



DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO EN VARIEDADES DE OLIVO Y SU INTERACCIÓN CON EL TIPO DE SUELO

Sérgio Almeida Rico Lavado

Córdoba, julio 2013

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a D. Ricardo Fernández-Escobar por la oportunidad que me dio de trabajar en este proyecto y por la disponibilidad que presentó siempre que necesario.

A María Felisa Antonaya, por su preciosa ayuda en todas las etapas de la tesis, por sus consejos y por su cercanía en todo momento me permitió que todo el trabajo fuera mucho más fácil y efectivo.

A M^a José Jiménez y a Ana Martín por la amabilidad que siempre han demostrado cuando tuve que molestarles para pedir ayuda en el laboratorio.

A Carmen Vacas por su excelente trabajo organizacional y por su amistad a lo largo de todo el Máster.

A todos los amigos que hice en Córdoba, especialmente a Margarida Vazquez y a Juan Pablo Turchetti por todo el apoyo que me han dado. A Rita Frade, por todas las puertas que me abrió, por toda su ayuda en mis primeros tiempos en Córdoba, por su disponibilidad en todo momento y principalmente por la gran amistad que hicimos. A Francisco Peña, Housseem Msallem, Antonio Valera y Jesús Romero por la preciosa ayuda que me prestaron en el día que hice las estaquillas. A João Vasco Silva por la imprescindible ayuda con el inglés. Sin vosotros todo esto hubiera sido mucho más difícil.

A mis padres, Antónia y José Lavado, por el imprescindible apoyo que me han dado a lo largo de toda mi vida y especialmente los últimos dos años. Por su comprensión en mis ausencias, por su ánimo en los malos momentos, por su preocupación por mi bienestar, por su interés en mis estudios y por su empeño en que yo sea lo que hoy soy.

A Yaiza Ramirez que fue lo mejor que me ha pasado en mi estancia en Córdoba. Siempre estuvo ahí para darme ánimo cuando más necesitaba, para tranquilizarme en los momentos de agobio, para ayudarme con el tema del idioma, con los riegos e incluso con el trabajo de laboratorio. Sin ti todo este trabajo hubiera sido imposible.

A todos muchas gracias!

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo han sido establecer si existen diferencias varietales en el olivo en la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN) y estudiar su posible interacción con el medio de cultivo. Estos objetivos pueden ayudar a aumentar la eficiencia del abonado nitrogenado y reducir la contaminación del ambiente con nitratos. En un primer estudio se evaluaron exclusivamente las diferencias varietales. Este estudio constó de dos experimentos, ambos con un diseño completamente aleatorio, con un número variable de repeticiones y dos niveles de nitrógeno (0 y 100 ppm). El primero se llevó a cabo en condiciones de umbráculo y se emplearon 9 variedades. El segundo transcurrió en condiciones de cámara de crecimiento y se emplearon 7 variedades. En un segundo estudio se evaluó la interacción entre variedades y el medio de cultivo. Para ello se efectuaron dos experimentos, ambos con un diseño factorial y dos niveles de nitrógeno (0 y 100 ppm). Los factores fueron la variedad: 'Picual', 'Arbequina', 'Frantoio' y 'Sikitita' y el tipo de suelo: Fluvisol, Luvisol y Regosol. Fue también utilizado un suelo control compuesto por una mezcla de turba y arena. Uno de los experimentos se llevó a cabo en condiciones de umbráculo y tuvo un total de siete repeticiones por tratamiento y el otro se realizó en condiciones de cámara de crecimiento y tuvo un total de seis repeticiones por tratamiento. En los cuatro experimentos se usaron las plantas que no recibieron nitrógeno como controles para cada tratamiento para el posterior cálculo de la EUN. Se empleó urea como fuente de nitrógeno, siendo las aplicaciones en forma de riegos semanales. En los resultados se observó la existencia de diferencias varietales en la Eficiencia en la Absorción y en la Eficiencia en la Utilización, sin que ambos índices estén relacionados entre sí ni con el crecimiento vegetativo. Así, las variedades más eficientes en la absorción fueron: 'Arbequina' y 'Koroneiki'; y las menos eficientes: 'Cobrançosa', 'Empeltre', 'Cornicabra', 'Picholine marocaine' y 'Lechín de Granada'. También se ha encontrado interacción entre el suelo y la variedad en el crecimiento vegetativo, concentración y contenido de nitrógeno y en la Eficiencia en la Utilización. De esta manera, 'Picual' se vio afectada cuando fue cultivada en suelo con pH más bajo y 'Arbequina' cuando fue cultivada en un suelo calizo.

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a existência de diferenças varietais na oliveira relativamente à Eficiência na Utilização do Azoto (EUN) e estudar a sua possível interação com o meio de cultivo. Estes objetivos podem ajudar a aumentar a eficácia da adubação azotada e reduzir a contaminação do ambiente com nitratos. Num primeiro estudo avaliaram-se exclusivamente as diferenças varietais. Neste estudo constaram dois experimentos, ambos com um desenho completamente aleatório, com um número variável de repetições e dois níveis de azoto (0 e 100 ppm). O primeiro deles levou-se a cabo em condições de umbráculo e utilizaram-se 9 variedades. O segundo decorreu em condições de câmara de crescimento e utilizaram-se 7 variedades. Num segundo estudo avaliou-se a interação entre as variedades e o meio de cultivo. Para isso efetuaram-se dois experimentos, ambos com um desenho fatorial e dois níveis de azoto (0 e 100 ppm). Os fatores foram a variedade: 'Picual', 'Arbequina', 'Frantoio' e 'Sikitia' e o tipo de solo: Fluvisol, Luvisol e Regosol. Foi também utilizado um solo controlo composto por uma mistura de turva e areia. Um dos experimentos levou-se a cabo em condições de umbráculo e teve um total de sete repetições por tratamento e o outro realizou-se em condições de câmara de crescimento e teve uma totalidade de seis repetições por tratamento. Nos quatro experimentos foram usadas as plantas que não receberam azoto como controlos para cada tratamento para o posterior cálculo da EUN. Utilizou-se ureia como fonte de azoto, sendo que as aplicações foram em forma de regas semanais. Nos resultados observou-se a existência de diferenças varietais para a Eficiência na Absorção e para a Eficiência na Utilização, sem que ambos os índices estivessem relacionados entre eles nem com o crescimento vegetativo. Assim, as variedades mais eficientes na absorção foram: 'Arbequina' e 'Koroneiki', e as menos eficientes: 'Cobrançosa', 'Empeltre', 'Cornicabra', 'Picholine marocaine' e 'Lechín de Granada'. Também se encontrou interação entre o solo e a variedade para o crescimento vegetativo, concentração e conteúdo de azoto e para a Eficiência na Utilização. Desta forma, 'Picual' viu-se afectada quando foi cultivada em solos com pH mais baixo e 'Arbequina' quando foi cultivada num solo calião.

ABSTRACT

The objective of the present research was two-fold: 1) to establish possible differences in nitrogen use efficiency (NUE) of different olive tree varieties and 2) to study their possible interaction with soil type. These objectives can contribute to increase the efficiency of nitrogen fertilization and hence to the reduction of the environmental pollution with nitrates. A first study was developed to evaluate exclusively varietal differences. For this purpose, two experiments were set up with a completely randomized block design, a variable number of repetitions and two levels of nitrogen (0 and 100 ppm). The first experiment was implemented under shadehouse conditions and 9 varieties were used. The second experiment was conducted in a growth chamber with controlled environment and 7 varieties were tested. A second study was further set up to analyze the interaction between the varieties and soil type. For this purpose, two additional experiments were implemented, both with a factorial design and two levels of nitrogen (0 and 100 ppm). The factors considered were variety ('Picual', 'Arbequina', 'Frantoio' and 'Sikitita') and soil type (Fluvisol, Luvisol and Regosol). A soil composed of a mixture of peat and sand was used as a control. One of the experiments was conducted under shadehouse conditions with seven repetitions per treatment, while the other one was conducted in a growth chamber with controlled conditions with six repetitions per treatment. In the four experiments, pots in which no nitrogen was applied were used as control for each treatment and for the further calculation of the NUE. All other pots were weekly fertilized with urea applied in combination with irrigation. The results show the existence of varietal differences in the absorption and utilization efficiency, without both indicators being neither related with each other nor with the vegetative growth. 'Arbequina' and 'Koroneiki' were the varieties for which greater NUE were found, contrasting with 'Cobrançosa', 'Empeltre', 'Cornicabra', 'Picholine marocaine' and 'Lechín de Granada' which exhibit the lowest NUE. Interactions between soil type and variety in vegetative growth, nitrogen concentration and content and in the NUE were also reported. Finally, the variety 'Picual' was affected when cultivated in a soil with a low pH and 'Arbequina' when cultivated in a calcareous soil.

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	El olivar y el aceite de oliva: su importancia en el mundo y en la sociedad.....	7
2.1.1	Orígenes y expansión.....	7
2.1.2	Botánica y características del olivo.....	8
2.1.3	Composición y características del aceite.....	9
2.1.4	Importancia económica, ambiental y social	10
2.1.5	Perspectivas de futuro	12
2.2	Los suelos del olivar.....	15
2.2.1	Evaluación de las propiedades del suelo para el cultivo del olivo	15
2.2.1.1	Limitaciones físicas	15
2.2.1.2	Limitaciones químicas.....	17
2.2.1.3	Disponibilidad de nutrientes	18
2.2.2	Fluvisols.....	22
2.2.3	Regosols.....	23
2.2.4	Luvisols.....	24
2.3	Variedades de olivo.....	25
2.3.1	‘Arbequina’.....	27
2.3.2	‘Arbosana’.....	28
2.3.3	‘Coratina’	28
2.3.4	‘Cornicabra’	29
2.3.5	‘Cobrançosa’.....	29
2.3.6	‘Empeltre’	29
2.3.7	‘Farga’.....	30

2.3.8	‘Frantoio’	30
2.3.9	‘Koroneiki’	31
2.3.10	‘Lechín de Granada’	31
2.3.11	‘Manzanilla cacereña’	32
2.3.12	‘Manzanilla de Sevilla’	32
2.3.13	‘Picholine marocaine’	33
2.3.14	‘Picual’	33
2.3.15	‘Sikitita’	34
2.4	Fertilización del olivar	35
2.4.1	Principios de la fertilización	35
2.4.2	Bases de la fertilización en el olivar	37
2.4.3	Situación actual de la fertilización en olivar	40
2.4.4	La fertilización nitrogenada	42
2.4.4.1	El nitrógeno en el suelo	42
2.4.4.2	El nitrógeno en el olivo	47
2.4.4.3	El nitrógeno en la fertilización del olivar	50
2.4.5	Eficiencia en el uso del nitrógeno	52
3	MATERIALES Y MÉTODOS	57
3.1	Estudio de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno en variedades de olivo	58
3.1.1	Experimento 1	58
3.1.2	Experimento 2	59
3.1.3	Material vegetal	60
3.1.4	Sustrato	60
3.2	Estudio de la influencia de la variedad y del tipo de suelo en la EUN	61
3.2.1	Experimento 3	61

3.2.2	Experimento 4.....	61
3.2.3	Sustratos	62
3.3	Cultivo de plantas.....	65
3.4	Desarrollo de los experimentos.....	66
3.5	Medidas realizadas	67
3.5.1	Crecimiento vegetativo	67
3.5.2	Concentración de nitrógeno.....	67
3.5.2.1	Preparación de las muestras.....	67
3.5.2.2	Análisis de nitrógeno.....	67
3.5.3	Contenido de nitrógeno	68
3.5.4	Eficiencia en el uso del nitrógeno	68
3.6	Análisis estadístico.....	69
4	RESULTADOS	70
4.1	Estudio de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno en variedades de olivo	71
4.1.1	Crecimiento vegetativo	71
4.1.2	Concentración y contenido de nitrógeno	74
4.1.3	Eficiencia en el Uso del Nitrógeno	79
4.2	Estudio de la influencia de la variedad y del tipo de suelo en la EUN .	82
4.2.1	Crecimiento vegetativo	82
4.2.2	Concentración y contenido de nitrógeno	86
4.2.3	Eficiencia en el uso del nitrógeno	89
5	DISCUSIÓN.....	92
6	CONCLUSIONES.....	98
7	BIBLIOGRAFÍA.....	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación de los niveles de fósforo en el suelo.....	20
Tabla 2. Interpretación de los niveles de potasio, magnesio y calcio en el suelo (método del acetato amónico IN).	21
Tabla 3. Interpretación de los valores de Fe, Mn, Zn y Cu (método del DTPA).	21
Tabla 4. Características del suelo consideradas adecuadas para el olivo.	22
Tabla 5. Niveles críticos de nutrientes en el peso seco de hojas de olivo recogidas en julio.	38
Tabla 6. Características físicas y químicas del Regosol.	63
Tabla 7. Características físicas y químicas del Fluvisol.	63
Tabla 8. Características físicas y químicas del Luvisol.	64
Tabla 9. Concentración de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	75
Tabla 10. Concentración de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	75
Tabla 11. Contenido de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	77
Tabla 12. Contenido de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	78
Tabla 13. Índices de EUN en las diferentes variedades de olivo del experimento 1 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.....	79
Tabla 14. Índices de EUN en las diferentes variedades de olivo del experimento 2 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.....	80
Tabla 15. Crecimiento vegetativo acumulado de las plantas de olivo del experimento 3 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	85
Tabla 16. Concentración de nitrógeno presente en los distintos órganos de las plantas de olivo de los experimentos 3 y 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	86

Tabla 17. Contenido de nitrógeno presente en los distintos órganos de las plantas de olivo de los experimentos 3 y 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	87
Tabla 18. . Índices de EUN de las plantas de olivo de los diferentes tratamientos del experimento 3 y 4 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.....	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de aceite de oliva en 2008/2009. Fuente: COI (2011).	11
Figura 2. Evolución de la producción y consumo de aceite de oliva en el mundo. Fuente: COI (2011).	13
Figura 3. Distribución geográfica de las variedades de olivo dominantes en España. Fuente: Rallo <i>et al.</i> , 2005.	27
Figura 4. Ciclo del nitrógeno en el olivar. Fuente: Fernández-Escobar (2008b).	43
Figura 5. Umbráculo del Departamento de Agronomía de la UCO – Campus de Rabanales. Al lado izquierdo se encuentra el experimento 3 y al derecho el experimento 1.....	59
Figura 6. Cámara de crecimiento del Departamento de Agronomía de la UCO – Campus de Rabanales. En la imagen se encuentran algunas de las plantas del experimento 4.....	60
Figura 7. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	71
Figura 8. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	72
Figura 9. Crecimiento acumulado de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N. Letras diferentes en cada barra significan diferencias significativas para $P < 0.05$	73
Figura 10. Crecimiento acumulado de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N. Letras diferentes en cada barra significan diferencias significativas para $P < 0.05$	74
Figura 11. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 3 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	82
Figura 12. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.....	83

Figura 13. Interacción Suelo x Variedad en el crecimiento vegetativo acumulado de las plantas de olivo del experimento 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N..... 84

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El olivo, *Olea europaea* L., es una de las pocas especies de la familia botánica Oleacea con interés económico y la única aprovechada como frutal (Rapoport, 2008). El cultivo del olivo remonta a los años 4000-3000 a.C. y se cree que es originario de la región de Asia Menor. Desde ahí se difundió por toda la zona ribereña del Mar Mediterráneo, región donde se encuentra actualmente el 98% del olivar en el mundo. Debido a las buenas cualidades organolépticas y nutricionales del aceite de oliva, hoy en día podemos encontrar olivos en los cinco continentes. Esta expansión llevó a que el olivar dejase de ser un cultivo de tierras agotadas por el exceso de laboreo (Gouveia, 2002) y se trasladase a una gran diversidad de suelos. Hoy por hoy, en la cuenca mediterránea, el patrimonio olivarero se ubica principalmente en zonas de laderas y cerros de campiñas y sierras calcáreas, aunque cubre también importantes extensiones de terrazas y llanuras aluviales, así como de piedemontes y laderas de terrenos silíceos (Navarro y Parra, 2008). Plantado tradicionalmente en densidades muy bajas (70-100 olivos/ha), también la forma de plantación del olivar sufrió cambios con el paso del tiempo, plantándose desde los años 60 de forma intensiva (200-300 olivos/ha) y más recientemente de forma superintensiva (aproximadamente 2000 olivos/ha).

Una de las prácticas más frecuentes en agricultura y también en olivar, es la fertilización. La fertilización consiste en la aplicación de abonos al suelo o a la planta con el fin de nutrirla, entendiendo por abono aquella sustancia, natural o manufacturada, que suministra nutrientes a la planta. Pero esta definición generalista y tradicional de fertilización ha sufrido con los años varias puntualizaciones que es importante conocer para comprender mejor esta técnica. La primera es que la fertilización solo debe aparecer cuando el suelo no pueda satisfacer las necesidades nutritivas del cultivo. La segunda se basa en el hecho de que diferentes plantas tienen diferentes necesidades nutritivas. Basada en estos dos principios, en 1840 surge la teoría de Liebig, que dice que la fertilización de los cultivos se debe asentar en la restitución al suelo de los elementos extraídos por la cosecha. Casi cien años más tarde, en 1939, Arnon y Stout establecieron los criterios de esencialidad de los elementos minerales, descubriendo cuáles son los nutrientes imprescindibles para el normal crecimiento de las plantas. Unos años más tarde surge el concepto de

equilibrio de nutrientes (Shear et al., 1946) y más recientemente apareció el tercer principio de la fertilización actual, tener en cuenta la existencia de órganos de reserva y reciclado de nutrientes en las plantas.

Aunque las técnicas de fertilización hayan sufrido toda esta evolución a lo largo de la historia, en muchas regiones olivareras todavía se hace un abonado de restitución. Esta es una técnica preestablecida, a calendario fijo, en la que las costumbres y recomendaciones sin base técnica son frecuentes (Fernández-Escobar *et al.*, 2002). La ausencia de utilización de métodos de diagnóstico que sirvan de guía de la fertilización es otra de las características presentes en muchos olivares. Además, aspectos como (I) lo perjudicial que el exceso de abono puede ser para el cultivo y para el medio ambiente; (II) el aumento de los costes que supone la fertilización; (III) el consumo de lujo; (IV) la reutilización de los nutrientes por el árbol; (V) las reservas del árbol; (VI) el aporte de nutrientes por el agua de riego y de lluvia; (VII) la mineralización y (VIII) la dinámica en el complejo de cambio del suelo no son tenidos en cuenta por la mayoría de los olivareros (Fernández-Escobar, 2007; Fernández-Escobar, 2008a). Todo esto, junto a la intensificación del cultivo y al bajo coste que supone la fertilización en olivar, ha conducido a que generalmente sean aplicadas cantidades de fertilizantes superiores a las necesarias.

El nutriente más utilizado en la fertilización del olivar es el nitrógeno. Este hecho se debe al conocimiento generalizado de que el nitrógeno es el mayor componente nutritivo de las plantas y el que ellas requieren en mayores cantidades (Fernandez-Escobar, 2008b). Además, es el elemento al que el olivo responde más rápidamente y con mayor rentabilidad. Por estas razones y, como vimos antes, por la ausencia de una técnica de fertilización razonable, las cantidades de nitrógeno aplicadas en olivar suelen ser excesivas. Este excesivo aporte de nitrógeno provoca numerosos efectos negativos sobre el cultivo: (I) mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades; (II) menor tolerancia al frío; (III) disminución significativa de la calidad del aceite (Fernández-Escobar *et al.*, 2006); (IV) disminución de la calidad de la flor (Fernández-Escobar *et al.*, 2006); (V) Retraso en la maduración (Frade, 2011); (VI) reducción de la relación pulpa/hueso (Frade, 2011; Fernández-Escobar *et al.*, 2009); (VII)

reducción del tamaño del fruto (Molina-Soria, 2005). Pero no solo el cultivo se ve afectado por la excesiva fertilización nitrogenada, también el medio ambiente y los costes de producción se perjudican considerablemente con esta situación. Si al generalizado exceso de aplicación de nitrógeno añadimos la inadecuada forma de aplicación llevada a cabo por muchos olivereros, intensificamos aún más todos estos problemas y nos damos cuenta de la enorme importancia que hay actualmente en reducir las pérdidas de nitrógeno en olivar.

