4	sat.	sat.
Mg (cmol ₍₊₎ /Kg)	1,8	2,1	2,3	2,3	3,4	2,9	3,7
K (cmol ₍₊₎ /Kg)	0,8	0,4	0,4	0,4	0,3	0,9	0,6
CIC (cmol ₍₊₎ /Kg)	19,3	15,7	15,2	14,7	19,8	21,7	24,8
pH (H ₂ O)	7,8	7,9	8,2	8,2	8,0	7,9	7,9
P ₂ O ₅ (mg/100g)	19,3	11,0	11,0	12,4	21,5	18,2	17,9
CO (%)	0,72	0,42	0,28	0,32	0,62	1,30	0,40
Humedad 33kPa (%)	23,01	21,6	20,32	20,36	29,39	39,44	20,10
Humedad 1500 kPa (%)	12,53	12,7	13,18	12,02	16,86	36,63	21,50

2.2. Diseño experimental y muestreo

El muestreo se inició en la primavera de 2001 en Valdecastro. En Poco Humo se empezó a muestrear en la primavera de 2002. Los muestreos se continuaron hasta la primavera de 2004. Las hojas se recogieron según las recomendaciones de Fernández-Escobar et al. (1999), aproximadamente cada 20 días. Se establecieron periodos de muestreo anuales, que iban desde el momento en que las hojas nacidas en ese año se encontraban completamente desarrolladas (meses de mayo-junio) hasta el momento en que se iniciaba el siguiente periodo de recolección de las hojas nacidas en el nuevo año (meses de abril-mayo).

El diseño de muestreo fue diferente en las dos explotaciones, incrementándose el número de parcelas en Poco Humo para robustecer la significación estadística de los resultados. En la parcela de Valdecastro se tomó una muestra por cada fecha, constituida por hojas recogidas de 5 árboles (siempre los mismos), tomando de cada uno de ellos 40 hojas. En el caso de Poco Humo se utilizó un diseño de 7 parcelas al azar donde se muestrearon 3 árboles por parcela (siempre los mismos), tomando 60 hojas por olivo y fecha.

El análisis químico se realizó para cada una de las 8 unidades experimentales.

Las hojas tomadas en el campo se introdujeron en un sobre de papel y se almacenaron inmediatamente dentro de una nevera portátil (4 °C) hasta su procesado en el laboratorio, lo que se realizó en las dos horas siguientes al muestreo.

2.2.1. Análisis de hojas

Las hojas se procesaron y analizaron de acuerdo con los Métodos Oficiales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1994), excepto para el boro que se siguió los métodos de Basson et al. (1969) y Wolf (1971).

Las hojas se lavaron con un detergente no iónico para eliminar contaminaciones (tierra, restos de abono foliar, funguicidas) y se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta peso constante. Posteriormente se trituraron hasta su reducción a polvo y se conservaron en la estufa a 50 °C hasta su análisis.

Para la determinación del N se empleó el método Kjeldahl. Para el análisis de los demás

elementos, a excepción del boro, se realizó una incineración en horno Mufla a 450 °C y posterior extracción de las cenizas con ácido clorhídrico del 2%. A partir de este extracto se determinaron K, Ca, Mg, Mn y Zn por espectrofotometría de absorción atómica con modelo Perkin Elmer 3100. El P se determinó a partir del extracto anterior, mediante el método de nitro-molibdo-vanadato y posterior lectura en un espectrofotómetro V/UV marca Milton Roy, modelo Spectronic 601. Para la determinación del boro se realizó una calcinación a 500 °C y el análisis se hizo mediante el método de la azometina y posterior lectura en espectrofotómetro, el mismo anteriormente citado.

En cada una de las tandas de trabajo se introdujo un blanco y una muestra de control que permitía estimar el error del método.

2.2.2. Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico las medidas se clasificaron por explotación, obteniéndose 8 bloques de medidas: 1 en la parcela de Valdecastro y 7 en la parcela de Poco Humo. El número de medidas tomadas fue de 48 en Valdecastro y 70 en Poco Humo.

Los resultados se agruparon en periodos de dos quincenas consecutivas. Así pues, las medidas se clasificaron según un periodo anual con 12 intervalos de tiempo, comenzando a partir de la segunda quincena de mayo/primer quincena de junio hasta la segunda quincena de marzo/primer quincena de abril, tres años después. En la **Tabla 4** se resumen los periodos de estudio considerados y su correspondencia temporal y fenológica.

Tabla 4. Periodos de estudio establecidos y correspondencia con el ciclo fenológico del olivo

<i>Periodos considerados</i>	<i>Intervalo</i>	<i>Ciclo vegetativo anual (Fernández 2014)</i>
Periodo 1 (P-1)	2ª quincena de mayo-1ª quincena de junio	
Periodo 2 (P-2)	2ª quincena de junio-1ª quincena de julio	
Periodo 3 (P-3)	2ª quincena de julio-1ª quincena de agosto	Desarrollo del fruto.
Periodo 4 (P-4)	2ª quincena de agosto-1ª quincena de septiembre	Acumulación de aceite
Periodo 5 (P-5)	2ª quincena de septiembre-1ª quincena de octubre	
Periodo 6 (P-6)	2ª quincena de octubre-1ª quincena de noviembre	
Periodo 7 (P-7)	2ª quincena de noviembre-1ª quincena de diciembre	
Periodo 8 (P-8)	2ª quincena de diciembre-1ª quincena de enero	Dormancia invernal
Periodo 9 (P-9)	2ª quincena de enero-1ª quincena de febrero	
Periodo 10 (P-10)	2ª quincena de febrero-1ª quincena de marzo	Desarrollo de la inflorescencia
Periodo 11 (P-11)	2ª quincena de marzo-1ª quincena de abril	
Periodo 12 (P-12) (hojas nuevas del año siguiente)	2ª quincena de abril-1ª quincena de mayo	Floración

El análisis estadístico aplicado fue un modelo lineal generalizado para medidas repetidas en el tiempo (GEE) (Gardiner et al. 2009), tomando como variable respuesta cada una de las variables químicas estudiadas y una correlación auto-regresiva de orden 1 (AR(1)) para ajustar la variabilidad de las medidas consecutivas en el tiempo. En todos los casos, tras aplicar el modelo estadístico, se revisó la distribución de los residuos para comprobar la bondad y fiabilidad

de los resultados obtenidos. Los periodos de estabilidad se establecieron a partir de las estimaciones obtenidas por el modelo estadístico aplicado en el tiempo de estudio. Se realizaron comparaciones múltiples por parejas mediante el método secuencial de Sidak (Harrel 2001). Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo con un nivel de significación del 5%. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics (vers. 22 para Windows).

3. Resultados

Las curvas de evolución de cada elemento presentan grandes similitudes cuando se compara entre explotaciones y entre periodos de estudio. Como ejemplo se presenta la **Figura 2**, correspondiente a las concentraciones de nitrógeno. En las siguientes Figuras (**Figura 3 a Figura 10**) se presenta el resultado del análisis estadístico.