Toda esta temática nos lleva al concepto de Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN). Por definición y desde el punto de vista agronómico, la EUN es la cantidad de nitrógeno absorbida por la planta con respecto a la cantidad aplicada como fertilizante. Su valor fluctúa entre el 25 y el 50%, alcanzando en los cultivos leñosos los valores más bajos, lo que indica que la mayoría del nitrógeno aplicado como abono se pierde (Fernández-Escobar, 2008b). Este concepto ha ganado importancia en la actualidad pues permite conocer la fracción del nitrógeno aplicado como fertilizante que no es absorbido por la planta y que puede contribuir a la contaminación de aguas y suelos agrícolas y al aumento de los costes de producción. Todos aquellos factores que afectan a los procesos de absorción, al ciclo interno del nitrógeno y a su disponibilidad en el suelo influyen, inevitablemente, en la EUN. En olivar se ha demostrado que factores como (I) el estado nutritivo del árbol; (II) la vecería; (III) la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo; (IV) el fraccionamiento de la aplicación y (V) la época de abonado (Fernández-Escobar, 2008b), afectan considerablemente la EUN.

Optimizar la fertilización es algo fundamental para adaptarnos a la situación económica, productiva y medioambiental del cultivo del olivo en la actualidad. Para alcanzar este objetivo hay que intentar reducir al mínimo posible las pérdidas de nitrógeno aplicado en la fertilización, lo cual se consigue determinando nuevos factores que afecten a la EUN. De esta manera y siguiendo la información aportada por estudios anteriores, se pretende con este trabajo avanzar en el conocimiento de los factores que afectan a la EUN en el olivar. La gran diferencia varietal existente en el olivo y la extensa

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

diversidad de suelos donde se cultiva, llevó a que el presente trabajo haya perseguido los siguientes objetivos concretos:

1. Analizar el efecto de la variedad sobre la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno para establecer si existen diferencias varietales.
2. Estudiar conjuntamente el efecto del suelo y de la variedad en la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno.

Con estos conocimientos se pretende que en el futuro, también los factores variedad y suelo sean introducidos en el plan de fertilización para lograr optimizar la fertilización nitrogenada en el olivar.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El olivar y el aceite de oliva: su importancia en el mundo y en la sociedad

2.1.1 Orígenes y expansión

El origen del olivo (*Olea europea* L.) no está determinado con exactitud, existiendo diferentes teorías defendidas por varios autores. Según Civantos (2008a), el olivo es originario de una región geográfica que ocupa desde el sur del Cáucaso hasta las altiplanicies de Irán, Palestina y la zona costera de Siria. Sus orígenes como cultivo remontan a unos 4000-3000 años antes de Cristo en la zona de Palestina (Rapoport, 2008). Desde ahí se extendió por Chipre hacia Anatolia, y a través de Creta hacia Egipto, hasta poblar todos los países ribereños del Mediterráneo (Civantos, 2008a). A partir del siglo XV, con los viajes de Colón, Magallanes y Juan Sebastián Elcano el árbol pasó al Nuevo Mundo. En América su cultivo empezó en Arauco, una pequeña ciudad de la Rioja Argentina, extendiéndose de forma gradual a otros países como Perú, Chile, Méjico y Estados Unidos. Actualmente se cultiva también en Sudáfrica, China, Japón y Australia.

El primer contacto entre el Hombre y el aceite de oliva fue entre los años 6000 y 4000 a. C. a través del consumo del fruto, bien conservado en agusal, mediante desecación o de forma directa. En uno de los momentos de desecación de la aceituna mediante fuego, y gracias a la casualidad, se produce la ruptura de algunos de los frutos con lo cual, se genera un avivado de la llama por aportación de aceite a la misma. Se descubría el aceite de oliva. Y esta fue la primera utilización del aceite de oliva, como combustible. Debido a su manipulación y a través de la entrada en contacto de las manos con el mismo se observan sus beneficios dérmicos, surgiendo la segunda utilización del aceite de oliva, una grasa protectora. Más tarde, con la mejora de los métodos de extracción, se obtiene un aceite de oliva de mayor calidad organoléptica y, por lo tanto, directamente consumible. Surgía la tercera y,

actualmente, más importante utilización del aceite de oliva, como alimento (Vilar-Hernandez y Velasco-Gámez, 2009).

2.1.2 Botánica y características del olivo

El olivo, *Olea europea* L., es una planta leñosa que pertenece a la familia Oleaceae. Es la única especie de esta familia que posee fruto comestible, la aceituna. Incluida en la especie *Olea europea* L. están todos los olivos cultivados y también los acebuches u olivos silvestres. Hay diferencia de opinión sobre cómo subclasificar dentro de la especie, pero generalmente se considera que los olivos cultivados pertenecen a la subespecie *sativa* y los olivos silvestres (acebuches) a la subespecie *sylvestris* (Rapoport, 2008).

El olivo cultivado es un árbol de tamaño mediano, de unos cuatro a ocho metros de altura, según la variedad. Puede permanecer vivo y productivo durante cientos de años. El tronco es grueso y la corteza de color gris a verde grisáceo. La copa es redonda, aunque más o menos lobulada; la ramificación natural tiende a producir una copa bastante densa, pero las diversas prácticas de poda sirven para aclararla y permitir la penetración de la luz. Características del árbol como la densidad de la copa, el porte, el color de la madera y la longitud de los entrenudos varían según el cultivar. También la forma del árbol es influida en gran medida por las condiciones agronómicas y ambientales de su crecimiento y, en particular, por el tipo de poda; en este sentido, el olivo demuestra una gran plasticidad morfológica (Rapoport, 2008).

La aceituna, el fruto del olivo, es una pequeña drupa de forma elipsoidal a globosa. En madurez es negra, negro-violácea o rojiza. Se trata de un fruto con una sola semilla compuesto por tres tejidos principales: endocarpo, mesocarpo y exocarpo. El endocarpo es el hueso, el mesocarpo la pulpa o carne, y el exocarpo la piel o capa exterior (Rapoport, 2008). El almacenamiento del aceite ocurre en las vacuolas de las células parenquimáticas del mesocarpo (King, 1938). Según Civantos (2008b), desde el punto de vista de la elaboración del aceite, la composición del fruto en el momento de la recolección es la siguiente:

- Agua de vegetación – 40 a 55%
- Aceite – 18 a 32%
- Hueso – 14 a 22%
- Almendra o semilla – 1 a 3%
- Epicarpo y resto de pulpa – 8 a 10%

Respecto al clima, el hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° y 45°, tanto en el hemisferio norte como en el sur, en regiones climáticas del tipo Mediterráneo (Civantos, 2008a). Las zonas de mayor difusión del olivo se caracterizan por inviernos suaves, con temperaturas mínimas no inferiores a -7°C, y veranos secos y con altas temperaturas. En las regiones cálidas es preciso satisfacer las exigencias de frío del cultivo, necesitándose, como mínimo, un mes con temperaturas medias inferiores a 11-12°C. Las precipitaciones han de ser superiores a 400 mm. La distribución debe de ser tal que no haya periodos de sequía superiores a 30-45 días ni encharcamientos prolongados (Tombesi y Tombesi, 2007).

2.1.3 Composición y características del aceite

El aceite de oliva es la grasa líquida a la temperatura de 20°C directamente obtenida del fruto del olivo (*Olea europea* L.). Cuando se obtiene por sistemas de elaboración adecuados y procede de frutos frescos, de buena calidad, sin defectos ni alteraciones, y con la adecuada madurez, el aceite posee excepcionales características organolépticas. Es prácticamente el único entre los aceites vegetales que puede consumirse crudo, conservando íntegra su composición en ácidos grasos y el contenido en compuestos menores (Alba, 2008).

Aunque su importancia frente a los demás aceites vegetales es muy baja, representando tan solo un 2.1% del total de la producción mundial de aceites y grasas (Alba, 2008), su producción se ha incrementado bastante en los últimos años. Este aumento de la producción es consecuencia del aumento de la demanda del aceite de oliva debido a sus reconocidos efectos

beneficiosos sobre la salud. Su excepcional composición lo han tornado en una grasa considerada “saludable”.

En términos químicos, la composición del aceite de oliva se puede dividir en dos grandes grupos: 1) Componentes mayores (saponificables), que representa entre el 98.5% y el 99.5% del peso total y está formada mayoritariamente por triglicéridos. 2) Componentes menores, que representa entre el 1.5% y el 0.5% del peso del aceite de oliva y está formada por una gran cantidad de componentes muy importantes para el comportamiento de los aceites, como por ejemplo los tocoferoles, los fenoles y los componentes aromáticos (Civantos, 2008b).

2.1.4 Importancia económica, ambiental y social

El patrimonio oleícola existente se estima en aproximadamente 1.000 millones de olivos, ocupando una superficie aproximada de 10 millones de hectáreas. La producción del olivar alcanza una media anual de cerca de 16 millones de toneladas de aceituna, de las que el 90% se destinan a la obtención de aceite y el 10% se consumen elaboradas como aceituna de mesa (Civantos, 2008a).

El 98% del patrimonio oleícola se ubica en la cuenca del Mediterráneo, donde ocupa alrededor de 9.3 millones de hectáreas (Rallo y Muñoz, 2010) y del cual proviene más del 94% de la producción mundial de aceite de oliva. Los principales países productores son, por orden decreciente: España, Italia, Grecia, Túnez, Turquía, Siria, Marruecos, Argelia, Portugal y Jordania (Figura 1).

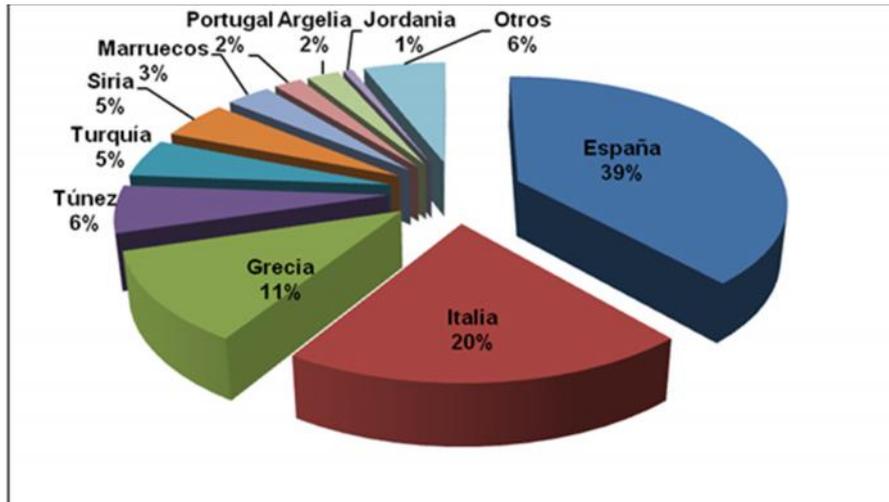


Figura 1. Principales países productores de aceite de oliva en 2008/2009. Fuente: COI (2011).

De los 2.8 millones de toneladas de aceite que se producen anualmente en el mundo, la Unión Europea es la primera productora, con un 76% de la producción. Respecto al consumo también la Unión Europea es la principal consumidora, con un consumo del 70% de la producción mundial. Con una cuota de mercado del 58% de exportaciones y del 25% de las importaciones, también en lo que respecta al comercio internacional es la Unión Europea la más importante del mundo (Rallo y Muñoz, 2010).

En España, el cultivo del olivo ocupa el 5% de la superficie del país. Lo mismo es decir que el 14% de la superficie cultivable y el 51% del área dedicada a cultivos leñosos están ocupadas por olivar. Es, sin duda, un cultivo vertebrador de la sociedad española, ya que es explotado mayoritariamente en régimen de propiedad (90%), oferta empleo a 46 millones de jornales anuales y es la principal actividad económica en muchas comarcas. Además, es un sector con un gran impacto económico en España ya que representa el 9% del conjunto de la producción vegetal (media entre el año de 2002 y el de 2008), alcanzando un valor de 25 millones de euros, y añade valor a las tierras, llegando a multiplicarse por 2.2 el precio por hectárea de una finca de olivar respecto a la media nacional (Gomez y Barranco, 2009).

2.1.5 Perspectivas de futuro

La olivicultura es un sector en constante desarrollo, que ha sufrido numerosos cambios a lo largo de la historia y que se sigue modernizando y adaptando a los tiempos actuales. En los años 60, con la introducción de las plantaciones intensivas, el olivar sufría el primer gran cambio hacia la moderna olivicultura. Más tarde, en los años 80, surgió el riego convirtiendo el olivar en un cultivo más productivo. Paralelamente el área del cultivo a nivel mundial siguió creciendo, suponiendo un aumento de entre 150.000 a 300.000 hectáreas por campaña (Vilar-Hernández y Velasco-Gámez, 2009). Y, por último, se introdujo el sistema de plantación en seto, mucho más productivo, con una entrada en producción más precoz y completamente mecanizable.

Todos estos cambios llevaron a un espectacular aumento de la producción a nivel global. En los últimos diez años las producciones mundiales de aceite de oliva han aumentado casi el 50% y las de aceituna de mesa un 75%. Pero el consumo ha respondido también adecuadamente subiendo el 43% en aceite de oliva y el 67% en aceituna de mesa (Civantos, 2008a). Los importantes incrementos del consumo de los países no productores y los demostrados efectos beneficiosos del aceite de oliva sobre la salud, son los principales motores del aumento creciente de la producción y del consumo que se verifica desde el año 1993 (Figura 2), fecha desde la cual el consumo se incrementa a un promedio de 45.500 toneladas al año (Rallo y Muñoz, 2010).

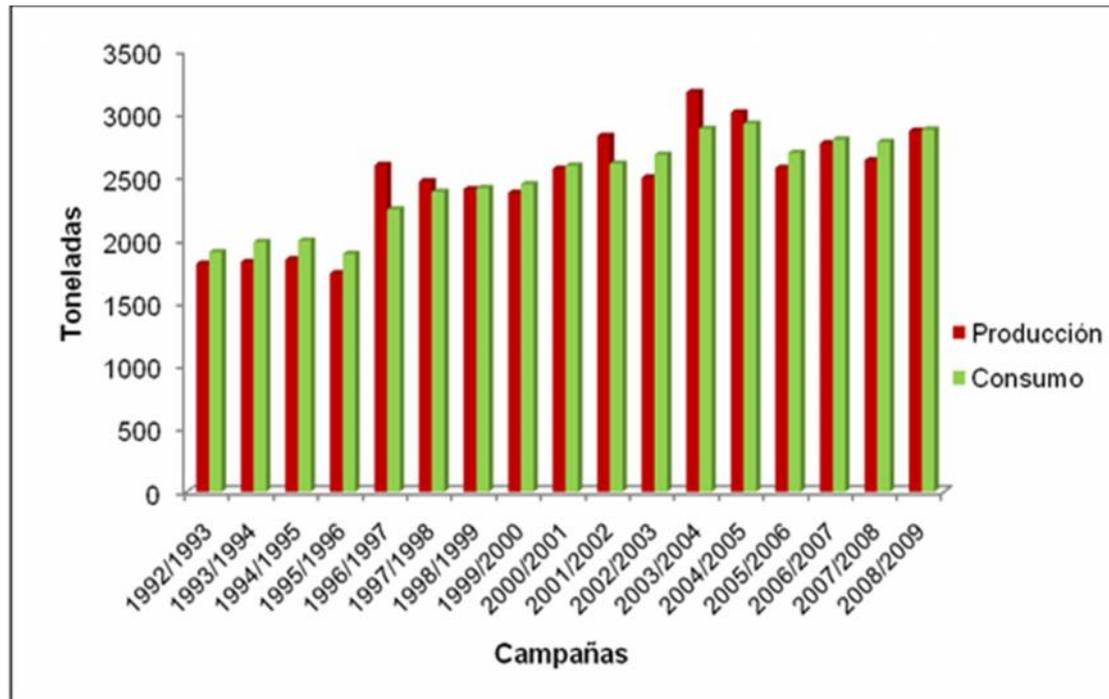


Figura 2. Evolución de la producción y consumo de aceite de oliva en el mundo. Fuente: COI (2011).

Pero esta evolución del sector también trajo cierta incertidumbre para los productores. Por un lado, temen el espectacular aumento de las producciones, lo cual, unido a la cada vez más concentrada distribución, está conduciendo a una bajada de los precios. La bajada de los precios, en conjunto con las cada vez más reducidas ayudas comunitarias, está llevando a que gran parte del olivar tradicional deje de ser económicamente rentable. Por otro lado la producción de aceite cada vez mayor en países sin tradición olivarera, donde la situación socioeconómica es distinta a la de Europa, también preocupa bastante a los agricultores, ya que les resulta imposible competir con esos mercados. Y, por último, la actual crisis económica internacional ha conducido a una reducción del poder de compra, lo cual hace temer a los productores por un desplazamiento del consumo de aceite de oliva hacia otros aceites vegetales más baratos y con el mismo uso.

Para hacer frente a toda esta incertidumbre presente en el sector la única solución es bajar los costes de producción y subir los precios del aceite. Para bajar los costes de producción el camino a seguir es el de la modernización de la producción, a través de la intensificación, del riego, de la

mecanización y de la investigación. Para aumentar los precios del aceite, la concentración de la producción por medio del cooperativismo parece ser la opción más viable, para que así se pueda ganar poder de negociación frente a una distribución cada vez más concentrada. El gran problema parece estar en el olivar tradicional no mecanizable, que representa el 24% del olivar de España (Cubero y Penco, 2012), ya que no es posible la modernización. En este caso, la única solución es la búsqueda de la valorización del ecosistema, enfocándose en los nichos de mercado, como por ejemplo el aceite ecológico, o en el turismo rural.

2.2 Los suelos del olivar

2.2.1 Evaluación de las propiedades del suelo para el cultivo del olivo

En su amplia área de distribución, el cultivo del olivo ocupa una vasta diversidad de suelos. En la cuenca mediterránea se extiende principalmente por laderas y cerros de campiña y sierras calcáreas, aunque cubre también importantes extensiones de terrazas y llanuras aluviales, así como piedemontes y laderas de terrenos silíceos (Navarro y Parra, 2008). Por esta razón, se considera el olivo un árbol con una gran plasticidad respecto al tipo de suelo donde puede ser cultivado. Aun así, a la hora de hacer una nueva plantación, conviene elegir zonas con el menor número posible de factores limitantes y en las que el olivo pueda resultar competitivo en términos de gestión y producción (Tombesi y Tombesi, 2007). A continuación se hace una breve descripción de las principales limitaciones que pueden presentar los suelos al cultivo el olivo.

2.2.1.1 Limitaciones físicas

La calidad agrícola de muchos suelos olivareros está más frecuentemente limitada por las características físicas que por las características químicas de los mismos. Las principales características físicas del suelo que afectan al desarrollo de las raíces y al crecimiento de los árboles son la textura, las condiciones de aireación, la profundidad efectiva y la erosionabilidad.

Respecto a la textura, los suelos más aptos para el olivar son aquellos en los que existe un equilibrio entre arena, limo y arcilla, es decir, los suelos de texturas francas. En secano son preferibles suelos de texturas algo más finas, ya que estos poseen mayor capacidad de retención de agua. En regadío, siempre que haya una fertilización de acuerdo con la escasez de nutrientes que el suelo pueda tener, son preferibles suelos más arenosos, debido a sus

buenas condiciones de aireación y a su facilidad de laboreo. Se deben evitar perfiles texturales muy contrastados, especialmente si los horizontes subsuperficiales son del tipo Bt, dado que estos horizontes normalmente están mal aireados y el olivo es muy sensible a la asfixia radical.

Otra de las características físicas de los suelos que hay que tener en cuenta son sus condiciones de aireación ya que como se dijo anteriormente el olivo es muy sensible a la asfixia radical. La falta de aireación va normalmente asociada al encharcamiento del suelo que, a su vez, suele estar relacionado con terrenos donde se concentra el agua de escorrentía o con horizontes subsuperficiales de baja permeabilidad. En estas condiciones, los microorganismos del suelo rápidamente consumen el oxígeno presente en el aire confinado, bajando las concentraciones de este gas a valores extremos. Esta situación lleva a que las raíces de las plantas no puedan absorber oxígeno, pudiendo ocurrir asfixia o hipoxia radical. La resistencia del olivo al encharcamiento generalmente es baja, pero es más baja aún en variedades que tienen baja capacidad de producir raíces adventicias, en olivos jóvenes y cuando el árbol se encuentra en fase de crecimiento activo.

La profundidad efectiva es otra de las características físicas del suelo que puede causar limitaciones a los cultivos. Los olivos son árboles cuyas raíces activas tienden a situarse no lejos de la superficie del suelo, normalmente a menos de un metro de profundidad. Por tanto, la profundidad efectiva del suelo no suele limitar el crecimiento de los árboles cuando sobrepasa dicho valor. En cambio, resulta determinante en suelos menos profundos. En suelos de olivar, esta puede estar limitada por varias causas: (1) presencia de un sustrato rocoso continuo, coherente y duro (horizonte R); (2) presencia de capas subsuperficiales cementadas por CO_3Ca ; (3) presencia de capas subsuperficiales arcillosas mal aireadas; (4) presencia de una capa freática verdadera.

Por último, la erosionabilidad es otra de las grandes limitaciones físicas del suelo para el olivar. La erosión conduce a una pérdida de fertilidad del suelo, ya que los materiales que se erosionan con más facilidad son las partículas finas y ricas en nutrientes. Por otra parte, cuando la erosión es

severa, las raíces del olivo se quedan al descubierto y se forman cárcavas que desecan el terreno y dificultan las labores. La fuerte pendiente del terreno, la escasez de materia orgánica en el suelo, las prácticas agrícolas tradicionales y la ausencia casi generalizada de medidas protectoras contra la erosión, son los principales factores que han hecho que la erosión del suelo sea un problema sumamente grave en buena parte del olivar del área mediterránea.

2.2.1.2 Limitaciones químicas

Las características químicas del suelo que deben ser consideradas antes de abordar una plantación de olivar son el pH, la salinidad y la presencia de altas concentraciones de caliza. En plantaciones de regadío hay que señalar la importancia de la calidad del agua de riego utilizada, ya que esta puede afectar profundamente a las características químicas del suelo.

De esta forma, respecto al pH, el olivo vegeta bien en suelos que van de moderadamente ácidos a moderadamente básicos. El intervalo de pH para el cultivo del olivo va del 5,5 al 8,5. En condiciones de pH más ácidos pueden ocurrir problemas relacionados con la toxicidad de los árboles al exceso de aluminio y magnesio, situación inusual en la generalidad de los suelos de olivar. En condiciones de pH más básicas, los suelos pueden presentar mala condición estructural y toxicidad por sodio. En muchos suelos de olivar la basicidad se debe al carbonato de calcio, condiciones en las cuales el olivo se suele comportar bien, salvo en aquellos casos donde haya deficiencia de hierro.

Aunque el olivo es de los frutales más resistentes al exceso de sales, si estas son muy elevadas, pueden constituir una limitación al cultivo porque dificultan la absorción de agua del suelo. Los orígenes de esta salinidad son el material originario del suelo o, en el caso de olivar de regadío, el agua de riego. Un suelo se considera salino si la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CE_{es}) es superior a 4 dS/m. La producción del olivo se ve afectada en un 10% para valores de $CE_{es} = 4$ dS/m, en un 25% para valores de $CE_{es} = 5$ dS/m y en un 50% para valores de $CE_{es} = 8$ dS/m.

La sodicidad del suelo corresponde a la proporción de sodio en relación al calcio y al magnesio, considerándose que un suelo es sódico si el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es superior a 15%, aunque este valor depende de la textura del suelo. Cuando esto ocurre pueden surgir dos tipos de problemas: (1) las partículas de arcilla se encuentran en estado disperso, lo que hace que la condición física del suelo sea muy desfavorable; (2) la excesiva proporción de sodio en la disolución del suelo produce desequilibrios nutritivos y/o efectos tóxicos sobre las plantas. Según Freeman y Carlson (1994), el crecimiento y la producción del olivo se ve afectada en un 25% para valores de PSI entre 20 y 40%.

Respecto a la toxicidad por boro y cloro, también el olivo se presenta más tolerante que la mayoría de los frutales, verificándose solamente una reducción del crecimiento del orden del 10% cuando el suelo tiene valores de cloruros de 10-15 mmoles/L o de 2 ppm de boro. En secano son escasos los suelos afectados por el exceso de cloruros siendo el exceso de boro más frecuente debido a las aplicaciones excesivas del elemento para corregir posibles situaciones de carencias. En regadío, cuando se presentan estos tipos de toxicidades, casi siempre están asociadas al uso de aguas de riego con altas concentraciones de dichos iones.

Por último, pero no menos importante, la presencia de elevadas concentraciones de caliza en el suelo también puede ser un factor limitante de la producción. Esta situación conduce a un bloqueo del hierro, debido a la presencia del ión bicarbonato, lo cual puede llevar a la aparición de clorosis férrica. También en este tipo de suelos son comunes las deficiencias de boro, especialmente asociados a condiciones de sequía y a pH elevado. En estas condiciones la disponibilidad de boro para las plantas disminuye (Fernández-Escobar, 2008b).

2.2.1.3 Disponibilidad de nutrientes

La disponibilidad de nutrientes en el suelo no constituye, en general, un factor limitante para la plantación, puesto que en la mayoría de los casos los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento se pueden aportar

fácilmente mediante el abonado. Por ello, y a efectos de planificar la plantación, importa menos conocer la fertilidad del suelo que las posibles limitaciones físicas y químicas de éste.

Aún así, es recomendable hacer un análisis de suelo antes de la plantación y cada cuatro o cinco años. Con esta herramienta podemos conocer la fertilidad del suelo y prever la forma en la que puede ir evolucionando la disponibilidad de los distintos nutrientes. El olivo, al ser una planta perenne, posee órganos de reserva que le confieren cierta independencia del suelo en lo que se refiere a satisfacer sus necesidades nutritivas inmediatas. Por eso, el plan de fertilización debe estar basado en otra herramienta, el análisis foliar y no en el análisis de suelo, una vez que el primero resulta más útil en el conocimiento de las necesidades nutritivas inmediatas.

El nitrógeno es un elemento muy móvil y experimenta en el suelo numerosas transformaciones y procesos que afectan extremadamente a su disponibilidad para las plantas. Muchos de estos procesos dependen de la climatología de cada año y están fuera del control del agricultor, por lo que es difícil evaluar el nitrógeno del suelo que puede ponerse a disposición del cultivo cada año, así como la cantidad complementaria que habría que aportar como abono. Por todo ello, no está bien establecido el uso del análisis del suelo para diagnosticar la disponibilidad de nitrógeno del suelo para los cultivos en general, o para el olivo en particular.

Respecto al fósforo el análisis del suelo nos aporta información más útil, ya que este es menos móvil y sus concentraciones no dependen tanto de la climatología. Así, en la tabla 1 se recogen dos posibles escalas de interpretación del nivel del fósforo disponible para un amplio conjunto de cultivos, mayoritariamente anuales.

Es muy posible que los niveles críticos de fósforo para el olivo sean menores que los presentados anteriormente, dado que, en muchas experiencias de fertilización, se ha comprobado que, en el mismo suelo, el olivo no responde a la aplicación de fósforo cuando sí lo hacen muchos de los cultivos anuales (Freeman y Carlson, 1994).

Tabla 1. Interpretación de los niveles de fósforo en el suelo.

Apreciación del estado de fertilidad	Nivel de fósforo (Olsen) (ppm)	Nivel de fósforo (Bray-kurtz) (ppm)
Muy alto	> 25	> 30
Alto	18-25	20-30
Medio	10-17	7-20
Bajo	5-9	3-7
Muy bajo	< 5	< 3

Fuente: Adaptado de FAO (1984) y de Gros y Dominguez-Vivancos (1992)

Igual que el fósforo, también el análisis del contenido en potasio, calcio y magnesio presente en el suelo nos puede dar información útil acerca de la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas. De esta forma, en la tabla 2 se recogen las escalas de interpretación de los análisis de estos tres elementos según FAO (1984).

En el caso del potasio, el análisis de suelo es particularmente importante ya que, su bajo contenido en el suelo normalmente conduce a deficiencias en el cultivo. Además, su disponibilidad para el olivo baja cuando la humedad del suelo es reducida y con las interacciones con el calcio y magnesio. Todo esto aliado a la dificultad que supone corregir las deficiencias de potasio mediante abonado ya que, los árboles deficientes en este elemento y en estrés hídrico lo absorben en menores cantidades, lleva a que este sea el principal problema nutritivo del olivar, principalmente en secano (Fernández-Escobar, 2008b).

Por último, también el hierro, el manganeso, el cobre y el cinc son contemplados en los análisis de suelo. Aunque estos elementos nunca faltan en el suelo, pueden plantearse problemas de carencias cuando se bloquean por condiciones de pH, adsorción por las partículas de caliza o interacción con otros elementos. En la tabla 3 se dan a conocer algunos niveles críticos para estos elementos.

Tabla 2. Interpretación de los niveles de potasio, magnesio y calcio en el suelo (método del acetato amónico IN).

Textura	CIC	Apreciación del estado de fertilidad	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
Gruesa	Baja	Muy alto	>100	>60	>800
		Alto	60-100	25-60	500-800
		Medio	30-60	10-25	200-500
		Bajo	15-30	5-10	100-200
		Muy bajo	<15	<5	<100
Media	Media	Muy alto	>300	>180	>2400
		Alto	175-300	80-180	60-2400
		Medio	100-175	40-80	100-1600
		Bajo	50-100	20-40	500-1000
		Muy bajo	<50	<20	<500
Fina	Alta	Muy alto	>500	>300	>4000
		Alto	300-500	120-300	3000-4000
		Medio	150-300	60-120	2000-3000
		Bajo	75-150	30-60	1000-2000
		Muy bajo	<75	<30	<1000

Fuente. FAO (1984)

Tabla 3. Interpretación de los valores de Fe, Mn, Zn y Cu (método del DTPA).

Apreciación del estado de fertilidad	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Riesgo de toxicidad	>150	>80	-	-
Contenido satisfactorio	20-150	8-80	>1,8	
Riesgo medio-bajo de deficiencia	10-20	4-8	0,7-1,8	
Riesgo elevado de deficiencia	<10	<4	<0,7	0,2-0,8

Fuente: Adaptado de Loué (1988)

A modo de resumen de todo lo expuesto anteriormente, Tombesi y Tombesi (2007) elaboraron un cuadro resumen de las principales características de los suelos más favorables al cultivo del olivo (Tabla 4).

Tabla 4. Características del suelo consideradas adecuadas para el olivo.

Textura	Arena	20-75%
	Limo	5-35%
	Arcilla	5-35%
Estructura	Glomerular	
Retención de agua	30-60% (Lambe)	
Permeabilidad	10-100 mm/h	
pH	7-8	
Materia orgánica	>1%	
Nitrógeno	>0,10%	
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	5-35 ppm	
Potasio intercambiable (K ₂ O)	50-150 ppm	
Calcio intercambiable (CaCO ₃)	1650-5000 ppm	
Magnesio intercambiable	10-200 ppm	

Fuente: Tombesi y Tombesi en *Técnicas de producción en olivicultura* (2007)

En este trabajo se han usado tres suelos naturales, cogidos en Andalucía, que representan tres familias de suelos típicamente olivareros y que están ampliamente representados en Andalucía y en la cuenca del Mediterráneo. A continuación se hace una breve descripción de cada una de las familias.

2.2.2 Fluvisols

Su nombre deriva de la palabra latina *fluvius* = río (FitzPatrick, 1985) y son suelos aluviales, que dentro de los 25 cm desde la superficie y por lo menos hasta los 50 cm de profundidad están constituidos por un sedimento que muestra estratificación (material flúvico). Tienen perfil AC de escaso

desarrollo donde los horizontes se diferencian fundamentalmente por cambios texturales de los distintos aportes recientes de materiales que se van depositando por capas horizontales superpuestas (Paneque *et al.*, 2005).

Estos suelos se encuentran en mayor o menor extensión en la mayoría de las áreas tropicales adyacentes al mar. En el sureste de Asia hay grandes áreas de ellos, particularmente en Vietnam, Tailandia, Indonesia, Sumatra y Borneo. También se presentan en Pakistán Oriental así como en África Oriental y Occidental. En el Nuevo Mundo han sido reportados en Surinam y es indudable que se les encuentra en otras partes. También se localizan en zonas templadas como Holanda, en donde primero se les clasificó y estudió intensivamente (FitzPatrick, 1985).

En Andalucía ocupan una extensión total de unas 480.000 ha (cerca del 5% del territorio), siendo los subtipos más abundantes los fluvisols calcáreos, seguidos de los fluvisoles éutricos. En esta región de España, los fluvisols calcáreos constituyen extensas vegas altamente productivas, dedicadas preferentemente a regadíos (Paneque *et al.*, 2005).

2.2.3 Regosols

Su nombre deriva de la palabra griega *rhegos* = cobija, manta (FitzPatrick, 1985) y son suelos minerales sobre materiales no consolidados (excepto los flúvicos) de textura media, bien drenados, de perfil escasamente diferenciado, en los que solo puede apreciarse una mínima expresión de horizontes de diagnóstico, excepto las características de un horizonte A ócrico o las propiedades de una superficie yérmica. Constituyen un grupo de suelos cuyas principales características lo son por exclusión (Paneque *et al.*, 2005).

Tienen una amplia gama de texturas y ocurren en todas las zonas climatológicas y, por tanto, constituyen la etapa inicial de formación de un gran número de suelos, principalmente Podzols, Luvisols, Cambisols, Chernozems, Castanosems, Xerosols y Yermosols. El horizonte A ócrico se forma con

rapidez, pero con frecuencia es una fase transicional a un horizonte A mólico o úmbrico (FitzPatrick, 1985).

Dadas las características geomorfológicas, climáticas, de vegetación y usos del territorio andaluz (en el que los procesos de erosión y sedimentación son frecuentes), los regosols representan un grupo importante, siendo en muchos casos las etapas iniciales de los suelos más evolucionados o el resultado de la degradación de éstos por erosión hídrica. Así, la superficie por ellos ocupada alcanza una extensión de más de 1.700.000 ha, aproximadamente un 20% del territorio andaluz, siendo los regosols calcáreos los más frecuentes (Paneque *et al*, 2005).

2.2.4 Luvisols

Su nombre deriva de la palabra latina *luo* = lavar (FitzPatrick, 1985) y son suelos que tienen un horizonte B árgico normalmente subsuperficial con un grado de saturación en bases del 50% o más y con una capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) al menos de 24 cmol (c)/ Kg de arcilla. Tienen un perfil de tipo ABtC o ABtR, con un horizonte árgico (horizonte Bt) de color pardo, pardo rojizo o rojo, textura de arcillosa a franco arcillosa y reacción ligeramente ácida, neutra o ligeramente alcalina. Son de profundidad variable según su situación topográfica en los terrenos en que se encuentran, según la naturaleza geológica de éstos, la vegetación que sustentan, y los manejos y usos utilizados (Paneque *et al*, 2005).

Es una familia de suelos con una distribución amplia, encontrándose más especialmente en la parte centro-oeste de la URSS, centro-este y centro-norte de E.E.U.U., la faja central de Europa, sur de Australia y en otras partes (FitzPatrick, 1985). En el territorio andaluz, estos suelos ocupan una extensión total de aproximadamente 1.100.000 ha, que equivale al 12,6% del territorio (Paneque *et al*, 2005).

2.3 Variedades de olivo

Es muy probable que el hombre haya tratado de mimetizar en árboles frutales lo que había aprendido sobre la siembra y el cultivo de las plantas anuales, es decir, el “know how” de la época. Dos dificultades obvias debieron aparecer. La primera relacionada con el largo ciclo generacional de los árboles frutales cuando se reproducen por semilla, en olivo 10-15 años después de la siembra. La segunda, el origen aloploiploide del olivo generaría poblaciones con genotipos muy heterocigóticos y, por consiguiente, las descendencias segregarían una gran diversidad de tipos para la mayoría de los caracteres (Rallo *et al.*, 2005).

En este proceso parece ser que los primeros olivicultores de cada zona seleccionaron en sus bosques de acebuches los individuos más sobresalientes por su productividad, tamaño del fruto, oleosidad y adaptación al medio (Barranco, 2008). Es probable que el hombre agricultor intentara y repitiera numerosos ciclos de siembra y selección con resultados poco satisfactorios al no conseguir fijar totalmente los caracteres que le interesaban. No obstante, durante este dilatado período debió producirse algún avance en la selección, originándose posiblemente poblaciones primitivamente cultivadas que se diferenciarían progresivamente de las silvestres (Rallo *et al.*, 2005).

Mientras tanto, el hombre aprendió a multiplicar vegetativamente las plantas, había aprendido a fijar caracteres de interés en las descendencias (clones) de los genotipos elegidos. A partir de este momento la selección y el cultivo se aceleran recíprocamente (Rallo *et al.*, 2005). La propagación vegetativa ha mantenido las características de esos cultivares inicialmente seleccionados que constituyeron las primeras variedades (Barranco, 2008).

La reiteración de este procedimiento: difusión de cultivares-hibridación-selección de descendencia-clonación ha originado una gran diversidad de cultivares autóctonos, productos del azar, en todas las zonas oleícolas del mundo (Barranco, 2008). La repetición del ciclo de selección en el Mundo Mediterráneo y, tras el descubrimiento de América, posiblemente en el Nuevo

Mundo, ha originado una gran diversidad de cultivares, cuyo número se estima en más de 2000 (Lavee, 1994). Dos sucesivas revisiones (Bartolini *et al.*, 1994 y 1998) documentan la existencia de 1200 variedades autóctonas con más de 3000 denominaciones. Una base de datos elaborada por FAO en base a las anteriores revisiones disponibles en Internet (<http://www.fao.org/scripts/olivo/query/olcoll2.idc>) documenta la existencia de 79 colecciones en 24 países con 3276 entradas (Rallo *et al.*, 2005).

En España, a través de los trabajos de prospección desarrollados desde 1972 hasta 1992 por el Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba, se han encontrado 262 variedades cultivadas. Esta gran diversidad se debe probablemente al origen autóctono de las variedades y a la escasa presión de selección que, acompañada de la gran longevidad de las plantaciones, condujo al mantenimiento de las variedades iniciales (Barranco, 2008).

La falta de programas de mejora que generen cultivares mejores que los inicialmente seleccionados de poblaciones silvestres es la principal causa de la antigüedad característica de las variedades de olivo. Otra particularidad intrínseca a las distintas variedades de olivo es su estricta localización. Esta situación se debe principalmente al desconocimiento del comportamiento de las variedades en otras zonas de cultivo y a las grandes necesidades de material vegetal que requerían los sistemas tradicionales de propagación. También la homogeneidad genética es un aspecto muy característico en las variedades de olivo. Esto se debe a los procedimientos de propagación utilizados y a la muy baja ocurrencia y dificultad de detección de mutaciones en esta especie (Barranco, 2008).

De las variedades cultivadas en España, veinticuatro alcanzan la categoría de variedad principal, que son aquellas que presentan una importante superficie cultivada y son dominantes en, al menos, una comarca. La figura 3 representa la distribución geográfica de estas variedades.

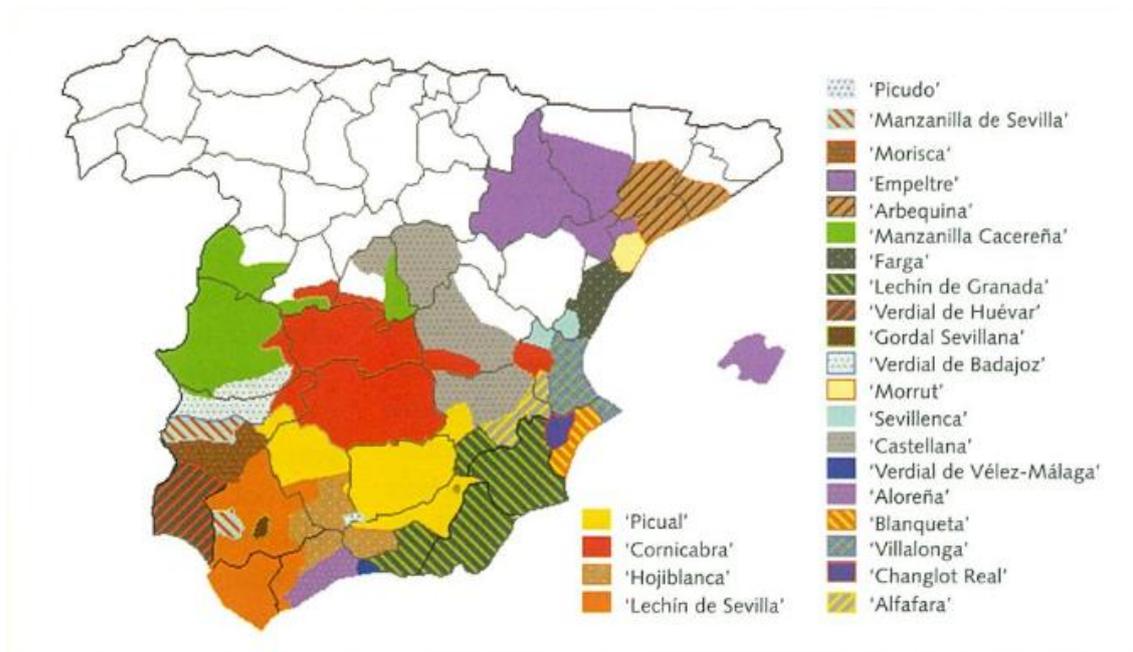


Figura 3. Distribución geográfica de las variedades de olivo dominantes en España.
Fuente: Rallo *et al.*, 2005.

A continuación se hace una breve descripción de las variedades empleadas en este trabajo.