En la **Tabla 5** se presentan los valores máximos y mínimos de cada nutriente y los periodos en los que se observan.

La **Figura 3** muestra los valores estadísticos de la evolución de la concentración de nitrógeno en hoja teniendo en cuenta todo el muestreo

realizado. Como puede observarse, las concentraciones de nitrógeno en hojas jóvenes (P-1, 2, 3) y las de hojas maduras (P-8, 9, 10, 11) presentan los valores más bajos sin diferencias estadísticamente significativas entre estos dos periodos. Las concentraciones más altas se observan durante el otoño y principio de invierno (P-5, 6, 7). El valor para el periodo 12 corresponde ya a hojas nuevas.

Considerando en conjunto los resultados, el valor más alto es de $1,80 \pm 0,02\%$ en el periodo 6, y en cuanto al valor más bajo se observa en el periodo 11 con una concentración de $1,50 \pm 0,03\%$.

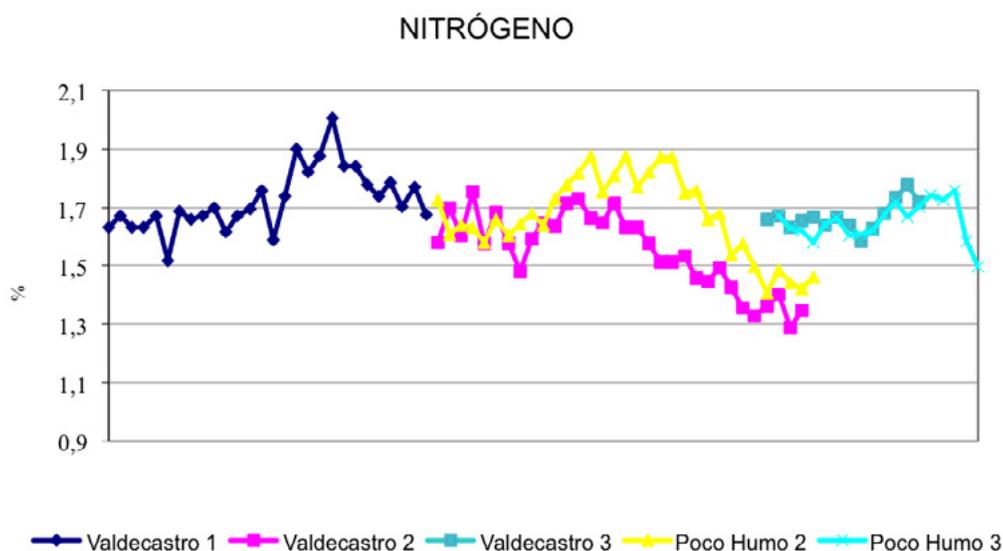


Figura 2. Evolución del contenido de nitrógeno (%) en hoja de olivo en las fincas de Valdecastro y Poco Humo (Jaén) a lo largo de los 3 años de seguimiento. Los datos se han agrupado por quincenas. Los datos para Poco Humo son la media de los valores encontrados para los 7 puntos de muestreo para cada fecha.

El periodo de mayor estabilidad, entendiendo este como el conjunto de concentraciones medidas de forma consecutiva con menores diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$) entre ellas, lo observamos en P-1, P-2 y P-3.

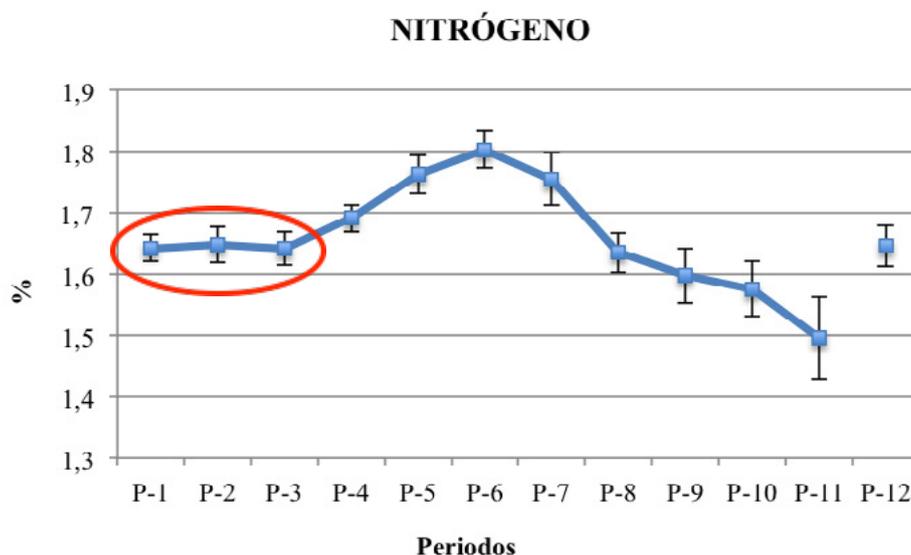
La concentración de fósforo en hoja presenta dos valores mínimos en P-3 y P-11 (**Figura 4**). Los valores más altos se presentan cuando las hojas son jóvenes, P-1 y P-12 y tam-

bién en otoño hasta principio de invierno, es decir, desde P-5 a P-8, momentos entre los que no hay diferencias estadísticas. Este último periodo es el que consideramos de mayor estabilidad para este elemento.

Considerando en conjunto los resultados de ambas fincas, la máxima concentración de fósforo en hoja, expresada en tanto por ciento, la localizamos en el momento en que las hojas son más jóvenes, P-1, con $0,12 \pm 0,002\%$. Por encima de

Tabla 5. Concentraciones medias y desviaciones estándar de los diferentes nutrientes y periodo en el que se observan

	Valores máximos (periodo)	Valores mínimos (periodo)
N (%)	1,803 ± 0,015 (P-6)	1,495 ± 0,034 (P-11)
P (%)	0,132 ± 0,003 (P-12)	0,090 ± 0,001 (P-11)
K (%)	0,945 ± 0,017 (P-12)	0,494 ± 0,082 (P-11)
Ca (%)	2,919 ± 0,263 (P-10)	1,247 ± 0,123 (P-12)
Mg (%)	0,204 ± 0,009 (P-5)	0,121 ± 0,004 (P-12)
Mn (ppm)	67,39 ± 5,13 (P-9)	37,27 ± 2,85 (P-12)
Cu (ppm)	81,54 ± 3,12 (P-11)	13,462 ± 1,40 (P-2)
Zn (ppm)	14,23 ± 0,40 (P-12)	12,10 ± 0,28 (P-2)
B (ppm)	31,28 ± 0,40 (P-1)	17,63 ± 0,24 (P-7)

**Figura 3.** Curva de evolución de la concentración media de nitrógeno obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

este valor aún está el valor para P-12, también hojas nuevas, nacidas en el nuevo año. La concentración más baja se registra durante P-11, con $0,09 \pm 0,001\%$, cuando las hojas tienen ya un año de edad.