2.3.1 'Arbequina'

De origen español, es la variedad más importante de Cataluña donde ocupa más de 55.000 ha. Posee una capacidad de enraizamiento elevada. Su vigor es reducido, lo que permite su utilización en plantaciones intensivas, de precoz entrada en producción y de productividad elevada y constante. Su época de floración es media y es considerada autocompatible. La fuerza de retención de sus frutos es media, pero su pequeño calibre dificulta la recolección mecánica con vibrador de tronco. El rendimiento graso es elevado

y la calidad de su aceite excelente, principalmente por sus buenas características organolépticas, aunque presenta baja estabilidad. Es una variedad resistente al frío, tolerante a la salinidad y susceptible a la clorosis férrica en terrenos muy calizos. Se considera sensible a la mosca y verticilosis y tolerante a repilo (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.2 ‘Arbosana’

Esta variedad parece ser originaria del Penedés (Cataluña) aunque recientemente se está difundiendo por toda España. La capacidad de enraizamiento de esta variedad es elevada, su entrada en producción es muy precoz y la productividad es elevada y constante. Estas características, junto con su vigor reducido, la hacen muy interesante para su utilización en plantaciones intensivas. La época de maduración de sus frutos es tardía y presentan una fuerza de retención elevada que dificulta la recolección mecanizada con vibrador de tronco. El contenido en aceite de los mismos es medio pero muy apreciado por sus buenas características organolépticas. Es una variedad resistente al frío y al repilo pero sensible a tuberculosis (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.3 ‘Coratina’

Originaria de Italia, es una variedad de fácil adaptación a las distintas zonas de cultivo. Su entrada en producción es muy precoz y su capacidad de enraizamiento es elevada. En su zona de origen (Apulia) se utiliza la variedad ‘Cellina di Nardò’ como polinizadora. La productividad es elevada y constante. Los frutos maduran tardíamente y su calibre es muy variable. Algunos años, los frutos también son aptos para la preparación de aceitunas verdes en salmuera. El rendimiento en aceite es alto y éste último se caracteriza por su gran riqueza en polifenoles. Es particularmente tolerante al frío y susceptible a negrilla y caries (Barranco *et al.*, 2000).

2.3.4 'Cornicabra'

Es la segunda variedad española en cuanto a superficie cultivada. Actualmente ocupa más de 270.000 ha en las provincias de Ciudad Real, Toledo, Madrid, Badajoz y Cáceres. La época de floración de esta variedad es tardía, presenta fácil propagación por estaquillado semileñoso y su entrada en producción es tardía. Presenta elevada resistencia al desprendimiento, lo que dificulta su recolección mecanizada. Es apreciada por su elevado rendimiento graso y por su gran adaptación a suelos pobres y zonas secas y frías. También es utilizada para aderezo por la calidad de su pulpa. Se presenta especialmente sensible a tuberculosis, verticilosis y repilo. También es sensible a los ataques de mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.5 'Cobrançosa'

De origen portugués, la variedad 'Cobrançosa' es apreciada por su tolerancia al frío y a la clorosis férrica provocada por suelos calizos. Es considerada, sin embargo, susceptible a la sequía y a la salinidad. Su capacidad de enraizamiento es media. La entrada en producción y la época de floración es media. Se considera autocompatible. La productividad es elevada y constante. La época de maduración de sus frutos es media y presentan baja resistencia al desprendimiento aunque su caída natural es muy escasa, lo que facilita su recolección mecanizada. El contenido en aceite es medio y se considera susceptible a tuberculosis y a lepra (Barranco *et al.*, 2000).

2.3.6 'Empeltre'

Originaria de España, es la variedad dominante en las comunidades de Aragón y Baleares, ocupando más de 70.000 ha en el país. Fuera de España se ha difundido en Argentina. Su capacidad de enraizamiento es baja, por lo que habitualmente se propaga por injerto; la entrada en producción es tardía y su época de floración es temprana. Esta variedad posee una productividad

constante y elevada y su época de maduración es temprana. Los frutos presentan una baja resistencia al desprendimiento y son muy apreciados por su elevado contenido graso. También se utilizan sus frutos para la elaboración de aceitunas de mesa aderezadas en negro. Es una variedad rústica que se adapta bien a terrenos de mala calidad y se considera tolerante a la sequía, a la aceituna jabonosa y a la verticilosis. Es sensible a repilo, tuberculosis y mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.7 ‘Farga’

De origen español, se cultiva principalmente en las provincias de Castellón, Tarragona y algo en Lérida, habiendo en total unas 21.000 ha de esta variedad. Es muy vigorosa, tiene una gran capacidad de respuesta a podas severas, pero su capacidad de enraizamiento es baja. Su entrada en producción es tardía, su productividad es elevada y la producción vecera. Es una variedad con una época de floración y de maduración temprana y sus frutos presentan una elevada fuerza de retención. Sus aceitunas se destinan principalmente para almazara por su elevado rendimiento graso y por la buena calidad del aceite, aunque es de difícil extracción. Es considerada una variedad muy rústica por su tolerancia al frío invernal y su resistencia a la tuberculosis, pero parece ser susceptible a repilo, verticilosis y mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.8 ‘Frantoio’

De origen italiano, es una variedad cuya productividad es elevada y constante, apreciada también por su capacidad de adaptación. Su capacidad de enraizamiento es elevada, la entrada en producción es precoz, la época de floración es media y las flores presentan un bajo porcentaje de aborto ovárico. Es autocompatible y mejora su productividad con polinizadores adecuados. La época de maduración de los frutos es tardía y escalonada. El rendimiento graso es medio y su aceite es particularmente afrutado y estable en el tiempo. Es susceptible a repilo, tuberculosis y mosca del olivo, y sensible al frío. Presenta

una elevada resistencia a la verticilosis (Barranco *et al.*, 2000), siendo la variedad que normalmente se emplea para sustituir los olivos muertos por esta enfermedad.

2.3.9 ‘Koroneiki’

Originaria de Grecia, esta es la principal variedad de almazara del país. Su capacidad de enraizamiento es media, la entrada en producción es precoz y la floración es temprana. La producción de polen es abundante. La maduración es temprana-media y la productividad es elevada y constante. El rendimiento en aceite es alto y el producto es muy apreciado. El contenido en ácido oleico del aceite es muy elevado, así como su estabilidad. Se considera resistente a la sequía y al repilo y medianamente resistente a la verticilosis. No tolera el frío y es sensible a la tuberculosis (Barranco *et al.*, 2000). Los frutos son de tamaño muy pequeño, aproximadamente 1.1 g (Barranco, 2008).

2.3.10 ‘Lechín de Granada’

Variedad principal que se cultiva en el sureste español, ocupando unas 30.000 ha en las provincias de Granada, Almería, Murcia y Albacete. Esta variedad presenta una época de floración media y es considerada autocompatible. La entrada en producción es precoz y la productividad es elevada y alternante. La época de maduración de sus frutos es tardía y presentan una elevada fuerza de retención que, junto con su pequeño tamaño, dificulta cualquier tipo de recolección mecánica o manual. Es una variedad apreciada por su doble aptitud. Su rendimiento graso es elevado y produce un aceite de excelente calidad, de color amarillento y de baja estabilidad. En algunas comarcas de su zona de difusión también se utiliza para aderezo en negro, destacando por su sabor y prolongada conservación una vez aderezada. Variedad rústica de gran adaptación a suelos calizos y a sequía, es considerada tolerante al frío y susceptible a repilo, verticilosis y mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.11 ‘Manzanilla cacereña’

Variedad de España, donde ocupa alrededor de 64.000 ha. Es la variedad principal en las provincias de Cáceres, Badajoz, Salamanca, Ávila y Madrid. También se encuentra muy difundida en Portugal. Es una variedad poco vigorosa, bien adaptada a suelos pobres y al frío invernal. Es susceptible a verticilosis y tolerante a mosca y tuberculosis. Tiene una muy elevada capacidad de enraizamiento y su entrada en producción es precoz. Su época de floración es temprana. Es una variedad de productividad elevada y constante. La maduración de sus frutos es temprana y presentan baja fuerza de retención. Estos pueden ser usados para aderezo, tanto en verde como en negro, o para obtención de aceite. La separación de la pulpa del hueso es fácil y el contenido en aceite es bajo, aunque de calidad (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.12 ‘Manzanilla de Sevilla’

De origen español, es la variedad de olivo más difundida internacionalmente debido a su productividad y calidad del fruto (Barranco, 2008). Su cultivo en España se concentra en las provincias de Sevilla y Badajoz. Fuera de España también se cultiva en Portugal, Estados Unidos, Israel, Argentina y Australia. Es una variedad de vigor reducido que se adapta fácilmente al cultivo en plantaciones intensivas. Su capacidad de enraizamiento es media, tanto por estaca como por estaquillado semileñoso en nebulización. Su entrada en producción es precoz, su época de floración es media y su polen presenta elevada capacidad germinativa. La productividad es elevada y alternante. Su época de maduración es precoz y presenta alta resistencia al desprendimiento (Rallo *et al.*, 2005).

Es la variedad de mesa más apreciada internacionalmente por su productividad y calidad del fruto. Por otro lado, su contenido en aceite es medio y de elevada calidad y estabilidad. La separación de la pulpa del hueso es fácil. Se considera susceptible a la asfixia radical, a la clorosis férrica en suelos

calizos y al frío invernal. Es muy sensible a verticilosis y sensible a repilo, tuberculosis, lepra y mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.13 ‘Picholine marocaine’

Originaria de Marruecos, constituye el 96% de la totalidad del patrimonio olivarero de este país. Es una variedad rústica, bien adaptada a las condiciones de clima y suelo de todo Marruecos y que presenta una capacidad de enraizamiento media. La entrada en producción y su época de floración es media, es parcialmente autocompatible y su productividad es elevada y alternante. Sus frutos, de tamaño medio,, tienen doble aptitud. Para su uso de mesa se obtienen todo tipo de productos: desde aceitunas verdes partidas hasta aceitunas negras maduras. La pulpa se separa con facilidad del hueso. El rendimiento en almazara es medio, y la calidad del aceite es excelente. Su aceite tiene un elevado contenido en ácido oleico y presenta una enorme resistencia a la congelación (conserva su fluidez incluso a -12°C), por lo que se utiliza en los productos enlatados. Es sensible a repilo y tolerante a tuberculosis y verticilosis (Barranco *et al*, 2000; Barranco,2008).

2.3.14 ‘Picual’

Es la variedad más importante de España, ocupando en Andalucía más de 850.000 ha y siendo la base de las nuevas plantaciones en todo el país. Es una variedad de fácil propagación vegetativa y presenta elevada capacidad de brotación tras podas severas. La entrada en producción es precoz y su productividad es elevada y constante. Su época de floración es media y se considera autofértil. La época de maduración de sus frutos es precoz y presenta una baja resistencia al desprendimiento. Es muy apreciada por su rendimiento graso elevado y facilidad de cultivo. Es considerada una variedad rústica por su adaptación a diversas condiciones de clima y suelo. Es tolerante al frío, a la salinidad y al exceso de humedad del suelo. Sin embargo, es sensible a la sequía y a terrenos calizos. Es una variedad tolerante a

tuberculosis y lepra, pero muy sensible al repilo, a la verticilosis y a la mosca (Rallo *et al.*, 2005).

2.3.15 'Sikitita'

Variedad obtenida en el Programa de Mejora Genética de Olivo de Córdoba (España). Proviene de un cruzamiento de 'Picual' y 'Arbequina' y se caracteriza por su vigor muy reducido y débil ramificación lateral que la hacen especialmente adecuada para su uso en plantaciones en seto de alta densidad. Tiene una entrada en producción precoz y un buen rendimiento graso. Su época de maduración es precoz y su aceite manifiesta muy buenas características organolépticas y se caracteriza por ser frutado y dulce. Se considera tolerante al frío invernal y de fácil enraizamiento (Barranco, 2008).

2.4 Fertilización del olivar

2.4.1 Principios de la fertilización

Por definición, la fertilización consiste en la aplicación de abonos al suelo o a la planta con el fin de nutrirla, entendiendo por abono aquella sustancia, natural o manufacturada, que suministra nutrientes a la planta. Pero esta definición generalista y tradicional de fertilización ha sufrido con los años varias puntualizaciones que es importante conocer para comprender mejor esta técnica.

El primer, y quizás más importante, factor a tener en cuenta en la fertilización es que las plantas toman los nutrientes del suelo. Así, el abonado solamente debe aparecer cuando el suelo no pueda suministrar a las plantas todos los nutrientes en las cantidades suficientes para su normal crecimiento y desarrollo. Esta situación puede ocurrir debido a variadísimos factores como, por ejemplo, la naturaleza del suelo o el sistema de cultivo empleado.

Para realizar un abonado racional y equilibrado, hay que tener en cuenta los dos principios básicos de la fertilización. El primero fue establecido en 1939 por Arnon y Stout y se refiere a la esencialidad de los elementos minerales. Los criterios de esencialidad establecidos por estos autores fueron tres: (1) La planta no puede completar su ciclo vital sin ellos, (2) ninguno de ellos puede ser reemplazado por otro con propiedades similares y (3) el elemento debe ejercer directamente su efecto sobre el crecimiento o el metabolismo de la planta. De esta forma se determinaron como esenciales dieciséis elementos, de los cuales, tres de ellos, el carbono (C), el hidrogeno (H) y el oxígeno (O), constituyen el 95% del peso seco del olivo y no son contemplados en la fertilización ya que el árbol los toma directamente de la atmosfera y del agua.

Los otros trece elementos representan los restantes 5% del peso seco del olivo y corresponden a la parte mineral. Estos, que son los que se aportan, en caso de ser necesario, en la fertilización, se dividen, a su vez, en macro y

micronutrientes. Los primeros, que son requeridos en concentraciones de 10 a 5000 veces mayores que los segundos, son el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S). Los micronutrientes, requeridos en cantidades inferiores, son hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (Bo) y cloro (Cl). El Ni es considerado por algunos autores como un microelemento esencial (Brown *et al.*, 1987)

El segundo principio fue establecido en 1946 por Shear *et al.* y se basa en el concepto de equilibrio de nutrientes. Así, según este principio, una planta se encuentra en condiciones óptimas de nutrición cuando todos los elementos esenciales están en equilibrio, de forma que si uno de ellos se encuentra en exceso o en defecto, provoca un desequilibrio que puede resultar en interacciones que puedan bloquear la disponibilidad de otros nutrientes aunque estos se encuentren en cantidades suficientes.

Después hay que tener también en cuenta las diferencias nutricionales existentes entre los diferentes tipos de plantas. De esta forma, aunque cualitativamente todas las plantas necesitan de los mismos nutrientes para su crecimiento y desarrollo, en términos cuantitativos existen grandes diferencias. Factores como la especie y la variedad, la edad de la planta, el estado de desarrollo, el sistema de cultivo o el tipo de suelo son, todos ellos, causadores de estas variaciones.

Pero en plantas perenes, como es el caso del olivo, hay otro factor más a tener en cuenta para poder hacer una correcta fertilización del cultivo, que es la existencia de órganos de reserva y, por lo tanto, el reciclado de nutrientes. Como este tipo de plantas se establecen en el mismo suelo durante varios años, necesitan asegurar una cierta independencia de las condiciones del medio para garantizar su brotación y fructificación. Esa independencia se la dan los órganos de reserva, que en el caso del olivo corresponden a las hojas, tallos y raíces, órganos donde almacenan los nutrientes durante el periodo vegetativo y de donde los reciclan para garantizar el crecimiento de los años posteriores.

Por todo esto, tal y como reflejaba Faust en el año 1979, la fertilización, a lo largo del siglo XX, dejó de ser una práctica fácil basada en la restitución de los elementos extraídos por la cosecha, para convertirse en una ciencia completamente integrada en el manejo de los cultivos, cuyos objetivos son, además de la correcta nutrición de la planta, la prevención de daños ocasionados a la misma, el cuidado del medio ambiente y la economía de la operación.

2.4.2 Bases de la fertilización en el olivar

En olivar, igual que en el resto de los cultivos, la forma más correcta de proceder a la fertilización es hacer un abonado racional, donde se aporten solamente los elementos nutritivos requeridos por el árbol en un momento determinado. El conocimiento de aspectos como las necesidades nutritivas del árbol, las posibilidades del suelo y determinadas características fisiológicas del cultivo, como por ejemplo la vecería y la existencia de órganos de reserva, son fundamentales para lograr un adecuado abonado racional, ya que estos factores condicionan el correcto desarrollo de esta práctica.

El diagnóstico del estado nutritivo del olivar, además de ser la base donde se debe asentar una fertilización racional, es también fundamental para tener un mejor conocimiento de los aspectos mencionados en el párrafo anterior. En olivicultura existen esencialmente tres métodos de diagnóstico: (1) Observación de síntomas. Aunque ampliamente difundido, no es un método muy fiable pues la ausencia de síntomas no indica necesariamente un buen estado nutritivo. (2) Análisis del suelo. Es una herramienta muy útil para identificar deficiencias del suelo a la hora del establecimiento del olivar. Sin embargo, como se ha referido en el apartado 2.2.1.3, no es el método de diagnóstico más indicado para establecer el plan de fertilización. (3) Análisis foliares. Es el método más preciso para diagnosticar el estado nutritivo de una plantación, ya que aporta información rigurosa acerca de las necesidades nutritivas inmediatas.

El análisis foliar está basado en los argumentos enumerados por Bould en el año 1966, según los cuales: (1) la hoja es el principal lugar de metabolismo y reservas de nutrientes de la planta; (2) los cambios en la aportación de nutrientes se reflejan en la composición de la hoja; (3) esos cambios son más pronunciados en ciertos estados de desarrollo; y (4) las concentraciones de nutrientes en la hoja en períodos específicos de crecimiento están relacionadas con el comportamiento del cultivo.

Así, y de acuerdo con los argumentos anteriores, este método permite identificar desórdenes nutritivos, medir la respuesta de los arboles al abonado, detectar toxicidades causadas por elementos como el cloro (Cl), el boro (B) o el sodio (Na) y, lo más útil de todo, detectar niveles bajos de nutrientes antes de que aparezcan deficiencias perjudiciales para el cultivo. Pero estas funciones del análisis foliar solamente adquieren utilidad gracias al establecimiento de los niveles críticos en hoja de cada elemento mineral (Tabla 5). De esta forma, se entiende por nivel crítico de un elemento a la concentración del elemento por debajo de la cual el crecimiento o la producción de un árbol disminuye.

Tabla 5. Niveles críticos de nutrientes en el peso seco de hojas de olivo recogidas en julio.

Elemento	Deficiente	Adecuado	Tóxico
Nitrógeno, N (%)	1.4	1.5-2.0	-
Fósforo, P (%)	0.05	0.1-0.3	-
Potasio, K (%)	0.4	0.8	-
Calcio, Ca (%)	0.3	1	-
Magnesio, Mg (%)	0.08	0.1	-
Manganeso, Mn (ppm)	-	20	-
Cinc, Zn (ppm)	-	10	-
Cobre, Cu (ppm)	-	4	-
Boro, B (ppm)	14	19-150	185
Sodio, Na (%)	-	-	0.2
Cloro, Cl (%)	-	-	0.5

Fuente: Tabla elaborada a partir de los datos recopilados en Chapman (1966), Childers (1966) y Beutel *et al.* (1983).

El punto crítico de este análisis es la toma de muestras. Hay que tener bien presente que el contenido de nutrientes en las hojas de olivo (Fernández-Escobar *et al.*, 1999), tal y como ocurre en otros cultivos leñosos (Moreno y García-Martínez, 1984; Brown, 1994; Weinbaum *et al.*, 1994), sufre variaciones a lo largo del ciclo fenológico del árbol. Del mismo modo, factores como la proximidad de las hojas a los frutos y la edad de la hoja, también influyen en el contenido de nutrientes en las hojas. Así, a la hora de tomar las muestras, hay que saber muy bien cuando, como y cuales hojas coger para que los resultados sean satisfactorios.

Teniendo todo esto en cuenta se ha sistematizado el muestreo de la siguiente forma: en primer lugar se diferencian parcelas homogéneas dentro de cada olivar y se muestrean por separado. Cada muestra deberá contener al menos 100 hojas de varios árboles de toda la parcela. Finalmente, las hojas, que deberán tener su peciolo, se tomarán en el mes de julio de la parte central a basal de los brotes de año situados a la altura del hombro. Los niveles críticos recogidos en la tabla 5 se refieren al tipo de hojas muestreadas en este periodo.

Una vez hecho el análisis foliar se hará una detenida interpretación de los resultados para concluir cual el estado nutritivo del olivar. Conocidos los valores críticos (Tabla 5), basta comparar los valores del análisis con ellos para determinar si un determinado elemento se encuentra en un nivel deficiente, bajo, adecuado o en exceso y, en consecuencia, tomar medidas para su posible corrección. Señalar que, aunque el análisis foliar sea el método más preciso, un buen diagnóstico del estado nutritivo de una plantación deberá combinar aquél con el conocimiento de las características del suelo y el aspecto visual de los árboles.

Evaluated el estado nutritivo del olivar podemos proceder a la elaboración del plan anual de fertilización de la campaña siguiente de una forma racional y basada en el diagnóstico. De esta forma, solamente aportaremos los elementos necesarios, evitando los excesos de abonado tan frecuentes en la actualidad. La estrategia a seguir deberá basarse en los siguientes principios:

- Si todos los elementos se encuentran en su nivel adecuado en hoja, sería recomendable no realizar abonado alguno en la siguiente campaña y repetir el análisis en el próximo mes de julio.
- Si un elemento se encuentra bajo o deficiente debería aplicarse un abono rico en ese elemento, siempre que no existieran dudas que esa carencia no depende del exceso o de la deficiencia de otro elemento.
- Si varios elementos se encuentran bajos o deficientes, bastaría aplicar el más deficiente de todos para corregir la situación, sin que esto sea una regla general (Fernández-Escobar, 2007).

2.4.3 Situación actual de la fertilización en olivar

La fertilización es una de las prácticas agrícolas más frecuentes y difíciles porque no se puede sistematizar (Fernández-Escobar *et al.*, 2002). Así, por todo lo expuesto anteriormente, sería de poca lógica dar unas recomendaciones generales sobre el abonado del olivar, pues cada uno de ellos, en función de sus características, requerirá en cada momento un tratamiento diferente (Fernández-Escobar, 2008b).

Y esto, que es fácil de entender, es lo que dificulta a la hora de decidir el abonado anual de una plantación, sobre todo si se tiene en cuenta el número de elementos nutritivos que necesita una planta, y la diversidad de compuestos químicos que existen en el mercado susceptibles de ser usados como abonos. Esa dificultad se traduce en que el abonado en olivar es una práctica anárquica basada en la tradición –reiterando el mismo plan de fertilización-, en los testimonios de agricultores vecinos, y en la ausencia de utilización de métodos de diagnóstico que sirvan de guía de la fertilización (Fernández-Escobar, 2008b).

Los estudios sobre fertilización en olivar han sido escasos y en su mayoría efectuados antes de haberse puesto a punto la metodología del análisis foliar, así como la elaboración de la tabla de niveles críticos de

nutrientes en hojas de olivo tomadas en el mes de julio (Chapman, 1966; Beutel, 1983). Uno de los pocos estudios que abordan esta temática fue llevado a cabo Fernández-Escobar (2008a) y tuvo como objetivo conocer la práctica de la fertilización en los olivares de la Cuenca del Mediterráneo y analizarla a la luz de los conocimientos actuales sobre nutrición vegetal.

En este estudio se ha demostrado que: (1) hay una generalizada falta de diagnóstico del estado nutritivo; (2) el abonado de restitución es el método de fertilización más utilizado; (3) el nutriente más utilizado por los olivicultores es el nitrógeno; (4) el número de nutrientes usados en los planes de fertilización generalmente sobrepasan las necesidades; (5) las aplicaciones al suelo son hechas mayoritariamente en invierno.

Todas estas prácticas erróneas, acompañadas por el bajo coste que supone la fertilización en el olivar – entre el 5 y el 10% - llevan a que las dosis de fertilizantes aplicadas sean muchas veces superiores a las necesarias. Según Fernández-Escobar (2008a), esto se hace para asegurar la máxima producción, en la creencia de que la aplicación anual de cantidades significativas de productos nutritivos representa un seguro barato contra el riesgo económico que puede suponer la escasez de nutrientes en un momento determinado.

La sobrefertilización no tiene justificación desde el punto de vista económico, ni desde el punto de vista agronómico. Bajo el primer punto de vista, si aplicamos más fertilizantes de lo que es necesario la rentabilidad de la inversión disminuye o incluso se anula, y por pequeña que aquella sea no hay necesidad de aumentar los costes y disminuir, en consecuencia, los beneficios inútilmente. Bajo el punto de vista agronómico, la sobrefertilización lleva a excesos y desequilibrios nutritivos, puede interferir con la nutrición o disponibilidad de otros elementos nutritivos y crear condiciones en el suelo difíciles de corregir. Su consecuencia suele ser la aparición de efectos negativos en la producción y en la calidad del producto y, a largo plazo, disminuir la capacidad productiva del suelo para futuras generaciones (Fernández-Escobar, 2008b).

2.4.4 La fertilización nitrogenada

El nitrógeno es uno de los dieciséis elementos esenciales para las plantas y, como tal, el olivo no puede completar su ciclo de vida sin él. Aproximadamente cuatro quintos de este elemento nutritivo se encuentra en la atmósfera, en formas que no pueden ser utilizadas directamente por las plantas. La otra parte se encuentra en el suelo, sobretodo en formas orgánicas (más del 95%) poco disponibles para el reino vegetal (Varenes, 2003).

Las formas de nitrógeno minerales, que solamente representan entre el 1 y el 2% de la totalidad del nitrógeno presente en el suelo, son las que pueden ser directamente utilizadas por las plantas. Así, debido a su escasa disponibilidad en el suelo, el nitrógeno es el nutriente que más frecuentemente limita el crecimiento vegetal. Además, este es el elemento que se requiere en mayores cantidades por las plantas y al que los cultivos responden con mayor rapidez y rentabilidad, por lo que ha constituido tradicionalmente la base de la fertilización de todos los cultivos en general, y del olivar en particular (Varenes, 2003; Fernandez-Escobar, 2008b).

2.4.4.1 El nitrógeno en el suelo

Gran parte del ciclo del nitrógeno tiene lugar en el suelo. Además, el suelo es la principal fuente de nitrógeno para las plantas, ya que estas absorben los nutrientes principalmente por la raíz. Aquí este macronutriente se puede encontrar esencialmente en dos formas: orgánica e inorgánica. Más del 95% se encuentra en formas orgánicas, constituyendo compuestos orgánicos complejos. Las formas de nitrógeno orgánico más conocidas son aminoácidos, amino azúcares, péptidos, proteínas y ácidos nucleicos, además de otras formas complejas, que resultan del primer paso de la descomposición de la materia orgánica (Stevenson, 1982). De todas ellas, los aminoácidos son los más importantes para la nutrición vegetal ya que representan entre el 10 y el 40% del N soluble y numerosos estudios demuestran que también pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas (Persson y Nasholm, 2001; Inagaki y Kohzu, 2005; Kranabetter *et al.*, 2007; Harrison *et al.*, 2008). Las plantas

superiores son las principales responsables por la formación de formas orgánicas de nitrógeno.

La parte inorgánica, que representa entre el 1 y el 3%, es la más importante desde el punto de vista agronómico, ya que las plantas prefieren las formas inorgánicas para satisfacer sus necesidades en nitrógeno. Las formas más comunes son NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , N_2O , NO y N_2 (Barker y Mills, 1980), siendo las más importantes desde el punto de vista de la fertilidad el NH_4^+ y el NO_3^- . Estas formas de nitrógeno proceden principalmente de la descomposición de la materia orgánica, de las aportaciones desde la atmosfera por medio del agua de lluvia y de la fijación biológica de N_2 atmosférico.

El ciclo del nitrógeno es muy dinámico y se ve afectado, entre otros, por factores ambientales como la humedad y la temperatura. Las entradas, las salidas y los cambios de estado del nitrógeno en un olivar quedan esquemáticamente reflejados en la figura 4 (Fernández-Escobar, 2008b).

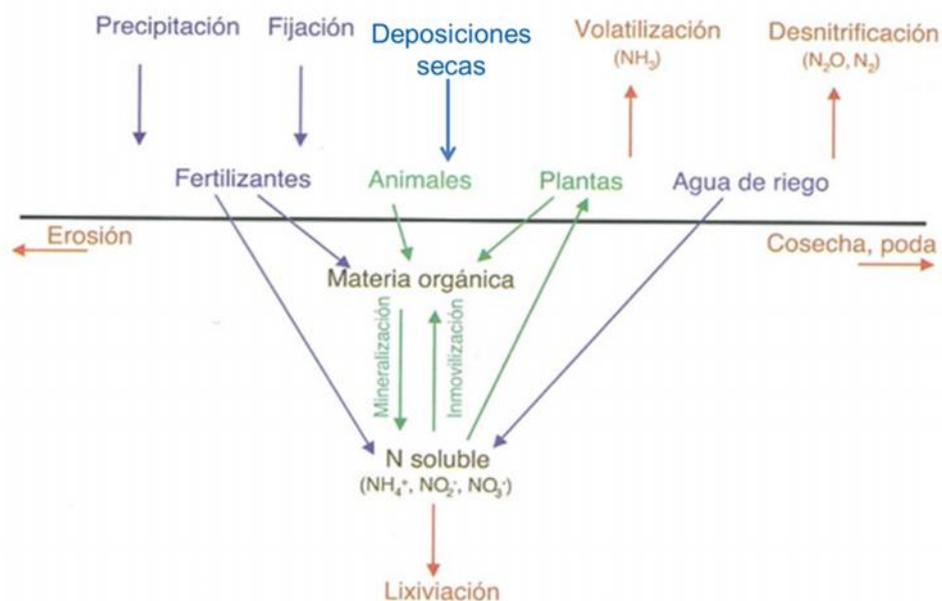


Figura 4. Ciclo del nitrógeno en el olivar. Fuente: Fernández-Escobar (2008b).

De acuerdo con la figura 4 podemos verificar que los principales procesos responsables por la aportación de nitrógeno al suelo son:

- (1) Descomposición de residuos orgánicos. Según Smill (1999) este proceso es responsable por la incorporación anual de entre 28 y 36 Tm de N en las tierras cultivadas. La descomposición de los residuos orgánicos, en una primera fase, es llevado a cabo por la macrofauna del suelo que durante su alimentación provoca la fragmentación de la materia orgánica. Después, mediante el proceso de mineralización, los organismos heterótrofos presentes en el suelo utilizan las sustancias orgánicas nitrogenadas resultantes de la primera fase como fuente de energía, liberando amonio (amonificación). Este amonio puede ser retenido por las cargas negativas de las arcillas, ser inmovilizado por los microorganismos, volatilizarse como NH_3 , ser utilizado por las plantas o ser nitrificado. En este último caso lo que ocurre es una oxidación biológica de NH_4^+ a NO_2^- y NO_3^- por acción de bacterias quimioautótrofas de los géneros Nitrosomas y Nitrobacter.
- (2) Fijación del N_2 atmosférico por microorganismos. Representa alrededor del 12% de la totalidad del nitrógeno que reciben las tierras cultivadas (Smill, 1999). Casi una cuarta parte la realiza el género *Rhizobium*, compuesto por bacterias que se asocian a plantas leguminosas formando nódulos en sus raíces. El resto es fijado por varias bacterias y actinomicetos, de vida libre o asociados con ciertas plantas. El N_2 fijado por los microorganismos de vida libre se incorpora al suelo por la descomposición microbiana. La transferencia al suelo del N_2 fijado simbióticamente en las planta se denomina rizodeposición y se realiza por la descomposición de las raíces y de los nódulos radicales, liberando sustancias nitrogenadas tales como exudados de bajo peso molecular, aminoácidos, hormonas, enzimas, etc. (Marschner, 1995).
- (3) Deposición de N desde la atmósfera. Como se dijo anteriormente, alrededor de cuatro quintos del nitrógeno se localiza en la atmósfera. Este nitrógeno tiene variadísimos orígenes y se encuentra en diferentes formas. Su transferencia hacia el suelo se debe a la deposición de polvos y a la precipitación. El NH_4^+ representa usualmente cerca de dos tercios de las entradas y se incorpora mediante la precipitación, mientras que el NO_3^- representa un tercio (Varenes, 2003). Este tipo de aportaciones normalmente son demasiado pequeñas como para ser significativas para

los cultivos (Stevenson, 1982), representando entradas normalmente inferiores a 10-20 kg de N ha⁻¹ (Varenes, 2003).

- (4) Agua de riego. El aporte de nitrógeno a través del agua de riego se debe a la creciente contaminación de las aguas, tanto subterráneas como superficiales, con nitratos de origen agrícola. Aunque para la mayoría de los cultivos este aporte de nitrógeno es despreciable desde el punto de vista productivo, en algunas situaciones y para determinados cultivos puede ser lo suficientemente significativo como para tenerlo en cuenta en los planes de fertilización (Molina-Soria, 2008).
- (5) Fertilizantes. Los bajos contenidos de materia orgánica que caracterizan a la mayoría de los suelos cultivados hacen que la cantidad de nitrógeno aportada por la mineralización sea insuficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de los cultivos (Molina-Soria, 2008). Esta situación conduce a que en los ecosistemas agrícolas la cantidad de nitrógeno sea un factor limitante en la producción. De este modo, se hace necesario el uso de fertilizantes nitrogenados para cubrir las necesidades de los cultivos, estimándose que estos aporten alrededor del 50% del N necesario para la producción mundial de alimentos (Mosier *et al.*, 2004).

Observando la figura 4 podemos también concluir que las principales pérdidas de nitrógeno del suelo son:

- (1) Lixiviación. La lixiviación corresponde al proceso de lavado del nitrato presente en la solución del suelo por debajo de la profundidad alcanzada por las raíces, provocado por el agua de lluvia o de riego (Fernández-Escobar, 2008b). La ocurrencia de este proceso se debe al hecho de que el NO₃⁻, al contrario que el NH₄⁺, difícilmente puede ser adsorbido por las partículas del suelo, quedando expuesto al transporte por el agua hacia capas inferiores del suelo. Según Fernández-Escobar (2008b), se puede afirmar que las mayores pérdidas de nitrógeno del sistema se deben a la lixiviación y que además, esta es la principal fuente de contaminación de las aguas subterráneas.
- (2) Erosión y escorrentía superficial. Como se refirió en el apartado 2.2.1.1, la erosión conduce a una pérdida de fertilidad del suelo, ya que los materiales que se erosionan con más facilidad son las partículas finas y ricas en

nutrientes. De esta manera, la erosión y la escorrentía conllevan a pérdidas de nitrógeno del sistema, siendo el agua el principal factor causante de la erosión en las regiones mediterráneas, pudiendo llegar a los $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de N (Ramos y Martínez-Casasnovas, 2006).

- (3) Desnitrificación. La desnitrificación es el proceso a través del cual se forman compuestos nitrogenados gaseosos (N_2O y N_2) mediante la reducción de las formas oxidadas de nitrógeno (NO_3^- y NO_2^-) por acción de bacterias anaerobias o microaerófilas (desnitrificación biológica) o mediante reacciones químicas que afectan al nitrito (desnitrificación química). Estas formas de nitrógeno reducidas, al estar en el estado gaseoso se escapan fácilmente para la atmósfera, suponiendo pérdidas que varían del 0 al 70% del N aplicado como fertilizante, en función de las condiciones edafoclimáticas (Firestone, 1982). Las emisiones de N_2 y N_2O , además de poder llegar a suponer importantes pérdidas de nitrógeno, son nocivas para la capa de ozono y favorecen el calentamiento atmosférico (Linzmeier *et al.*, 2001).
- (4) Volatilización. La volatilización del amoníaco es el proceso por el cual el NH_3 gaseoso se libera desde el suelo a la atmósfera (Nelson, 1982). El amoníaco, en solución acuosa, está en equilibrio con el ion amonio. Si las condiciones del medio son favorables a la formación de grandes cantidades de amoníaco, mayores que su solubilidad en el agua, este se pierde para la atmósfera (Varenes, 2003).
- (5) Extracciones de los cultivos. Las extracciones de los cultivos no son consideradas como pérdidas desde el punto de vista agronómico ya que son pérdidas necesarias. Pero, aun así, representan una enorme salida de nitrógeno en los sistemas agrícolas, la cual normalmente tiene que ser compensada con la aplicación de fertilizantes (Varenes, 2003). En olivar, la cosecha de las aceitunas y la extracción de los restos de poda suponen las mayores extracciones de N por el cultivo.

2.4.4.2 El nitrógeno en el olivo

La importancia del nitrógeno para las plantas se comprende fácilmente si pensamos que les es necesario en grandes cantidades, solamente excedidas por las de carbono, oxígeno e hidrógeno (Varenes, 2003). Está presente en la mayor parte de los constituyentes vegetales y representa entre el 1.5 y el 5% del peso seco de los mismos. Además, es un constituyente fundamental de la clorofila, de las proteínas y de los ácidos nucleicos, formando parte también de los transportadores de energía, por lo que se ve implicado directamente en el crecimiento y reproducción celular. Por todo esto, el N es el principal elemento limitante de la cosecha, pues una reducción en su suministro es reflejada de inmediato en los procesos fisiológicos como la iniciación floral, el cuajado y el desarrollo del fruto.

La principal fuente de nitrógeno para el olivo, al igual que todas las otras plantas, es el suelo. Desde aquí, sus raíces lo pueden absorber en formas orgánicas (urea y aminoácidos) o en formas inorgánicas (NO_3^- y NH_4^+). El nitrato es la forma de nitrógeno que predomina en los suelos agrícolas y la que más fácilmente y en mayores cantidades alcanza las raíces del olivo, con lo cual se considera su principal fuente de N. La absorción de NO_3^- puede ocurrir a través de tres sistemas de transporte que operan en la membrana: sistema inducible de alta afinidad, sistema de alta afinidad y sistema de baja afinidad (Ford, 2000; Glass *et al.*, 2001). Una vez absorbido, el nitrato puede ser almacenado en la raíz, reducido para formar parte de los aminoácidos y/o transportado vía xilema hacia el resto de la planta. Independientemente de su destino, antes de que sea asimilado en forma de compuestos orgánicos, el NO_3^- tiene que ser reducido hasta llegar a NH_4^+ , proceso que puede ocurrir en las raíces o en las hojas.

En condiciones desfavorables a la nitrificación, la forma de nitrógeno predominante en los suelos es el amonio. La absorción de NH_4^+ se puede producir mediante un proceso pasivo de intercambio-absorción en el espacio libre cargado negativamente de las raíces y/o mediante un proceso de transporte activo (Howit y Udvardi, 2000). Una vez absorbido, el amonio presente en las raíces tiene que ser rápidamente incorporado a los compuestos

orgánicos de la planta, ya que su acumulación provoca toxicidad en las plantas. Terminada esta incorporación, los compuestos orgánicos pueden ser almacenados en la raíz o traslocados por el xilema a los distintos órganos de la planta.

A pesar de la preferencia de las plantas por la absorción de N mineral, en casos de suelos muy ricos en materia orgánica, la absorción de formas orgánicas de nitrógeno (principalmente aminoácidos) puede llegar a satisfacer hasta el 25% de sus necesidades en nitrógeno (Schobert y Komor, 1987). La absorción de los aminoácidos por parte de la raíz puede ocurrir de forma pasiva y/o mediante transporte activo. Después de absorbidos, los aminoácidos o bien son almacenados en la raíz, o bien son transportados por el xilema a la parte aérea del olivo.

Pero el suelo no es la única vía de entrada de nitrógeno en el árbol, las hojas también pueden absorberlo de forma eficiente (Hamilton *et al.*, 1943). Este fue el motivo que llevó a la generalización de las aplicaciones foliares de nitrógeno entre los agricultores, siendo hoy por hoy una técnica bastante utilizada por los olivicultores. El mecanismo de penetración de los nutrientes a través de las hojas comprende tres pasos, tal y como detalló Franke (1967): 1) penetración a través de la cutícula y de las células epidérmicas mediante un mecanismo de difusión; 2) adsorción en las membranas plasmáticas, y 3) paso a través de las membranas plasmáticas y entrada en el citoplasma. La forma de nitrógeno más utilizada en las aplicaciones foliares es la urea que, una vez absorbida, puede ser hidrolizada dentro de las hojas (Dilley y Walker, 1961) y/o ser transportada fuera e hidrolizarse en otros órganos de la planta (Freiberg y Payne, 1957).

Independientemente del origen o de forma de absorción por parte del olivo, el nitrógeno en la planta tiene tres posibles destinos: 1) dirigirse a las partes en crecimiento; 2) transferirse a los órganos de reserva; 3) ser almacenado en los distintos órganos de una forma más fácilmente disponible (Yoneyama *et al.*, 2003). Cuando se dirige a las partes en crecimiento se integra en la estructura de numerosas moléculas orgánicas, indispensables al metabolismo y a la división celular. Pero cuando se queda en la forma de

aminoácidos sigue circulando continuamente por el sistema vascular, constituyendo un reservatorio de N rápidamente disponible para la planta (Touriane *et al.*, 1988; Parsons y Baker, 1996)

El otro posible destino es su almacenamiento en los órganos de reserva de la planta. El nitrógeno que sigue este camino es almacenado en la forma de proteínas en las hojas y partes leñosas, volviendo a ser removilizado cuando el suelo no pueda satisfacer la cantidad de N necesaria para el normal crecimiento y desarrollo de la planta o para ayudar a satisfacer las elevadas demandas de nitrógeno requeridas en la fase inicial de la brotación de primavera. Este fenómeno tiene especial relevancia en el caso de las plantas leñosas, puesto que éstas deben asegurar la brotación año tras año bajo el mismo suelo (Smith *et al.*, 2007; Menino *et al.*, 2007). La edad del árbol, el estado nutritivo, la fertilidad del suelo y la época del año son algunos de los factores que van a determinar la importancia del nitrógeno movilizado en los procesos de crecimiento y desarrollo del árbol (Grelet *et al.*, 2003; Tagliavini y Millard, 2005).