Las concentraciones de Zn (**Figura 5**), aunque con valores mínimos durante el verano y máximos durante el invierno, son en general muy similares a lo largo de todos los periodos estudiados y no llegan a presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Podemos

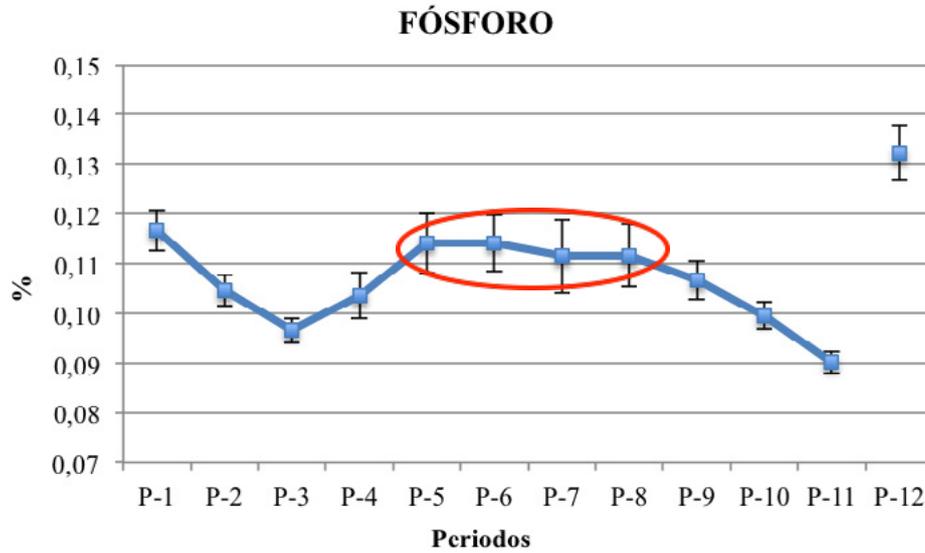


Figura 4. Curva de evolución de la concentración media de fósforo obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

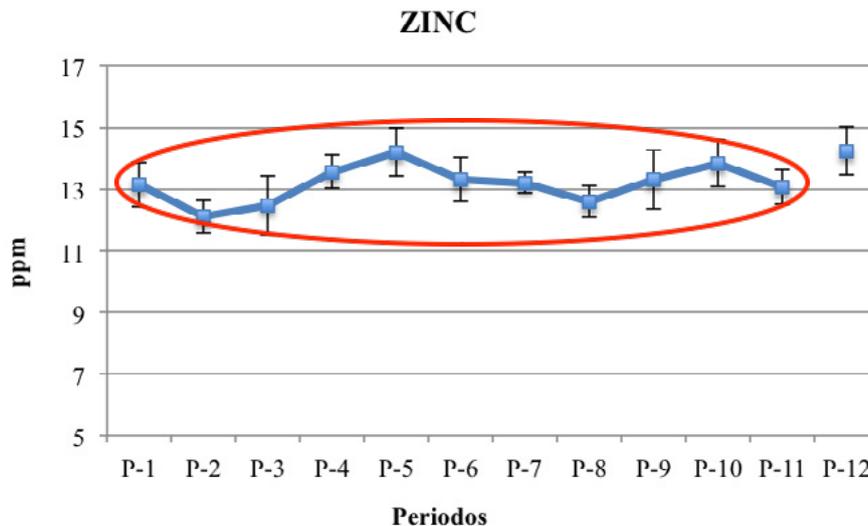


Figura 5. Curva de evolución de la concentración media de cinc obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

considerar estabilidad en todo el año para este elemento. No obstante las concentraciones más altas son de $14,23 \pm 0,40$ ppm en P-12, y las concentraciones mínimas en P-2, con un valor de $12,1 \pm 0,28$ ppm.

Tanto el potasio como el boro presentan los valores más altos en hojas jóvenes y desciende de forma constante a lo largo de todo el año, volviendo a incrementarse las concentraciones en

el último muestreo ya en hojas del año siguiente, hojas jóvenes (Figuras 6 y 7). La diferencia entre ambos elementos es la pendiente de la curva, mucho mayor para el boro que desciende de forma brusca, y con un descenso más suave para el potasio. Ambos elementos llegan a disminuir casi en un 59% su concentración inicial.

En el caso del potasio, los primeros cuatro periodos de muestreo, que se corresponden con el

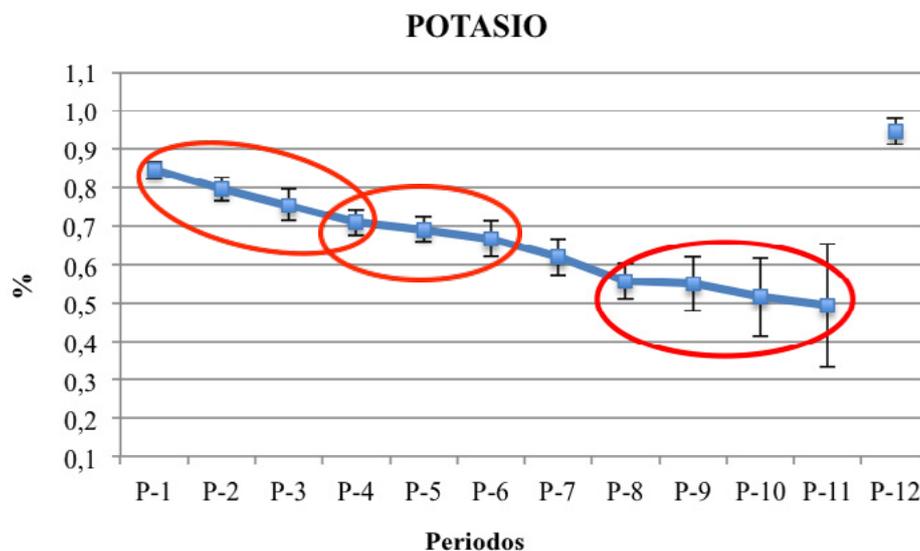


Figura 6. Curva de evolución de la concentración media de potasio obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

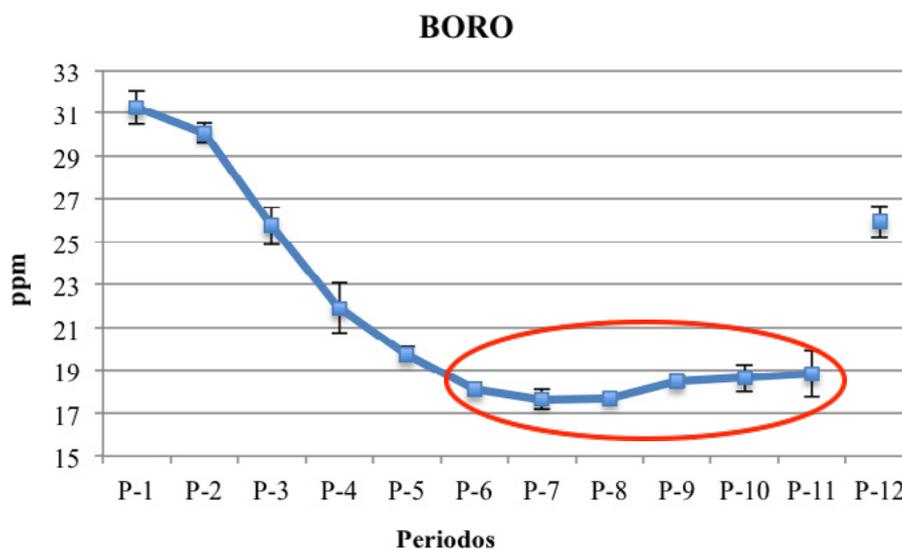


Figura 7. Curva de evolución de la concentración media de boro obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

inicio del desarrollo del fruto y la acumulación de aceite, no presentan diferencias significativas entre sí. Tampoco entre P-4, P-5 y P-6 se observan diferencias entre sí, aunque el descenso en la concentración es muy acusado respecto a los anteriores. Por último hay un tercer periodo sin diferencias significativas, correspondiente a los periodos P-8, P-9, P-10 y P-11, con los valores de concentración más bajos. Por tanto, observa-

mos tres periodos de estabilidad en los valores correspondientes a los muestreos de primavera-verano, un segundo periodo durante el otoño y un tercer periodo durante el invierno y principio de primavera.

Las concentraciones más altas de potasio se dan en P-1, cuando las hojas son jóvenes, con un valor de $0,84 \pm 0,01\%$; y las concentraciones

mínimas cuando las hojas tienen ya un año de edad, $0,49 \pm 0,08\%$ en P-11. El último punto de la curva, P-12, corresponde a muestras tomadas para esa fecha pero ya correspondiendo a hojas recién formadas y que presentan valores de nuevo más altos ($0,95 \pm 0,02\%$).

En cuanto al boro (Figura 7), los muestreos realizados en los cinco primeros periodos presentan todos ellos diferencias estadísticamente significativas entre sí y con los muestreos siguientes. Se trata de un periodo en el que las concentraciones descienden de forma brusca de un muestreo al siguiente. A partir de P-6 y hasta P-11 no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones analizadas. Por último, como también ocurría con el potasio, en el siguiente muestreo (P-12), ya en hojas jóvenes del año siguiente, vuelve a incrementarse el valor de boro medido.

Para el caso del boro las concentraciones más altas se dan al inicio del periodo de muestreo, en hojas jóvenes, al igual que el potasio. En este caso los valores para este momento son de $31,28 \pm 0,40$ ppm. El valor más bajo de boro se da en P-7, con $17,63 \pm 0,24$ ppm. A partir de esta fecha se incrementa la concentración de boro en hoja, sin que las diferencias entre fechas sean estadísticamente significativas. Al igual que en los otros elementos, el periodo P-12 corresponde al muestreo de la 2ª quincena

de abril-1ª de mayo, que ya corresponde a hojas nuevas y, por tanto, con valores nuevamente altos.

Las curvas de evolución de las concentraciones de calcio, magnesio y manganeso presentan una tendencia similar en los diferentes periodos de estudio y en las dos fincas, pero, en general, como en la mayoría de los elementos estudiados, son más altas en la Finca de Poco Humo que en la de Valdecastro.

Los tres elementos se van acumulando en hoja hasta alcanzar máximos en invierno, periodo durante el cual, aunque se registran oscilaciones, no presentan diferencias significativas. Lo mismo puede decirse de los muestreos realizados en los periodos siguientes. La medida última, ya de hojas nuevas, vuelve a presentar valores más bajos en los tres elementos. El incremento en la concentración es alrededor del doble de la concentración inicial para magnesio y manganeso, y del triple para la concentración de calcio.

La media de calcio para el periodo en que las hojas son jóvenes (P-1 y P-12) es de $1,45 \pm 0,06\%$ y $1,24 \pm 0,26\%$, respectivamente, los cuales se corresponden con los valores más bajos (Figura 8). Los valores más altos se observan en el intervalo entre el P-6, con $2,66 \pm 0,16\%$, y el P-10, con $2,92 \pm 0,26\%$, sin diferencias significativas para estos.

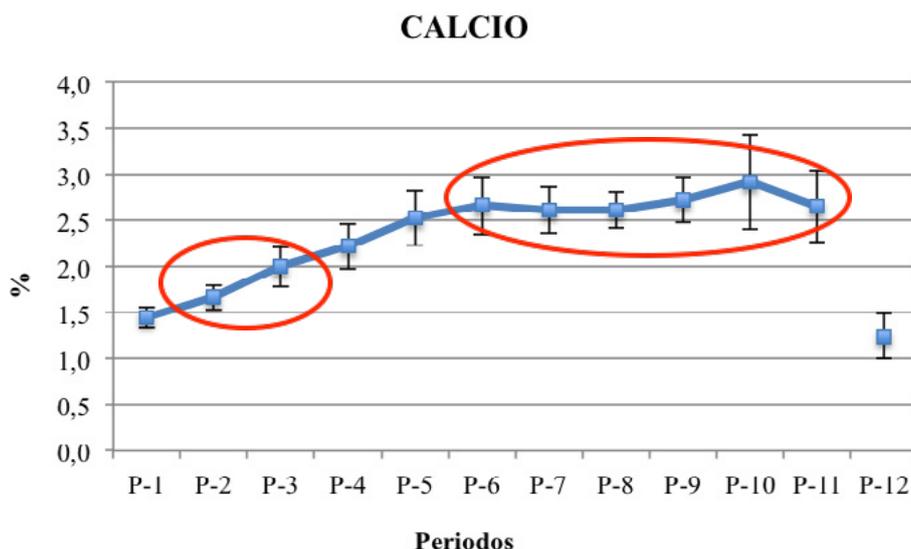


Figura 8. Curva de evolución de la concentración media de calcio obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

En el caso del magnesio, la curva de evolución (Figura 9), comienza con los valores más bajos coincidiendo con el momento en que las hojas son jóvenes con concentraciones de $0,12 \pm 0,01\%$ (P-12), llegando a alcanzar el valor más alto en P-5, con $0,20 \pm 0,01\%$, manteniéndose sin diferencias estadísticamente significativas entre muestreos, hasta P-10 con $0,19 \pm 0,01\%$.

Para el manganeso (Figura 10) las concentraciones más bajas son de $37,27 \pm 2,85$ ppm y como en los dos anteriores elementos la halla-

mos cuando las hojas son jóvenes (P-1 y P-12); a partir del periodo 6 se registran los valores más altos ($67,39 \pm 5,13$ ppm, en P-9), manteniéndose sin diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes periodos hasta P-11, con $67,20 \pm 5,29$ ppm.