Aunque el nitrógeno se almacena en todas las plantas en las hojas, en los tallos y en las raíces, la importancia relativa de cada uno de los órganos de reserva varía según el hábito foliar de cada especie. En árboles de hoja perenne, tienen una enorme importancia las hojas, además de los tallos y la raíz; mientras que en especies de hoja caduca el nitrógeno se almacena principalmente en el tallo y en la raíz.

En el caso del olivo la absorción y almacenamiento de nitrógeno está condicionada por ser una especie perenne y por su marcado carácter vecero. Esto lleva a que el nitrógeno sea almacenado durante los años de descarga principalmente en las hojas (Klein y Winbaum, 1984; Fernández-Escobar *et al.*, 2011), siendo movilizado en la siguiente estación de crecimiento para satisfacer la demanda de los órganos reproductivos y vegetativos, siendo el fruto el principal sumidero del nitrógeno almacenado (Fernández-Escobar *et al.*, 2004).

2.4.4.3 El nitrógeno en la fertilización del olivar

Un adecuado nivel de nitrógeno es fundamental para el normal crecimiento y producción del olivo. Para lograr este objetivo el conocimiento de las concentraciones de N presentes en la hoja es fundamental. Este conocimiento, tal y como viene recogido en el apartado 2.4.2, se obtiene por medio del análisis foliar, herramienta indispensable para un correcto diagnóstico del estado nutricional de una plantación. Según Fernández-Escobar (2008b), el nivel de nitrógeno de un olivar es adecuado cuando su concentración en hoja se encuentra entre el 1.5% y el 2%.

Se considera que una planta es deficiente en nitrógeno cuando un incremento de la concentración en hoja repercute en un beneficio económico, al incrementar el crecimiento, la producción y/o la calidad del fruto (Jones, 1973). En el caso del olivo esto ocurre cuando los valores de nitrógeno en hoja se encuentran por debajo de 1.4% (Fernández-Escobar, 2004). En caso de deficiencia diagnosticada, el síntoma más visible es el amarillamiento de las hojas resultado de la restricción en la síntesis de clorofila. Cuando la deficiencia es severa, esta clorosis puede evolucionar a necrosis y terminar con la caída de las hojas. Estos síntomas aparecen primero en hojas viejas debido a la capacidad de translocación del nitrógeno dentro de la planta desde las hojas viejas hacia las partes nuevas en crecimiento.

En términos fisiológicos, esta situación provoca una reducción de la capacidad fotosintética de la planta (Makino y Osmond, 1991), afectando también el metabolismo de los carbohidratos y el reparto de nitrógeno entre fuentes y sumideros (Paul y Driscoll, 1997). En términos productivos, una deficiencia de N en el olivo se traduce en una reducción del ritmo de crecimiento, en una escasa fructificación y en una bajada de la producción y de la calidad del aceite.

Sin embargo, según Fernández-Escobar (2008b) en suelos relativamente fértiles las necesidades de nitrógeno del olivar son escasas, ya que las extracciones de N por parte del cultivo son bajas, si se comparan con las de cultivos anuales, por lo que suelen ser compensadas por las

aportaciones del agua de lluvia y por la mineralización de la materia orgánica (García Novelo, 2006). Pero, aun así, la aplicación de fertilizantes nitrogenados es una práctica común entre los olivicultores, llegando las cifras en los olivares andaluces a aportes de hasta 350kg de N por hectárea y año (Fernández-Escobar *et al.*, 1994). Por ello, fácilmente se comprende la razón por la cual resulta tan difícil encontrar plantaciones de olivar con deficiencias de nitrógeno.

Por el contrario, los excesos de nitrógeno en las plantas, resultado de la sobrefertilización, son bastante comunes en olivar. A diferencia de lo que ocurre con otros nutrientes, el nivel de exceso de N no está definido debido a su elevada movilidad hacia los órganos de reserva y a la dificultad en la caracterización de los síntomas. De este modo, se considera que una planta tiene exceso de nitrógeno cuando una disminución de la concentración de N en la hoja lleva a un beneficio económico (Jones, 1973).

Cuando se presenta esta situación puede ocurrir una potenciación del crecimiento vegetativo sobre el reproductivo (Weinbaum *et al.*, 1992) y del tallo en detrimento de la raíz (Hockings y Meyer, 1991), lo cual origina un exceso de vigor en los árboles. Este exceso de vigor lleva a una gran existencia de material vegetal joven, susceptible al ataque de plagas y sensible a temperaturas bajas, tornando los árboles más propensos a los daños por plagas (Eatough-Jones *et al.*, 2008) y por heladas. Además, se forman copas espesas, donde en muchos casos se dan unas condiciones microclimáticas de falta de aireación propicias a la proliferación de hongos.

Por otro lado, el exceso de vigor puede provocar también la reducción del desarrollo de yemas, la disminución del cuajado de frutos (Weinbaum *et al.*, 1992), el incremento del aborto ovárico (Saayman, 1983), la reducción de la fructificación (Lurie, 1996) y, consecuentemente, el descenso de la productividad. Además, un exceso de nitrógeno puede retrasar la maduración del fruto (Fallahi *et al.*, 1993; Lurie, 1996; Frade, 2011). La calidad del aceite se ve también afectada negativamente, ya que excesos de N conducen a una disminución del contenido en polifenoles y consecuentemente de la estabilidad

del aceite (Fernández-Escobar *et al.*, 2006), del mismo modo que parece alterar la composición en ácidos grasos (Simões *et al.*, 2002).

Pero no solamente el cultivo y la producción se ven afectados por las excesivas aplicaciones de nitrógeno, también el medio ambiente sufre con esta situación. Así, la aplicación excesiva y el mal manejo de los fertilizantes nitrogenados unido a la baja eficiencia en el uso del nitrógeno característica de los árboles frutales, el régimen de lluvias característico del clima mediterráneo y los suelos con pendiente elevada sobre los que se asienta gran parte del olivar, permite darnos cuenta de las enormes pérdidas de nitrógeno causadas por escorrentía y lixiviación, que causan problemas de eutrofización de las aguas superficiales y contaminación con nitratos de las aguas subterráneas.

2.4.5 Eficiencia en el uso del nitrógeno

La eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) se define, desde el punto de vista agronómico, como la cantidad de nitrógeno absorbido por la planta respecto a la cantidad aplicada como fertilizante (Molina-Soria, 2008). Según Fernández-Escobar (2008b), la EUN fluctúa generalmente entre el 25 y el 50% dependiendo de varios factores, alcanzando en los cultivos leñosos los valores más bajos. Estos valores nos indican que la mayoría del nitrógeno aplicado como abono se pierde, contribuyendo una parte importante de esas pérdidas a la contaminación de las aguas y de los suelos agrícolas.

Estas contaminaciones, derivadas muchas veces del exceso de fertilización, conducen a que los gobiernos adopten regulaciones cada vez más estrictas en cuanto a la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios. En el caso del nitrógeno, de modo a reducir los efectos negativos causados por la contaminación de nitratos, se han demarcado en varios países “zonas vulnerables”, en las cuales se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario. Además de los problemas medioambientales, las pérdidas de nitrógeno llevan también a un incremento innecesario de los costes de producción, reduciéndose los niveles de rentabilidad del cultivo.

Así, resulta fácil comprender que el conocimiento de la EUN es de enorme importancia para la evaluación de la eficiencia con la que se hace la fertilización nitrogenada, debiéndose siempre adoptar medidas para aumentarla o, al menos, no disminuirla.

Todos los factores que afecten a los procesos de absorción, al ciclo interno del nitrógeno, a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y a las pérdidas dentro del sistema suelo-planta van a influir en la eficiencia en el uso del nitrógeno. De este modo, el conocimiento detallado de todos estos factores es fundamental para lograr aumentos de la EUN. Seguidamente se recogen los principales factores que influyen la EUN en olivar:

- (1) Estado nutritivo de la planta. El estado nutritivo del olivo vendrá determinado fundamentalmente por el estado de sus órganos de reserva, siendo el análisis foliar la mejor forma de evaluarlo. Se ha observado que la aplicación de nitrógeno a plantas de olivo que presentaban un buen estado nutritivo en este elemento, redujo la eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que supuso que solo una pequeña proporción del nitrógeno aportado fuera absorbido. En plantas deficientes, por el contrario, casi el 70% del nitrógeno aplicado, bien al suelo bien vía foliar, fue absorbido por las plantas (Molina-Soria y Fernández-Escobar, 2005).
- (2) Suelo. Estudios como el de Klein (2002) muestran que cuando el suelo contiene cantidades adecuadas de nitrógeno disponible para las plantas la EUN disminuye, ya que la absorción de este elemento está regulada por la demanda de los órganos del cultivo y no será posible la manipulación externa del nitrógeno. Así, a la hora de decidir las dosis de nitrógeno a aplicar, hay que tener en cuenta otras fuentes de nitrógeno disponibles ajenas a los abonos (Apartado 2.4.4.1) como, por ejemplo, el agua de riego (Fernández-Escobar, 2008b) o la mineralización de la materia orgánica (Fernández-Escobar *et al.*, 2009).
- (3) Vecería. La vecería, resultado del ciclo productivo bienal característico del olivo, influye en la disponibilidad de reservas del árbol, con lo cual va a influir en la capacidad de absorción de la planta y, consecuentemente,

en la EUN. En el olivo el nitrógeno es almacenado en años de descarga para ser utilizado en años de carga, con lo cual la capacidad de absorción va a estar limitada en los años de carga, mientras que en los años de descarga esa capacidad aumenta (Fernández-Escobar, 2008b). Así, en igualdad de otras condiciones, la EUN va a ser más elevada en años de descarga y más reducida en años de carga.

- (4) Época de aplicación. Las aplicaciones de N durante el período de reposo invernal reducen la eficiencia en el uso del nitrógeno, ya que las raíces de los árboles están inactivas en este período, siendo incapaces de absorber el abono. Además, en el clima mediterráneo, las lluvias se concentran en invierno contribuyendo a las pérdidas por lixiviación y reduciendo aún más la EUN. De este modo, la fertilización nitrogenada debe hacerse a finales de invierno o comienzos de la primavera, cuando las raíces ya estén activas y no haya previsiones de lluvias intensas.
- (5) Forma de aplicación. Ya que las pérdidas de nitrógeno por lixiviación son mayores cuanto más elevadas sean las cantidades aplicadas (Lea-Cox y Syversten, 1996), es recomendable el fraccionamiento de las aplicaciones. Al fraccionar las aplicaciones se aplican dosis más bajas de nitrógeno lo cual conduce a que las cantidades recuperadas por el cultivo sean mayores (Feigenbaum *et al.*, 1987 y Nohrsted *et al.*, 2000) y a que la EUN aumente. De este modo, en olivar de secano es recomendable aportar una parte o la totalidad del nitrógeno por vía foliar y en olivar de regadío es preferible repartir el nitrógeno al suelo en varias aplicaciones (Fernández-Escobar, 2008b).
- (6) Interacciones entre nutrientes. Varios estudios han demostrado que existen interacciones entre los diferentes elementos nutritivos, de tal forma que una deficiencia o un exceso de un determinado nutriente puede originar una carencia o un mayor ritmo de absorción de otro elemento nutritivo. Respecto al nitrógeno, Urbano (2001) demostró en vid que una fertilización potásica equilibrada aumentó la asimilación de N y disminuyó los efectos negativos del exceso de nitrógeno. Olsen (1986) observó en maíz, que un adecuado suministro de potasio mejoró la utilización del amonio, afectando positivamente al rendimiento.

Salvagiotti y Miralles (2008) demostraron en plantas de trigo que al aumentar la concentración de azufre hasta los niveles adecuados aumentaba la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Para evaluar la EUN existen fundamentalmente dos métodos. Uno de ellos está basado en marcadores isotópicos, como por ejemplo el N₁₅, y el otro consiste en la determinación de la diferencia de absorción entre plantas fertilizadas y no fertilizadas. Esta evaluación puede hacerse a corto o a largo plazo, según el nutriente en cuestión. En el caso del nitrógeno se determina con más exactitud a corto plazo, debido a la movilidad característica de este elemento. Por último, la eficiencia de uso de un nutriente puede basarse en el rendimiento o en la producción de biomasa, según el tipo de cultivo, el nutriente en cuestión y el objetivo de la evaluación.

Existen en la bibliografía varias formas de expresar la EUN, la mayoría orientadas para cultivos extensivos. La elección de una u otra dependerá del cultivo, del producto cosechado, y de los procesos fisiológicos involucrados en la EUN en los que estemos interesados. De esta forma, las expresiones más utilizadas y definidas en la bibliografía son las siguientes (Good *et al.*, 2004):

- (1) **Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN)**: expresa la fracción del nitrógeno de los brotes destinada al crecimiento de la parte aérea.

$$EUN = PS / N$$

- (2) **Eficiencia fisiológica (EF)**: mide la eficiencia con la que el cultivo usa el nitrógeno absorbido para producir producto cosechable.

$$EF = Pf - Pc / Nf - Nc$$

- (3) **Eficiencia interna de utilización (EU)**: fracción del nitrógeno de la planta destinado al producto cosechable.

$$EU = Pf / Nf$$

- (4) **Eficiencia agronómica (EAg)**: mide la eficiencia para convertir el N aplicado en producto cosechable.

$$EAg = Pf - Pc / F$$

- (5) **Eficiencia de absorción (EA):** mide la eficiencia de absorción de N por la planta.

$$EA = Nf / F$$

- (6) **Eficiencia en el uso del nitrógeno – producción (EUNp):** refleja el incremento de producción por unidad de nitrógeno aplicado.

$$EUNp = Pf / F = EA \times EU$$

- (7) **Recuperación aparente de nitrógeno (RA):** mide el incremento de nitrógeno en la planta respecto al nitrógeno aplicado como fertilizante.

$$RA = (Nf - Nc / F) \times 100$$

Siendo:

Nf = contenido de N en plantas fertilizadas

Nc = contenido de N en plantas no fertilizadas

N = contenido de N en parte aérea

F = fertilizante nitrogenado aplicado

Pf = producción de las plantas fertilizadas

Pc = producción de las plantas control no fertilizadas

PS = Peso seco de la parte aérea

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Estudio de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno en variedades de olivo

3.1.1 Experimento 1

Este ensayo se llevó a cabo en el umbráculo del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba – Campus de Rabanales (Figura 5). Se emplearon las siguientes variedades: ‘Sikitita’, ‘Frantoio’, ‘Koroneiki’, ‘Cornicabra’, ‘Picual’, ‘Arbosana’, ‘Picholine marocaine’, ‘Manzanilla de Sevilla’ y ‘Empeltre’. Las plantas tenían una longitud inicial en la fecha en la que se les aplicó el primer tratamiento, que variaba entre 9 y 27cm, correspondiendo el valor más bajo a la variedad ‘Empeltre’ y el más alto a ‘Arbosana’.

El experimento tuvo un total de nueve tratamientos, constituyendo cada una de las variedades uno de ellos. Las plantas fueron trasladadas al umbráculo en el mes de julio de 2012 y trasplantadas a macetas de 1.1 L. Se estableció un diseño de entre 4 y 8 repeticiones, debiéndose la variación en el número de repeticiones a la disponibilidad de plantas de cada una de las variedades. Se realizaron 12 tratamientos con urea, aplicándose un total de 120 mg de N a cada planta tratada. El experimento finalizó 3 semanas después del último tratamiento, teniendo una duración total de 14 semanas.



Figura 5. Umbráculo del Departamento de Agronomía de la UCO – Campus de Rabanales. Al lado izquierdo se encuentra el experimento 3 y al derecho el experimento 1.

3.1.2 Experimento 2

Este ensayo transcurrió en una de las cámaras de crecimiento del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba – Campus de Rabanales (Figura 6). Esta cámara tenía una temperatura que variaba entre 15°C y 25°C, una humedad de alrededor de 70% y un fotoperiodo de 14 horas. Se emplearon las siguientes variedades: ‘Coratina’, ‘Manzanilla cacereña’, ‘Farga’, ‘Arbosana’, ‘Arbequina’, ‘Lechín de Granada’ y ‘Cobrançosa’. Las plantas tenían una longitud inicial que variaba entre 19 y 30 cm, correspondiendo el valor más bajo a la variedad ‘Cobrançosa’ y el más alto a ‘Arbequina’.

El experimento tuvo un total de siete tratamientos, constituyendo cada una de las variedades uno de ellos. La variedad ‘Arbosana’ se repitió con el objetivo de poder comparar ambos experimentos. Las plantas fueron trasladadas a la cámara en el mes de febrero de 2013 y trasplantadas a macetas de 1.1 L. Se estableció un diseño igual que el del experimento 1, descrito en el apartado 3.1.1. Se realizaron 9 tratamientos con urea, aplicándose un total de 90 mg de

N a cada planta tratada. El experimento finalizó 2 semanas después del último tratamiento, teniendo una duración total de 10 semanas.



Figura 6. Cámara de crecimiento del Departamento de Agronomía de la UCO – Campus de Rabanales. En la imagen se encuentran algunas de las plantas del experimento 4.

3.1.3 Material vegetal

Las plantas de olivo de las diferentes variedades utilizadas en los experimentos 1 y 2 fueron enraizadas en cámaras de nebulización presentes en las instalaciones del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba – Campus de Rabanales. El material vegetal empleado fueron estaquillas semileñosas recogidas en el Banco de Germoplasma Mundial de Olivo del IFAPA de Córdoba y de la Universidad de Córdoba.

3.1.4 Sustrato

El sustrato utilizado en los experimentos 1 y 2 fue una mezcla de arena y turba en la proporción 2:1.

3.2 Estudio de la influencia de la variedad y del tipo de suelo en la EUN

3.2.1 Experimento 3

Este tercer ensayo se realizó en el umbráculo del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba – Campus de Rabanales (Figura 5). Las plantas, procedentes de un vivero comercial, tenían una longitud inicial que variaba entre 28 y 37 cm, fueron trasladadas al umbráculo en el mes de junio de 2012 y trasplantadas a macetas de 2.5 L.

El ensayo tuvo un diseño factorial con siete repeticiones. Los factores fueron tipo de suelo (Fluvisol, Luvisol, Regosol y una mezcla de Arena y Turba) y variedad ('Picual', 'Arbequina', 'Frantoio' y 'Sikitita'). Así, el experimento tuvo un total de dieciséis tratamientos. Se realizaron 11 tratamientos con urea, aplicándose un total de 110 mg de N a cada planta tratada. El experimento finalizó 4 semanas después del último tratamiento, teniendo una duración total de 14 semanas.

3.2.2 Experimento 4

El cuarto ensayo se realizó en una cámara de crecimiento del Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba – Campus de Rabanales (Figura 6). Las condiciones ambientales de esta cámara están recogidas en el apartado 3.1.2. Las plantas, procedentes de un vivero comercial, tenían una longitud inicial que variaba entre 37 y 46 cm, fueron trasladadas a la cámara de crecimiento en el mes de diciembre de 2012 y trasplantadas a macetas de 2 L.

El ensayo tuvo un diseño factorial con seis repeticiones. Los factores fueron los mismos que en el experimento anterior, tipo de suelo (Fluvisol, Luvisol, Regosol y una mezcla de Arena y Turba) y variedad ('Picual',

‘Arbequina’, ‘Frantoio’ y ‘Sikitita’). Se realizaron 9 tratamientos con urea, aplicándose un total de 90 mg de N a cada planta tratada. El experimento finalizó 2 semanas después del último tratamiento, teniendo una duración total de 10 semanas.

3.2.3 Sustratos

El sustrato compuesto por una mezcla de arena y turba, en la relación 2:1, fue utilizado como control. Los otros tres sustratos utilizados fueron suelos naturales y presentaban características físico-químicas diferentes.

El primero es un Regosol procedente de la zona sur de Granada (latitud: 37° 6' 4" N; longitud: 3° 51' 9" W; altitud: 853 m). Es un suelo de características calizas (16.24% de caliza activa), textura franco y pH alcalino (8.31). Presenta altos contenidos en fósforo asimilable (24.0 p.p.m.), bajos contenidos de potasio asimilable (95 p.p.m.) y elevado riesgo de deficiencia de hierro (0.82%).