Los periodos de estabilidad para magnesio y manganeso son muy similares (Figura 11). Se extienden desde el periodo 4 hasta el periodo 11. También se observa un periodo de estabili-

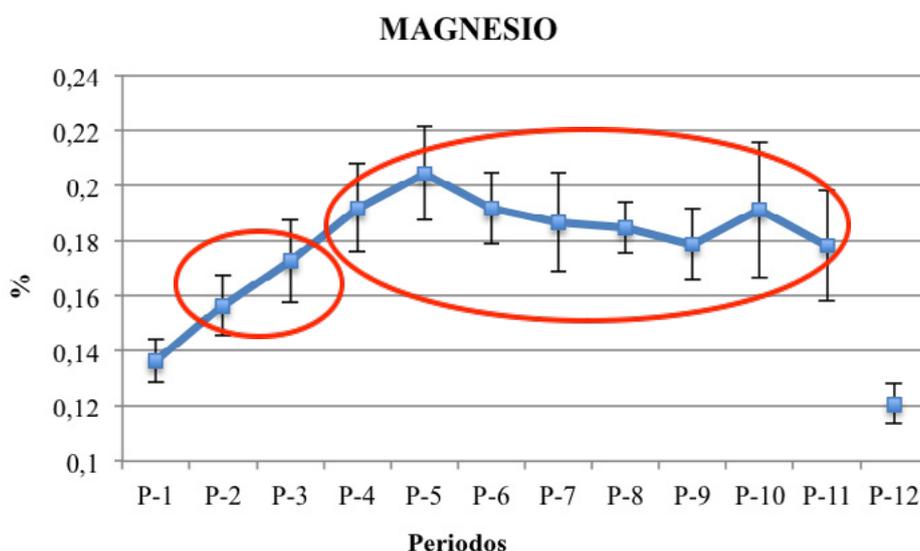


Figura 9. Curva de evolución de la concentración media de magnesio obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

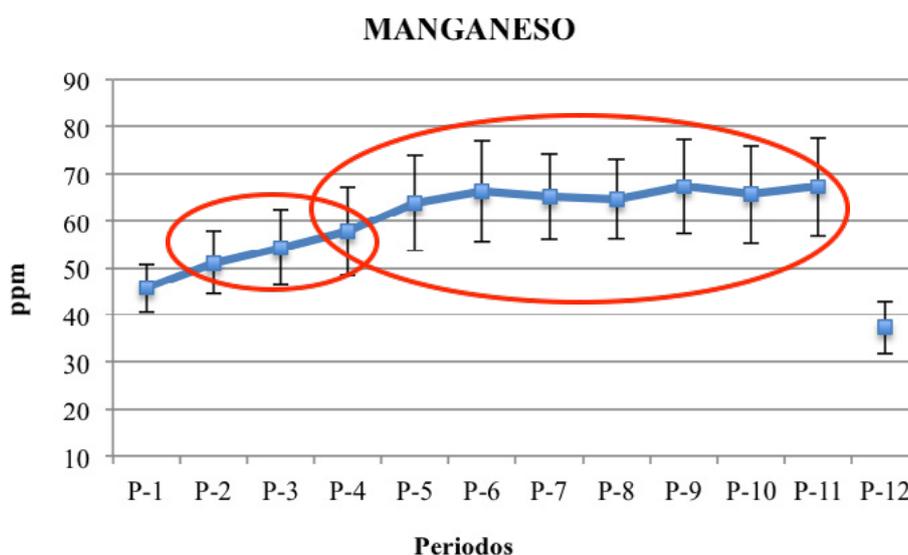


Figura 10. Curva de evolución de la concentración media de manganeso obtenida del conjunto de datos estudiados. El círculo rojo delimita los periodos en los que no se observan diferencias significativas para $p < 0,05$.

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11
N	█										
P	█				█						
K	█							█			
Ca		█				█					
Mg		█		█							
Mn		█									
Zn	█										
B						█					

Figura 11. Periodos de estabilidad estadística de los diferentes nutrientes en hoja.

dad durante los meses de verano, entre el periodo 2 y el 4. Para el calcio los periodos de estabilidad son también similares a los elementos anteriores, pero los periodos P-1, P-3 y P-4 presentan diferencias significativas entre sí y con el resto de periodos estudiados.

4. Discusión

Los valores máximos y mínimos de nuestro trabajo están próximos a los obtenidos por Fernández-Escobar et al. (1999) y Bueno et al. (2011) y, en general, son más bajos que los observados por otros autores (Bouat 1976; El-Fouly et al. 2008).

En nuestro estudio, las concentraciones de nitrógeno más bajas se observan cuando las hojas están recién formadas, P-1, P-2 y P-3. Estos periodos coinciden con el desarrollo del fruto y la acumulación de aceite y con lo observado en otros estudios anteriores (Fernández-Escobar et al. 1999; Fernández-Escobar et al. 2004). Observamos también valores bajos entre el P-9 y el P-11, es decir, desde la salida de la dormancia invernal hasta la floración. Los periodos P-10 y P-11 coinciden con la fase del desarrollo de la inflorescencia y el crecimiento primaveral (Tabla 4, Figura 3). Estos resultados coinciden con los descritos por Guérin et al. (2007), que señalaron un incremento en el movimiento de nitrógeno en el

xilema en primavera. Entre estos dos momentos observamos una acumulación de nitrógeno entre los periodos P-5 y P-7, que coinciden con el final del desarrollo del fruto y el inicio de la dormancia invernal.

La evolución de la concentración de nitrógeno y fósforo a lo largo del año coincide con la observada por otros autores (Bouat 1976; Fernández-Escobar et al. 1999; Fernández-Escobar et al. 2004), con dos excepciones en cuanto al nitrógeno; una es la concentración de nitrógeno mínima en agosto, que en nuestro caso no se observa ya que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos en el periodo que va de mayo a agosto (P-1, P-2 y P-3) (Figura 3). Por otra parte, nuestros resultados presentan una disminución estadísticamente significativa a partir del periodo diciembre-enero (P-8) no observada por otros autores. Estas diferencias podrían estar relacionadas con el hecho de que nuestro trabajo se ha realizado en olivar de riego. En la revisión realizada por Fernández (2014) se constata que la deficiencia de agua genera demandas de nutrientes de otras partes del árbol durante el desarrollo del fruto.

En trabajos con la variedad Arbequina y en Argentina, Bueno et al. (2011) detectaron la mayor concentración de nitrógeno en hoja en los meses de marzo-abril, momento en que tiene lugar la maduración del fruto y que corresponde también al momento en que, en nuestro caso, localizamos los valores más elevados (desde septiembre a noviembre). El-Fouly et al. (2008) señalaron un comportamiento similar para

la variedad Picual en Egipto, si bien hallaron las concentraciones más elevadas durante el verano, adelantándose al momento en que se registran los valores más altos en nuestro caso.

Para el caso del fósforo observamos un valor mínimo en P-3, durante el desarrollo del fruto, para ir aumentando y alcanzar valores máximos entre P-5 y P-8, final del desarrollo del fruto e inicio de la dormancia invernal. Las concentraciones descienden hasta valores mínimos en P-11. El fósforo, por tanto, se moviliza de la hoja para cubrir las necesidades del crecimiento del fruto, alcanza una concentración de equilibrio al final de este proceso y durante el reposo invernal y vuelve a reducir su concentración a medida que la hoja envejece, probablemente para recuperar el nutriente por el árbol y favorecer el desarrollo de las inflorescencias y floración.

En los trabajos realizados por Chatzistathis et al. (2010), con olivos que vegetan en tres tipos de suelos diferentes de Macedonia y Grecia, se describía un aumento gradual de la concentración de fósforo desde mayo hasta alcanzar el máximo en julio. A partir de este mes empezaba a disminuir la concentración. Esta dinámica no coincide con el descenso observado en nuestros datos durante el desarrollo del fruto. No obstante, en esta experiencia mencionada los olivos no desarrollaban fruto y, por tanto, no es necesario movilizar fósforo del órgano de almacén que constituye la hoja al fruto.

Freeman et al. (1994) describían la caída en las concentraciones de P en hoja, a partir de niveles altos al inicio de la primavera, pero en sus resultados se mostraba una caída continua hasta octubre que no coincide en nuestro caso, en el que la recuperación se adelanta probablemente favorecida por el riego.

La dinámica de nitrógeno y fósforo observada permite recomendar estudios que analicen las necesidades de fertilización ya que, como se ha comentado, hay un proceso de acumulación de estos nutrientes en hoja y una movilización de los mismos cuando los requiere el árbol, al iniciarse los procesos de floración o fructificación. Ello permitiría un sistema de fertilización más eficaz

con las concentraciones bien ajustadas, tal como señalaron Fernández-Escobar et al. (2012).

El potasio es un elemento clave en la fertilización del olivo (Saykhul et al. 2013). Su concentración en el fruto está fuertemente correlacionada con la acumulación de aceite. La concentración en las hojas jóvenes se ha relacionado con el crecimiento de los brotes y con la eficiencia en el uso del agua. Una deficiencia moderada de potasio afecta a la regulación de cierre de los estomas (Arquero et al. 2006). De igual forma, la temperatura también ha sido señalada como un factor clave en el crecimiento de plántulas tanto de la parte aérea como subterránea, así como del movimiento de agua entre el tallo y las raíces (Benlloch-González et al. 2016). Es un elemento clave en la mayoría de los cultivos por lo que su eficacia, definida como la capacidad de la planta de producir materia seca o fruto, bien a partir de las concentraciones internas o bien a partir de las concentraciones externas, ha sido estudiada en varios cultivos por distintos autores (Yang et al. 2003; Wang & Chen 2012; Ul-Hassan et al. 2012; Fan et al. 2013; Oosterhuis et al. 2013), incluyendo el olivo (Saykhul et al. 2013).

La dinámica del potasio observada coincide con la de otros autores (Bouat 1976; Freeman et al. 1994; Fernández-Escobar et al. 1999; Bueno et al. 2011). Como en nuestro caso, también observan un descenso continuo en la concentración de este nutriente. Sin embargo Fernández-Escobar et al. (1999) observaron un descenso brusco en primavera para estabilizarse a partir de agosto. No obstante, nuestros valores máximos y mínimos están en consonancia con los de este trabajo. Como la variedad utilizada es la misma, cabe pensar que los árboles tienen la misma eficacia genética en la utilización del potasio, uno de los factores que ha sido considerado clave en la dinámica de este elemento en las plantas (Yang et al. 2003; Saykhul et al. 2013). El otro factor que puede afectar a la eficacia del potasio son las condiciones externas; en nuestro caso la principal variación externa es el riego, que puede movilizar cantidades importantes de potasio y que podría justificar las diferencias en la dinámica de este elemento en hoja.

Son también numerosos los trabajos que han demostrado los efectos negativos y tóxicos de un exceso de boro en el suelo o en el agua de riego (Nable et al. 1997; Rengasamy 2002; Reid et al. 2004). El olivo está considerado como una especie semi-tolerante a altas concentraciones de boro (Therios 2009).

Asimismo, el boro ha sido considerado como poco móvil en la planta (Dugger 1983). Esta inmovilidad parece ser una consecuencia lógica de su papel en la pared celular (Lehto et al. 2010). No obstante, algunos trabajos han señalado la movilidad del boro hacia las flores y el fruto, por ejemplo, en manzanos (Hanson 1991). Finalmente, autores como Delgado et al. (1994) y Chatzissavvidis & Therios (2010) señalaron la alta movilidad del boro en olivo.

El descenso en boro observado en nuestros resultados podría deberse a que una vez la hoja se ha desarrollado completamente, el árbol está exportando boro para cubrir las necesidades de este elemento en el fruto en el periodo que va desde el momento en que la hoja está plenamente desarrollada (agosto) hasta el invierno o la primavera del año siguiente, tal y como también señalaron Delgado et al. (1994).

En los trabajos de Fernández-Escobar et al. (1999) se describía el incremento en las concentraciones de calcio, magnesio y manganeso a medida que se incrementaba la edad de la hoja, como ocurre en nuestro estudio. Estos resultados coinciden con lo observado también por otros autores (Chatzistathis et al. 2010). Sin embargo, también describían un descenso en la concentración de manganeso a partir de julio-agosto que no hemos observado en nuestros resultados, no apreciándose para este elemento diferencias significativas desde el incremento observado al principio de la emergencia de la hoja. Probablemente los cambios en la concentración de manganeso en hojas sean más acusados en secano y así, en relación con Fernández-Escobar et al. (1999), se podrían explicar las diferencias que hallamos con nuestros resultados.

Por otra parte, los incrementos en las concentraciones de calcio y magnesio son menores que los descritos en los trabajos realizados en secano y se aproximan a los observados en trabajos en regadío como el de Centikaya et al. (2016). Tal y como han señalado otros autores (Neilsen et al. 1998, 2004; Morales-Sillero et al. 2009), el incremento de magnesio en hoja coincide con la disminución en el contenido en potasio.

El zinc no presenta grandes cambios en nuestro estudio; de hecho no observamos diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes periodos. Algunos autores como Fernández-Escobar et al. (1999) y Chatzistathis et al. (2010) señalaron concentraciones máximas de este elemento a finales de primavera y principio de verano y un descenso a partir de noviembre-diciembre. Esto podría estar justificado por las extracciones que se hacen a partir de las hojas para atender las necesidades de los árboles en los futuros procesos de crecimiento vegetativo y órganos reproductivos. Sin embargo, aunque en nuestros resultados se observa esa menor concentración en tal época, no presenta diferencias estadísticamente significativas con los valores medidos en el resto de periodos del año. Centikaya et al. (2016) señalaron resultados similares en olivares de riego en los que no observaron incrementos o descensos en la concentración de Zn.

El periodo más largo de estabilidad en la concentración de la mayoría de los elementos, excepto el nitrógeno, se observa entre P-8 al P-11 (**Figura 11**), correspondientes al reposo invernal y al desarrollo de la inflorescencia (**Tabla 4**). Estos resultados coinciden con los recomendados para realizar el muestreo foliar por diversos autores (Bouat 1954, 1976; Samish et al. 1961; Quintanilla Rejado 1963; Brito 1971). Chapman (1966) señaló que este periodo no es adecuado para el muestreo foliar, ya que las curvas de evolución de nutrientes en hoja de árboles bien nutridos y de árboles con deficiencias en un elemento tienden a converger conforme progresa el ciclo anual, y las diferencias entre niveles adecuados y deficientes se minimizan.