El segundo suelo es un Fluvisol de la zona de la vega del Guadalquivir y se recogió en la finca del IFAPA de Alameda del Obispo en Córdoba (latitud: 37° 51' 13" N; longitud: 4° 48' 14" W; altitud: 94 m). Es un suelo de características aluviales, textura franco y pH alcalino (8.34). Presenta bajos contenidos en caliza activa (1.80%), medios contenidos en fósforo asimilable (11.5 p.p.m), altos contenidos en potasio asimilable (260 p.p.m) y medio-bajo riesgo de deficiencia de hierro (1.62%).

El último es un Luvisol de la zona de las terrazas del Guadalquivir y se recogió en la finca de Rabanales de la Universidad de Córdoba (latitud: 37° 56' 4" N; longitud: 4° 43' 3" W; altitud: 165 m). Es un suelo con pH ligeramente ácido (6.90) y textura franco-arenoso. Presenta inexistencia de caliza activa (0.00%), medios contenidos en fósforo asimilable (14.4 p.p.m), medios contenidos en potasio asimilable (150 p.p.m) y medio-bajo riesgo de deficiencia de hierro (1.11%).

Las características de estos tres suelos se encuentran reflejadas en las tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6. Características físicas y químicas del Regosol.

Nombre Determinación	Resultado	Método
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	15.87 meq/100g	FOTOMÉTRICO
CALCIO DE CAMBIO	13.86meq/100g	VOLUMÉTRICO
MAGNESIO DE CAMBIO	1.39 meq/100g	VOLUMÉTRICO
SODIO DE CAMBIO	0.41 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
POTASIO DE CAMBIO	0.21 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
CARBONATOS	83.76%	GASOMÉTRICO
CALIZA ACTIVA	16.24%	GASOMÉTRICO
FÓSFORO ASIMILABLE (OLSEN)	24.0 p.p.m.	COLORIMÉTRICO
MATERIA ORGANICA OXIDABLE	1.78%	VOLUMÉTRICO
NITROGENO ORGANICO	0.10%	VOLUMÉTRICO
pH 1/2'5	8.31	PHMÉTRICO
PH EN CIK	7.77	PHMÉTRICO
POTASIO ASIMILABLE	95 p.p.m.	FOTOMÉTRICO
ARCILLA	23.9%	DENSIMÉTRICO
ARENA	30.2%	DENSIMÉTRICO
LIMO	45.9%	DENSIMÉTRICO
CLASIFICACION DE LA TEXTURA	Franco	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (1/5)	0.142 mmhos/cm	CONDUCTIMÉTRICO
COBRE	20 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
HIERRO	0.82%	ESPECTROFOTOMETRICO
MANGANESO	97 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
ZINC	16 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
BORO (EXTRACTO ACUOSO 1/5)	0.17 p.p.m.	COLORIMÉTRICO

Tabla 7. Características físicas y químicas del Fluvisol.

Nombre Determinación	Resultado	Método
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	17.39 meq/100g	FOTOMÉTRICO
CALCIO DE CAMBIO	12.48 meq/100g	VOLUMÉTRICO
MAGNESIO DE CAMBIO	3.97 meq/100g	VOLUMÉTRICO
SODIO DE CAMBIO	0.42 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
POTASIO DE CAMBIO	0.52 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
CARBONATOS	14.59%	GASOMÉTRICO
CALIZA ACTIVA	1.80%	GASOMÉTRICO
FÓSFORO ASIMILABLE (OLSEN)	11.5 p.p.m.	COLORIMÉTRICO
MATERIA ORGANICA OXIDABLE	2.01%	VOLUMÉTRICO
NITROGENO ORGANICO	0.13%	VOLUMÉTRICO
pH 1/2'5	8.34	PHMÉTRICO
PH EN CIK	7.62	PHMÉTRICO
POTASIO ASIMILABLE	260 p.p.m.	FOTOMÉTRICO
ARCILLA	14.3%	DENSIMÉTRICO
ARENA	49.5%	DENSIMÉTRICO
LIMO	36.2%	DENSIMÉTRICO
CLASIFICACION DE LA TEXTURA	Franco	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (1/5)	0.140 mmhos/cm	CONDUCTIMÉTRICO
COBRE	53 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
HIERRO	1.62%	ESPECTROFOTOMETRICO
MANGANESO	455 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
ZINC	58 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
BORO (EXTRACTO ACUOSO 1/5)	0.21 p.p.m.	COLORIMÉTRICO

Tabla 8. Características físicas y químicas del Luvisol.

Nombre Determinación	Resultado	Método
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	10.22 meq/100g	FOTOMÉTRICO
CALCIO DE CAMBIO	5.68 meq/100g	VOLUMÉTRICO
MAGNESIO DE CAMBIO	1.97 meq/100g	VOLUMÉTRICO
SODIO DE CAMBIO	0.47 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
POTASIO DE CAMBIO	0.34 meq/100g	ESPECTROFOTOMETRICO
CARBONATOS	0.00%	GASOMÉTRICO
CALIZA ACTIVA	0.00%	GASOMÉTRICO
FÓSFORO ASIMILABLE (OLSEN)	14.4 p.p.m.	COLORIMÉTRICO
MATERIA ORGANICA OXIDABLE	1.42%	VOLUMÉTRICO
NITROGENO ORGANICO	0.80%	VOLUMÉTRICO
pH 1/2'5	6.90	PHMÉTRICO
PH EN CIK	6.23	PHMÉTRICO
POTASIO ASIMILABLE	150 p.p.m.	FOTOMÉTRICO
ARCILLA	10.9%	DENSIMÉTRICO
ARENA	54.7%	DENSIMÉTRICO
LIMO	34.4%	DENSIMÉTRICO
CLASIFICACION DE LA TEXTURA	Franco-Arenoso	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (1/5)	0.245 mmhos/cm	CONDUCTIMÉTRICO
COBRE	14 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
HIERRO	1.11%	ESPECTROFOTOMETRICO
MANGANESO	403 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
ZINC	17 p.p.m.	ESPECTROFOTOMETRICO
BORO (EXTRACTO ACUOSO 1/5)	0.15 p.p.m.	COLORIMÉTRICO

3.3 Cultivo de plantas

Las plantas se trasladaron al lugar donde transcurrió cada uno de los ensayos y se les dio un mes de adaptación a las nuevas condiciones ambientales. Pasado ese tiempo de adaptación se seleccionaron grupos de plantas homogéneas y se dio comienzo a los ensayos. Se podaron a un solo brote y se trasplantaron a sus correspondientes macetas, eliminando por completo el sustrato que tenían y sustituyéndolo por el correspondiente a cada uno de los experimentos (ver apartados 3.1.4 y 3.2.3). Hecho el trasplante, las plantas se tutoraron con tutores de fibra sintética y se regaron con agua del grifo tres veces por semana a una dosis de 100 ml/riego. Una vez al mes se sustituyó uno de los riegos con agua por un riego con una solución nutritiva tipo Hoagland diluida a la mitad sin N, cuya composición se presenta a continuación:

Mg SO ₄ 0.5 M	1 mM
K (H ₂ PO ₄) 0.5 M	0.5 mM
CaCl ₂ 0.5 M	2.5 mM
KCl 0.5 M	2.5 mM
Fe (Ácido etileno diamino di(O-Hidroxifelnil) diacético	10 µM
Microelementos: 12.5 µM H ₃ BO ₃ , 1 µM MnSO ₄ , 1 µM ZnSO ₄ , 0.25 µM CuSO ₄ , 25 µM KCl y 0,2 µM (NH ₄)Mo ₇ O ₂₄ .	

3.4 Desarrollo de los experimentos

El desarrollo de los ensayos consistió en la aplicación de dos dosis de nitrógeno (0 y 100ppm) a diferentes plantas. Así, por cada planta sujeta al tratamiento con nitrógeno había una planta testigo de la misma variedad y en el mismo tipo de suelo. Estas plantas testigo fueron empleadas como controles para establecer el contenido inicial de N para el posterior cálculo de la EUN. La fuente de N empleada fue urea al 46% de modo que la dosis de 100 ppm contuvo 217 mg de urea/L. Los tratamientos se aplicaron semanalmente en forma de riego al suelo.

3.5 Medidas realizadas

3.5.1 Crecimiento vegetativo

Durante el desarrollo de los cuatro ensayos se realizaron medidas semanales del crecimiento del brote principal y de los nuevos brotes laterales de cada una de las plantas.

3.5.2 Concentración de nitrógeno

3.5.2.1 Preparación de las muestras

Una vez finalizados los ensayos, las plantas se extrajeron de sus macetas, se quitó todo el suelo con la ayuda de agua y se separó hoja, tallo y raíz. Cada órgano fue pesado en fresco, lavado con agua destilada e introducido en un sobre de papel. Las muestras fueron secadas en una estufa a 80° C durante 48 horas. Después de secas se obtuvo su peso seco y se procedió a la molienda. Una vez molidas, las muestras se conservaron en una estufa a 60° C hasta el día del análisis de su contenido en nitrógeno.

3.5.2.2 Análisis de nitrógeno

Para el análisis de la concentración de nitrógeno en los diferentes órganos de la planta se empleó el analizador de nitrógeno Eurovector EA 3000 existente en la Unidad de Espectroscopia de la Universidad de Córdoba (SCAI). Este instrumento basa su análisis en el método Dumas para la determinación de elementos mediante un proceso de combustión. En base a dicho método, se prepara una muestra de entre 1.5 y 2.0 mg en un crisol de estaño y se incorpora al horno de este analizador, que alcanza una temperatura de 1200° C, junto con una determinada cantidad de O₂. Los gases generados de la combustión son arrastrados mediante un gas inerte (He) a una columna cromatográfica donde se procede a su separación y detección mediante un detector de conductividad térmica.

3.5.3 Contenido de nitrógeno

Determinada la concentración de nitrógeno de cada uno de los órganos de la planta y conocido el peso seco correspondiente, se procedió al cálculo del contenido de nitrógeno en cada uno de los órganos de las diferentes plantas. Conocido el contenido de los diferentes órganos se determinó el contenido de nitrógeno total de cada una de las plantas de los diferentes ensayos.

3.5.4 Eficiencia en el uso del nitrógeno

El cálculo de la EUN se ha realizado a través de los siguientes índices:

- **Eficiencia en la Absorción (EA):** este índice mide la eficiencia con que la planta absorbe el nitrógeno aplicado y ha sido el que tradicionalmente se ha empleado para medir la EUN en plantas leñosas.

$$EA = (N_f - N_c / F) \times 100$$

- **Eficiencia en la Utilización (EU):** nos indica la fracción de nitrógeno destinada a la formación de biomasa

$$EU = PS / N$$

Siendo:

N_f = mg de N de las plantas tratadas con N

N_c = mg de N de las plantas control

PS = mg de peso seco de las plantas tratadas con N

N = mg de N de las plantas tratadas con N

F = mg de N aplicados

3.6 Análisis estadístico

Para los cuatro ensayos se realizó un análisis de la varianza empleando el programa informático Statistix 8.0. Para cada uno de los ensayos se analizó el crecimiento vegetativo acumulado, la concentración y contenido en nitrógeno de los diferentes órganos de las plantas (hoja, tallo y raíz), la eficiencia en la absorción y la eficiencia en la utilización del nitrógeno. Debido a la gran heterogeneidad de los datos relativos al crecimiento vegetativo acumulado, en su análisis se omitieron los valores extremos de cada tratamiento. También a estos datos se aplicó la transformación logarítmica para obtener valores con una distribución normal y una varianza uniforme. A los datos relativos a la concentración, como eran valores muy bajos, se les aplicó la transformación angular. A los datos correspondientes al contenido, cuando fue necesario, se les aplicó la transformación angular o de la raíz cuadrada por las mismas razones de los casos citados anteriormente.

4 RESULTADOS

4.1 Estudio de la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno en variedades de olivo

4.1.1 Crecimiento vegetativo

Las figuras 7 y 8 muestran la evolución del crecimiento vegetativo de las diferentes variedades empleadas en los experimentos 1 y 2. En la figura 7 podemos observar que hubo una gran diferencia en el tamaño inicial de las plantas de las diferentes variedades. Con un tamaño inicial de alrededor de 25 cm, 'Frantoio', 'Koroneiki', 'Sikitita' y 'Arbosana' formaron el grupo de variedades con mayores y más homogéneos tamaños iniciales. Las demás variedades presentaron tamaños iniciales menores y más heterogéneos, variando entre 8 y 20 cm, aproximadamente. La tasa de crecimiento de estas últimas fue pequeño comparado con las que iniciaron el crecimiento más grandes.

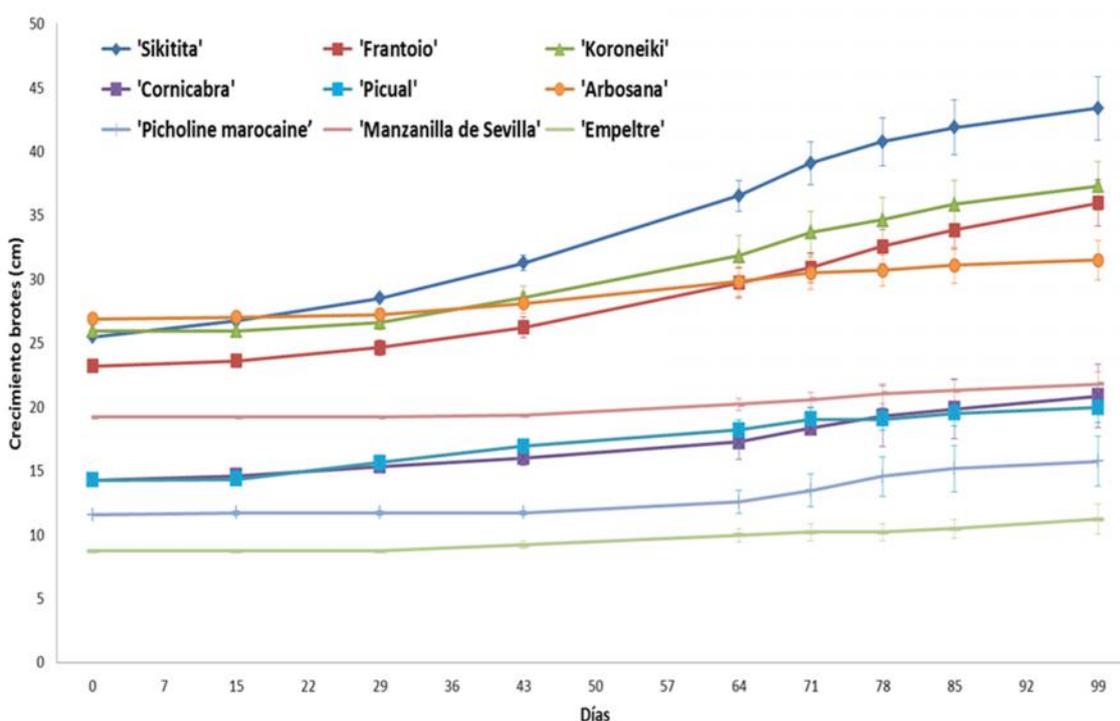


Figura 7. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

En la figura 8 observamos que el tamaño inicial de las plantas de las diferentes variedades fue más homogéneo que en el experimento 1. 'Arbequina' fue la única variedad que presentó plantas con un tamaño inicial un poco superior a las demás, aunque sin diferencia significativa. También se observa que hasta el día 21 prácticamente no hubo diferencias varietales respecto al crecimiento. A partir de ahí la variedad 'Manzanilla cacereña' empezó a presentar crecimientos superiores a las demás, llegando al final del experimento con un crecimiento significativamente superior al resto de las variedades.

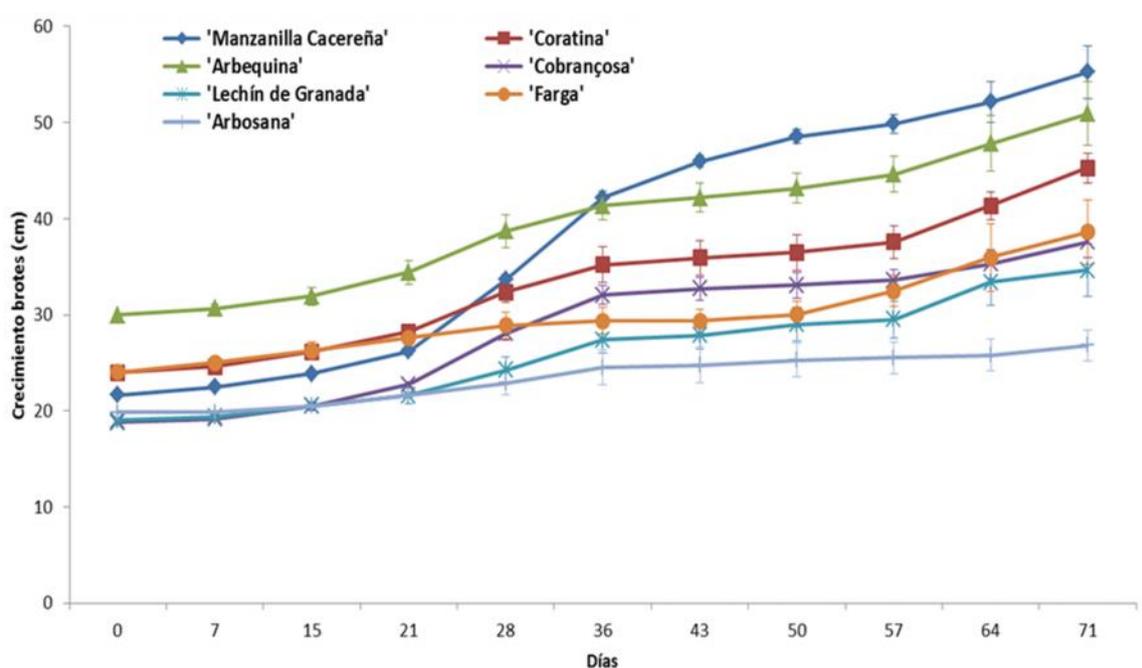


Figura 8. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

En el experimento 1, la variedad 'Sikitita' presentó un crecimiento superior a las demás variedades desde las etapas iniciales del ensayo (Figura 7), llegando al final del experimento con un crecimiento vegetativo significativamente superior al resto (Figura 9). Fueron una excepción a lo anteriormente referido las variedades 'Frantoio' y 'Koroneiki', que se empezaron a separar del grupo de variedades con crecimientos más reducidos

a partir del día 43, formando un grupo de crecimiento intermedio. Las demás variedades formaron un grupo de crecimientos vegetativos reducidos.

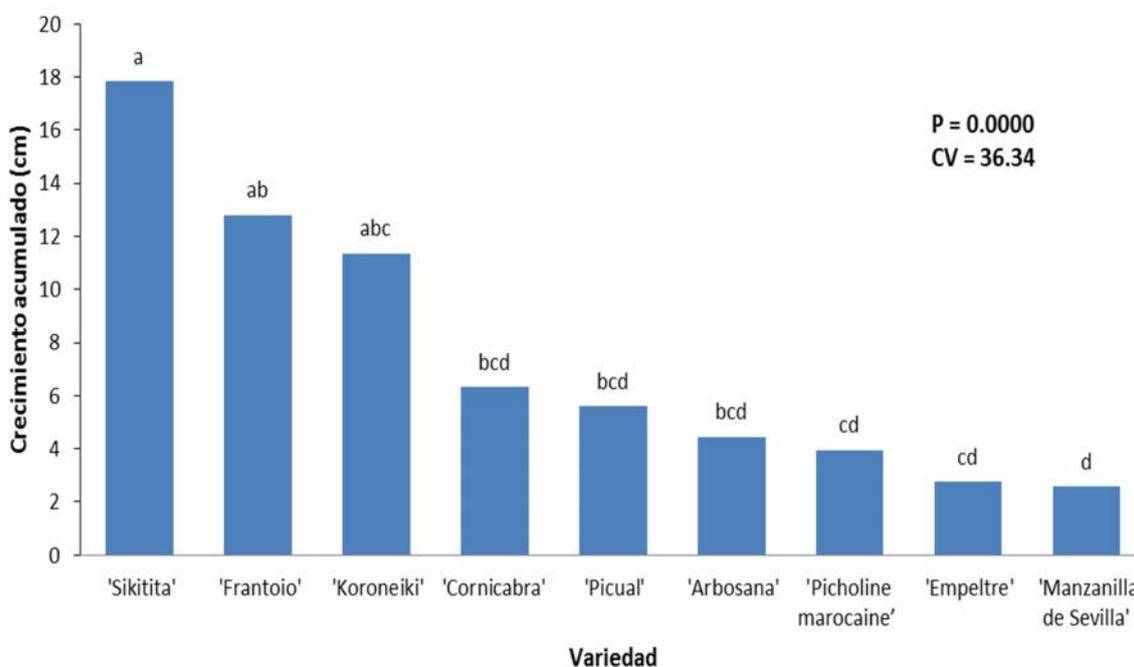


Figura 9. Crecimiento acumulado de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N. Letras diferentes en cada barra significan diferencias significativas para $P < 0.05$.