En nuestro caso, las concentraciones de N, P, K y B registran los valores más bajos para esa fecha; no así para Ca, Mg, Mn y Zn, que se mantienen sin diferencias significativas a lo largo del periodo invernal. Otras razones de orden práctico estarían relacionadas con la actividad agrícola (recogida de frutos), que dificultaría la recogida de muestras por los agricultores, la dificultad asociada a identificar la edad de las hojas o la falta de estabilidad en las concentraciones de nitrógeno que obligarían a un segundo muestreo en primavera-verano.

Otro periodo de estabilidad más corto se observa entre el verano y el otoño, P-2 y P-3 (**Tabla 4, Figura 11**). Estarían incluidos la mayoría de los nutrientes excepto el fósforo y el boro. En este periodo se incluye la primera quincena de julio, momento actualmente recomendado para el muestreo foliar en olivo de acuerdo con Fernández-Escobar (1997). Sin embargo, hay que tener en cuenta que dos nutrientes fundamentales (P y B) no estarían estables en este periodo, y que los procesos de acumulación de nutrientes se producen en diferentes periodos según los elementos. Algunos como el calcio o el magnesio estarían acumulándose en hoja, y otros como el potasio, el zinc, el fósforo o el boro estarían disminuyendo su concentración.

Para establecer diagnósticos precisos en la concentración de nutrientes es necesario fijar las concentraciones de referencia al menos para estos dos periodos de estabilidad establecidos estadísticamente en la variedad Picual, sin deficiencia nutricional y con riego.

5. Conclusiones

Las hojas de olivo de la variedad Picual estudiadas presentan acumulación de nitrógeno y fósforo a partir del mes de agosto, manteniendo los niveles durante el invierno y descendiendo de forma progresiva hasta el final de la primera quincena de abril, coincidiendo con la floración,

el principio del desarrollo del fruto y la vejez de la hoja.

Las concentraciones de potasio y boro presentan los valores máximos cuando las hojas son jóvenes, descendiendo hasta la primavera siguiente, posiblemente para atender a las necesidades de los crecimientos vegetativos y reproductivos del árbol.

Las concentraciones de calcio, magnesio y manganeso se incrementan de forma prácticamente continua a lo largo del año con ligeras variaciones, a la vez que disminuyen las concentraciones de otros elementos como el potasio y el boro.

La concentración de zinc en estos olivares de riego y bien fertilizados no presenta variación a lo largo del periodo estudiado.

Se observan dos periodos de estabilidad analítica. El primero desde la segunda quincena de junio hasta la primera de agosto, y el segundo cuando las hojas son maduras, a partir de la segunda quincena de octubre. Sin embargo, en el primer periodo no observamos estabilidad estadística en las concentraciones de fósforo y boro y en el segundo falta para el nitrógeno.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Dr. Miguel Pastor Muñoz-Cobo (que en paz descanse) su contribución en el diseño experimental y en las primeras fases de este estudio.

REFERENCIAS

- Arquero O, Barranco D, Benlloch M. 2006. Potassium starvation increases stomatal conductance in olive trees. *Hortic Sci.* 41(2):433-436.
- Basson WD, Böhmer RG, Stanton DA. 1969. An automated procedure the determination of boron in plant tissue. *Analyst* 94:1135.
- Benlloch-González M, Quintero JM, Suárez MP, Sánchez-Lucas R, Fernández-Escobar R, Benlloch M. 2016. Effect of moderate high temperature on the vegetative growth and potassium allocation in olive plants. *J Plant Physiol.* 207:22-29.
- Bouat A. 1954. Etude sur la physiologie de la nutrition de l'olivier (3ª Memoria). *Ann Agron. Serie A.5:*459-489.
- Bouat A. 1976. Fertilización del olivo. En: FAO-INIA, editores. *Olivicultura Moderna*. Madrid: Editorial Agrícola Española, S.A. p. 127-147.
- Brito FMV. 1971. Diagnostic foliare de l'olivier. Contribution pour un mode d'échantillonnage adapté aux oliveraies du Portugal. *IIIe Conf Int Techn Oléic. Torremolinos (España)*. 20 p.
- Bueno LA, Sánchez E, Searles PS. 2011. Seasonal changes in mineral nutrient concentrations of olive leaves in an arid region of Argentina. *Acta Hortic.* 924:69-76.
- Cadahía C. 2008. La savia como índice de fertilización. *Cultivos agroenergéticos, hortícolas, frutales y ornamentales*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Centikaya H, Koc M, Kulak M. 2016. Monitoring of mineral and polyphenol content in olive leaves under drought conditions: Application chemometric techniques. *Industrial Crops and Products* 88:78-84.
- Chapman HD. 1966. Diagnostic criteria for plant and soils. Berkeley, CA: University of California, Div. Of Agric. Science. 793 p.
- Chatzissavvidis C, Therios I. 2010. Response of four olive (*Olea europaea* L.) cultivars to six B concentrations: Growth performance, nutrient status and gas exchange parameters. *Sci Hortic.* 127:29-38.
- Chatzistathis Th, Therios I, Alifragis D, Dimassi K. 2010. Effect of sampling time and soil type on Mn, Fe, Zn, Ca, Mg, K and P concentrations of olive (*Olea europaea* L. cv. "Koroneiki") leaves. *Sci Hortic.* 126:291-296.
- Cheng LMF, Ranwala D. 2004. Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiol.* 24:91-8.
- Consejo Oleícola Internacional. 2015. Newsletter – Mercado Oleícola N° 99 – Noviembre 2015. <http://www.internationaloliveoil.org/documents/viewfile/10734-market-newsletter-november-2015>. Accessed November 2016.
- Delgado A, Benlloch M, Fernández-Escobar R. 1994. Mobilisation of boron in olive trees during flowering and fruit development. *Hortic Sci.* 29:616-618.
- Dugger DM. 1983. Boron in plant metabolism. In: Lauchli A, Bieleski RL, editors. *Encyclopedia of Plant Physiology*. New Ser. vol 15B, Inorganic Plant Nutrition. Berlin: Springer. p. 626-650.
- El-Fouly MM, Shaaban SHA, El-Sayed AA. 2008. Evaluation of seasonal nutrient status in the leaves of different olive varieties grown on calcareous soils. *Journal of Applied Horticulture* 10(1):59-62.
- Fan M, Bie Z, Xie H, Zhang F, Zhao S, Zhang H. 2013. Genotypic variation for potassium efficiency in wild and domesticated watermelons under ample and limited potassium supply. *J Plant Nutr Soil Sc.* 176:466-473.
- Fernández JE. 2014. Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environ Exp Bot.* 103:158-179.
- Fernández-Escobar R. 1997. Fertilización. In: Barranco D, Fernández-Escobar R, Rallo L, editores. *El cultivo del olivo*. Madrid: Mundi-Prensa-Junta de Andalucía. p. 229-249.
- Fernández-Escobar R. 2011. Use and abuse of nitrogen in olive fertilization. *Acta Hortic.* 888:249-257.
- Fernández-Escobar R, Antonaya-Baena MF, Sánchez-Zamora MA, Molina-Soria C. 2014. The amount of nitrogen applied and nutritional status of olive plants affect nitrogen uptake efficiency. *Sci Hortic.* 167:1-4.
- Fernández-Escobar R, García-Novelo JM, Molina-Soria C, Parra MA. 2012. An approach to nitrogen balance in olive orchards. *Sci Hortic.* 135:219-226.
- Fernández-Escobar R, García-Novelo JM, Restrepo-Díaz H. 2011. Mobilization of nitrogen in the olive bearing shoots and after foliar application of urea. *Sci Hortic.* 127:452-454.
- Fernández-Escobar R, Marín L. 1997. Nitrogen fertilization in olive orchards. *III International Symposium on Olive Growing* 474:333-336.
- Fernández-Escobar R, Moreno R, García-Creus M. 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Sci Hortic.* 82:25-45.
- Fernández-Escobar R, Moreno R, Sánchez-Zamora MA. 2004. Nitrogen Dynamics in the Olive Bearing Shoot. *Hortic Sci.* 39(6):1406-1411.
- Ferreira J, García-Ortiz A, Frías L, Fernández A. 1986. Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. *Olea.* 17:141-152.
- Freeman M, Uriu K, Hartmann HT. 1994. Diagnosing and correcting nutrient problems. In: Ferguson L, Sibbett GS, Martin GC, editors. *Olive Production Manual*. Oakland, CA: University of California-Agriculture and Natural Resources. Publication 3353. p. 77-86.

- Gardiner J, Luo, Z, Roman LA. 2009. Fixed effects, random effects and GEE: What are the differences. *Statistics in Medicine* 28:221-239.
- Guérin V, Huché-Théliér L, Charpentier S. 2007. Mobilisation of nutrients and transport via the xylem sap in a shrub (*Ligustrum ovalifolium*) during spring growth: N and C compounds and interactions. *J Plant Physiol.* 164:562-573.
- Hanson EJ. 1991. Movement of boron out of fruit tree leaves. *Hortic Sci.* 26:271-273.
- Harrel JFE. 2001. *Regression Modelling Strategies*. New York: Springer Science.
- Lehto T, Ruuhola T, Dell B. 2010. Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecol Manag.* 260:2053-2069.
- Martínez HEP, Souza RB, Bayona JA, Venegas VHA, Sanz M. 2003. Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. *J Plant Nutr.* 26 (7):1467-1482.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2015. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2015. http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2015_tcm7-424015.pdf. Accessed Nov 2016.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1994. *Métodos Oficiales de Análisis*. III. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Morales-Sillero A, Fernández JE, Beltrán G, Jiménez R, Troncoso A. 2007. Influence of fertigation in "Manzanilla de Sevilla" olive oil quality. *Hort Sci.* 42:1157-1162.
- Morales-Sillero A, Fernández JE, Ordovás J, Suárez MP, Pérez JA, Liñán J, López EP, Girón I, Troncoso A. 2009. Plant-soil interactions in a fertigated "Manzanilla de Sevilla" olive orchard. *Plant Soil* 319:147-162.
- Nable RO, Banuelos GS, Paull JG. 1997. Boron toxicity. *Plant Soil* 193:181-198.
- Neilsen GH, Neilsen D, Herbert LC, Hogue EJ. 2004. Response of apple to fertigation of N and K under conditions susceptible to the development of K deficiency. *J Am Soc Hortic Sci.* 129:26-31.
- Neilsen GH, Parchomchuk P, Meheriuk M, Neilsen D. 1998. Development and correction of K deficiency in drip irrigated apple. *Hortic Sci.* 33:258-261.
- Oosterhuis DM, Loka DA, Raper TB. 2013. Potassium and stress alleviation: physiological functions and management of cotton. *J Plant Nutr Soil Sc.* 176:331-343.
- Ortega Nieto JM. 1965. La qualité du fruit chez l'Olivier. In: *International Potash Institute*, editor. *Le potassium et la qualité des produits agricoles: raisins de table et vins, olive et huile d'olive, tomates, liège*. Lisbonne: 3e Colloque de l'Institut International de la Potasse. p. 115-117.
- Quintanilla Rejado P. 1963. Fertilisation de l'Olivier. *Bull Docum Ass Int Fab de Superphos.* 36:11-38.
- Reid RJ, Hayes JE, Post A, Stangoulis JCR, Graham RD. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ.* 25:1405-1414.
- Rengasamy P. 2002. Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Aust J Exp Agric.* 42:351-361.
- Rivas-Martínez S. 2007. Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España. *Itinera Geobotánica* 17:1-435.
- Rodrigues MA, Ferreira IQ, Claro AM, Arrobas M. 2012. Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and Pruning. *Sci Hortic.* 142:205-211.
- Samish RM, Moscichi WZ, Kessler B, Hoffmann M. 1961. Nutritional survey of Israel vineyards and olive groves by foliar analysis. *Bet Dagan (Israel): Univ Inst Agr Div Pub.* 39:1-28.
- Saykhul A, Chatzistathis T, Chatzissavvidis C, Koundouras S, Therios I, Dimassi K. 2013. Potassium utilization efficiency of three olive cultivars grown in a hydroponic system. *Sci Hortic.* 162:55-62.
- Soria L. 2002. Fertilización y riego en el olivar de la provincial de Jaén: Comarcas de La Loma y Sierra Morena. Tesis doctoral de la Universidad de Granada, España.
- Therios IN. 2009. *Olives*. Crop Production Science in Horticulture. Series No 18. Wallingford (UK): CABI.
- Troncoso A, Barroso A, Martín-Aranda J, Murillo JM, Moreno F. 1987. Effect of the fertilization level on the availability and loss of nutrients in a olive-orchard soil. *J Plant Nutr.* 10 (9-16):1555-1561.
- Ul-Hassan Z, Arshad M, Khalid A. 2012. Evaluating potassium-use-efficient cot-ton genotypes using different ranking methods. *J Plant Nutr.* 34:1957-1972.
- VV.AA. 2013. *Anuario 2013 Olivar*. Instituto de Estadística y Cartografía. Consejería Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Anuario%202013.zip>. Accessed November 2016.
- Wang L, Chen F. 2012. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *J Plant Nutr Soil Sc.* 175:303-308.
- Wolf B. 1971. The determination of boron in soil extracts, plant material, compost, manures, water and nutrient solutions. *Commun Soil Sci Plan.* 2:363-374.
- Yang XE, Liu JX, Wang WM, Li H, Luo AC, Ye ZQ, Yang Y. 2003. Genotypic differences and some associated plant traits in potassium internal use efficiency of low land rice (*Oryza sativa* L.). *Nutr Cycl Agroecosys.* 67:273-282.