Comparando los resultados de los crecimientos vegetativos acumulados con los tamaños iniciales de las plantas en el primer experimento, se verifica que, a excepción de 'Arbosana', las variedades con mayores tamaños iniciales fueron las que presentaron mayores crecimientos y las que tenían tamaños iniciales más reducidos fueron las que crecieron menos.

La variedad 'Arbosana' siguió el mismo patrón de crecimiento en los dos experimentos (Figuras 9 y 10), integrando en ambos el grupo de variedades que presentaron menores crecimientos.

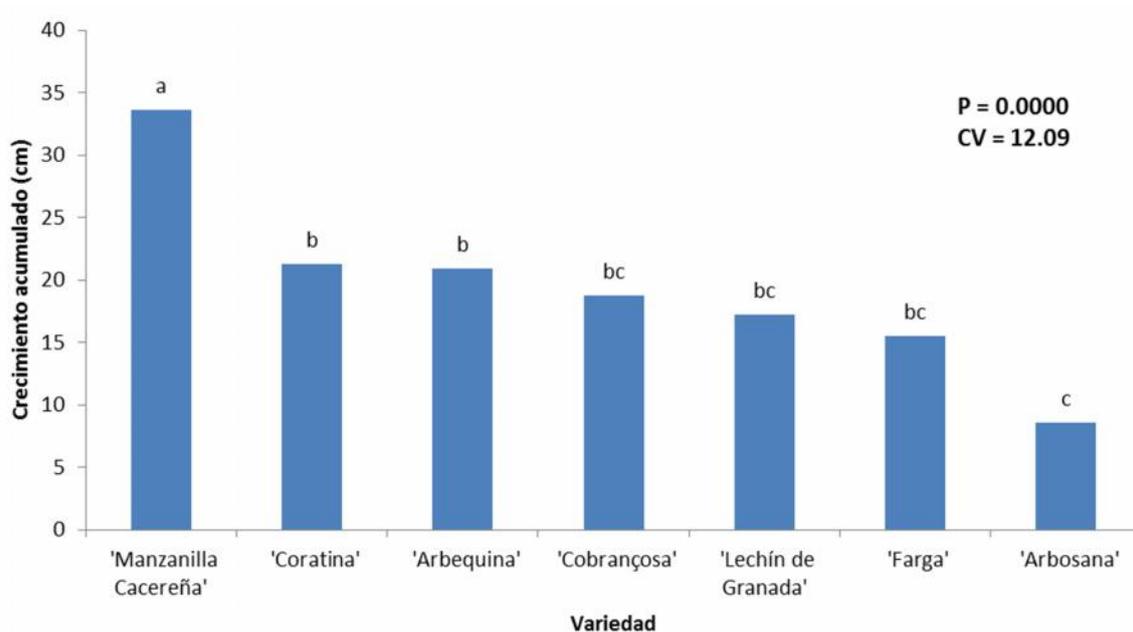


Figura 10. Crecimiento acumulado de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N. Letras diferentes en cada barra significan diferencias significativas para $P < 0.05$.

4.1.2 Concentración y contenido de nitrógeno

En las tablas 9 y 10 se muestran las concentraciones de nitrógeno para cada variedad y su distribución en los diferentes órganos de la planta. El primer resultado que cabe señalar es que, a excepción de 'Coratina', todas las variedades repartieron de igual modo el nitrógeno, registrándose las concentraciones más elevadas en la hoja y las más reducidas en el tallo. Por el contrario, la variedad 'Coratina' registró la concentración más alta en la raíz y la más baja en tallo. En el experimento 1 (Tabla 9), las variaciones de la concentración en hoja de las diferentes variedades fueron menores que las variaciones registradas para el mismo órgano en el experimento 2 (Tabla 10), siendo el rango del experimento 1 de entre 1.70 y 2.06% y en el experimento 2 de entre 1.46 y 2.50%. En cualquier caso, concentraciones dentro del nivel de suficiencia en nitrógeno.

Tabla 9. Concentración de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

VARIETADES	CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO (% MS)		
	HOJA	TALLO	RAÍZ
'Empeltre'	2.06 a	0.84	1.61 ab
'Picual'	1.99 ab	0.99	1.71 a
'Koroneiki'	1.97 ab	1.06	1.41 b
'Cornicabra'	1.90 abc	0.95	1.52 ab
'Sikitita'	1.89 abc	1.01	1.43 b
'Frantoio'	1.79 abc	1.04	1.39 b
'Arbosana'	1.77 abc	1.06	1.64 ab
'Picholine marocaine'	1.71 bc	1.07	1.63 ab
'Manzanilla de Sevilla'	1.70 c	1.03	1.58 ab
Significación	**	NS	**
CV (%) (1)	5.31	12.71	6.44

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

** Significativo a P 0.01

(1) Coeficiente de variación

Tabla 10. Concentración de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

VARIETADES	CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO (% MS)		
	HOJA	TALLO	RAÍZ
'Cobrançosa'	2.50 a	0.96 b	1.73 bc
'Arbosana'	2.14 b	1.27 a	2.12 a
'Lechín de Granada'	2.13 b	1.05 ab	1.85 b
'Arbequina'	1.89 bc	1.09 ab	1.55 d
'Farga'	1.75 c	0.99 b	1.47 d
'Manzanilla cacereña'	1.68 c	0.73 c	1.45 d
'Coratina'	1.46 d	0.93 b	1.59 cd
Significación	***	***	***
CV (%) (1)	3.64	5.40	3.57

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*** Significativo a P 0.001

(1) Coeficiente de variación

En el análisis de la tabla 9 podemos observar que se han establecido tres grupos diferenciados para la concentración de N en hoja. Así, 'Empeltre', 'Picual' y 'Koroneiki' fueron las variedades que presentaron las mayores concentraciones, siendo significativamente diferentes de 'Manzanilla de Sevilla', que obtuvo los valores más bajos. Las otras variedades mostraron concentraciones intermedias.

En la tabla 10 constatamos que se establecieron cinco grupos diferenciados para la concentración en hoja. Fueron más extremos, diferenciándose de forma significativa de todas las demás, 'Cobrançosa', con el valor máximo, y 'Coratina', con el valor mínimo. 'Arbosana' y 'Lechín de Granada' formaron un grupo de concentraciones altas, mientras que, 'Farga' y 'Manzanilla cacereña' formaron un grupo de concentraciones bajas. 'Arbequina' adoptó la posición intermedia de la tabla, diferenciándose solamente de las variedades extremas.

'Arbosana' integró en ambos ensayos el grupo de las concentraciones medias pero, aun así, hubo cierta diferencia en el comportamiento de esta variedad. En el experimento 1, con una concentración en hoja de 1.77%, se acercó bastante del grupo de variedades con los valores más bajos, mientras que en el experimento 2, con una concentración en hoja de 2.14%, fue la que más se acercó de 'Cobrançosa', que fue la variedad con valores más elevados.

Los valores relativos a los contenidos vienen reflejados en las tablas 11 y 12. De igual modo que para la concentración, también a través del contenido observamos que el nitrógeno se reparte de igual modo en todas las variedades, siendo la hoja el órgano que muestra los valores más altos y el tallo los más bajos. Incluso 'Coratina', que para la concentración seguía otro patrón, en el contenido se comporta de igual modo que las restantes variedades. Por la comparación de las dos tablas observamos también que los valores de contenido de las plantas del experimento 2 (Tabla 12), llevado a cabo en la cámara de crecimiento, son considerablemente más altos que los del experimento 1 (Tabla 11), llevado a cabo en el umbráculo. La diferente ubicación de los experimentos puede ser la explicación de estas diferencias.

Así, en el experimento 1, los contenidos totales variaron entre 32.43 y 90.55 mg, mientras que en el experimento 2 el rango fue de entre 70.15 y 130.76 mg.

Tabla 11. Contenido de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 1 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

VARIETADES	CONTENIDO DE NITRÓGENO (mg)			
	HOJA	TALLO	RAÍZ	TOTAL
'Koroneiki'	53.33 a	21.33 a	15.90 ab	90.55 a
'Arbosana'	53.16 a	15.32 ab	19.85 ab	88.34 a
'Sikitita'	53.24 a	15.64 ab	17.35 ab	86.22 a
'Frantoio'	42.92 ab	17.98 ab	22.70 a	83.59 a
'Manzanilla de Sevilla'	28.95 bc	11.36 bc	12.54 bc	52.85 b
'Picual'	29.71 bc	8.17 cd	10.41 c	48.28 b
'Cornicabra'	24.49 c	7.42 cd	8.79 c	40.67 b
'Empeltre'	21.87 c	7.34 cd	8.96 c	38.18 b
'Picholine marocaine'	18.07 c	5.28 d	9.08 c	32.43 b
Significación	***	***	***	***
CV (%) (1)	7.46	12.58	9.03	6.31

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*** Significativo a P 0.001

(1) Coeficiente de variación

Tabla 12. Contenido de nitrógeno en hoja, tallo y raíz de las plantas de olivo del experimento 2 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

VARIETADES	CONTENIDO DE NITRÓGENO (mg)			
	HOJA	TALLO	RAÍZ	TOTAL
'Arbequina'	82.35 a	28.59 a	19.82	130.76 a
'Cobrançosa'	77.16 ab	21.29 ab	18.51	116.97 ab
'Manzanilla cacereña'	69.62 abc	20.94 ab	22.20	112.77 ab
'Arbosana'	63.12 abcd	19.29 ab	22.30	104.71 abc
'Coratina'	56.28 bcd	21.68 ab	19.45	97.41 abc
'Lechín de Granada'	46.32 cd	16.19 b	14.86	77.37 bc
'Farga'	36.13 d	19.49 ab	14.54	70.15 c
Significación	***	*	NS	***
CV (%) (1)	13.27	13.83	13.49	12.18

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*, *** Significativo a P 0.05, P 0.001

(1) Coeficiente de variación

En el experimento 1 (Tabla 11), relativo al contenido total de nitrógeno, hubo una clara diferenciación de dos grupos de variedades. 'Koroneiki', 'Arbosana', 'Sikitita' y 'Frantoio' presentaron los valores más altos, con contenidos significativamente superiores a 'Manzanilla de Sevilla', 'Picual', 'Cornicabra', 'Empeltre' y 'Picholine marocaine', que integraron el grupo de variedades con los contenidos totales de nitrógeno más bajos.

En el experimento 2 (Tabla 12) la división no fue tan clara pero también se apreciaron diferencias significativas. Así, 'Arbequina', 'Cobrançosa' y 'Manzanilla cacereña' formaron el grupo de variedades con los contenidos totales de nitrógeno más elevados, diferenciándose significativamente de 'Farga', que fue donde se verificaron los niveles más bajos. 'Arbosana', 'Coratina' y 'Lechín de Granada' presentaron valores intermedios.

Respecto al contenido total, 'Arbosana' no mostró concordancia entre los dos experimentos. Por un lado, en el experimento 1, con valores de 88.34 mg, integró el grupo de variedades que presentaron los valores más altos. Por otro

lado, en el experimento 2, con valores de 104.71 mg, integró el grupo de variedades con valores intermedios.

4.1.3 Eficiencia en el Uso del Nitrógeno

El análisis de la Eficiencia de en la Absorción (EA) del experimento 1 (Tabla13) ha resultado en diferencias significativas, estableciéndose cuatro grupos distintos. Por un lado 'Sikitita', con una EA de 43.36%, ha sido la variedad más eficiente y por otro 'Picholine marocaine', con un valor marcadamente inferior (9.55%), ha resultado la menos eficiente. Entre estas dos variedades podemos establecer dos grupos intermedios, uno con valores más altos formado por 'Koroneiki', 'Arbosana' y 'Picual', y otro con valores más bajos formado por 'Frantoio', 'Manzanilla de Sevilla', 'Empeltre' y 'Cornicabra'.

Tabla 13. Índices de EUN en las diferentes variedades de olivo del experimento 1 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.

VARIETADES	Eficiencia en la Absorción (%)	Eficiencia en la Utilización
'Sikitita'	43.36 a	65.17
'Koroneiki'	32.23 ab	65.37
'Arbosana'	30.72 abc	62.85
'Picual'	26.00 abc	60.53
'Frantoio'	22.04 bc	68.95
'Manzanilla de Sevilla'	15.66 bc	68.95
'Empeltre'	14.37 bc	64.42
'Cornicabra'	13.66 bc	66.10
'Picholine marocaine'	9.55 c	65.51
Significación	***	NS
CV (%) (1)	30.64	6.7

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*** Significativo a P 0.001

(1) Coeficiente de variación

Observando la tabla 14 concluimos que 'Arbequina', con una EA de 58,40%, fue la variedad más eficiente del experimento 2, diferenciándose

significativamente de 'Cobrançosa' y 'Lechín de Granada', que mostraron ser las menos eficientes, con valores de 22.81% y 4.21%, respectivamente. Las demás variedades obtuvieron valores de EA intermedios. 'Arbosana' mostró un comportamiento similar en ambos experimentos. En el experimento 1, con una EA de 30.72%, integró el grupo de variedades con eficiencias medio-altas. En el experimento 2, con una EA de 27.68%, integró el grupo de variedades con eficiencias medias.

Tabla 14. Índices de EUN en las diferentes variedades de olivo del experimento 2 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.

VARIETADES	Eficiencia en la Absorción (%)	Eficiencia en la Utilización
'Arbequina'	58.40 a	63.72 bc
'Manzanilla cacereña'	36.01 ab	76.26 a
'Coratina'	31.68 ab	76.35 a
'Farga'	28.91 ab	71.29 ab
'Arbosana'	27.68 ab	52.89 d
'Cobrançosa'	22.81 b	54.76 d
'Lechín de Granada'	4.21 b	58.79 cd
Significación	*	***
CV (%) (1)	29.34	5.86

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*, *** Significativo a P 0.05, P 0.001

(1) Coeficiente de variación

Respecto a la eficiencia de utilización de N (EU), las variedades 'Manzanilla cacereña' y 'Coratina' fueron las que mostraron mayores eficiencias, diferenciándose significativamente de 'Arbosana', 'Cobrançosa', 'Arbequina' y 'Lechín de Granada'.

De los datos recogidos en las Tablas 13 y 14 se puede apreciar también que no existe relación entre los índices de EUN evaluados en este trabajo, reflejado por un bajo coeficiente de correlación lineal cuando se combinaron los datos de ambos experimentos ($r = -0,13$) que no resultó significativo. En otras palabras, las variedades más eficientes en la absorción no han resultado ser

las más eficientes en la utilización. Tampoco han resultado relacionados estos dos índices con el crecimiento final de las variedades estudiadas (Figuras 11 y 12), con unos coeficientes obtenidos al combinar los datos de ambos experimentos de $r=0,20$ para la eficiencia en la absorción y $r=0,26$ para la eficiencia en la utilización.

4.2 Estudio de la influencia de la variedad y del tipo de suelo en la EUN

4.2.1 Crecimiento vegetativo

En las figuras 11 y 12 se refleja la evolución del crecimiento vegetativo de los diferentes tratamientos presentes en los experimentos 3 y 4. Del análisis del crecimiento podemos decir que la velocidad de crecimiento y las diferencias entre tratamientos van aumentando con el tiempo. El comportamiento de los diferentes suelos se mantuvo en ambos experimentos, observándose los mayores crecimientos en Luvisol y Fluvisol, y siendo los más bajos en Turba. Las plantas presentes en Regosol presentaron un crecimiento intermedio y menor variación entre las diferentes variedades. Por el contrario, respecto a las variedades hubo diferencias en el patrón de crecimiento de las plantas del experimento 3 y las del 4.

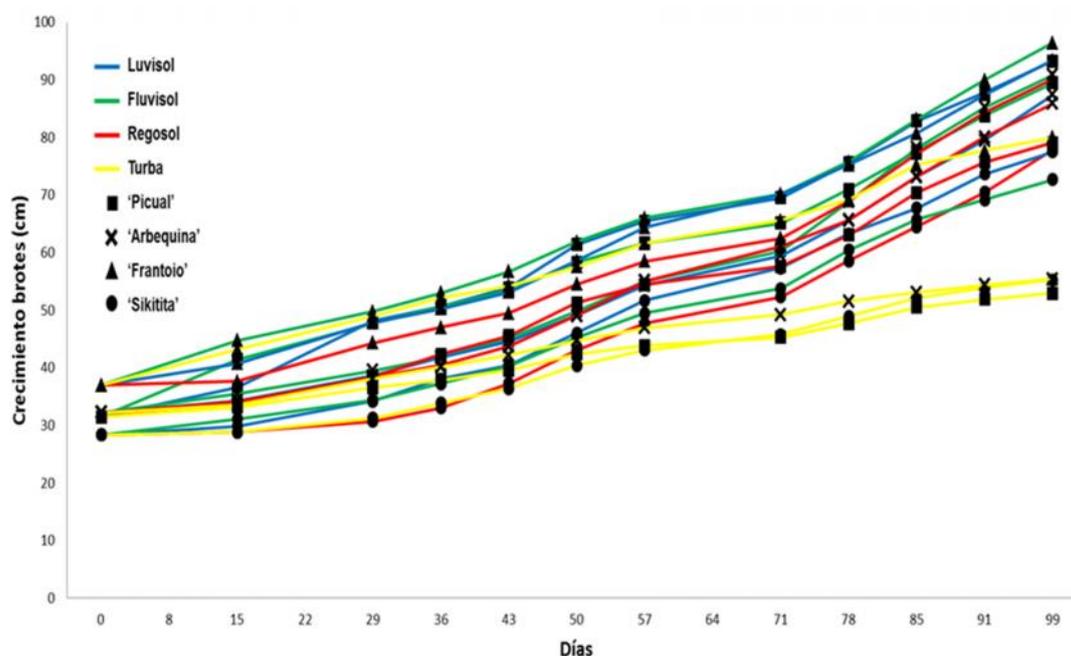


Figura 11. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 3 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

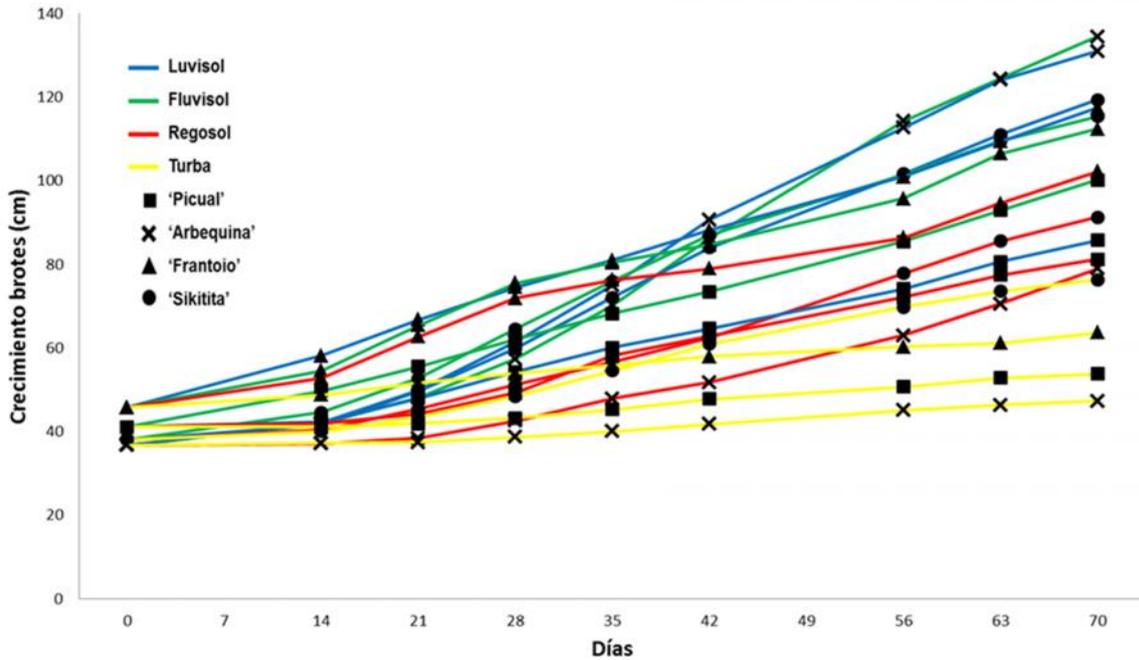


Figura 12. Evolución del crecimiento vegetativo de las plantas de olivo del experimento 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

Al igual que en el estudio anterior, en el experimento 4, realizado en la cámara de crecimiento, se aprecia una mayor velocidad de crecimiento e incrementos casi dos veces superiores a los observados en el experimento 3, que se llevó a cabo en el umbráculo. También en el experimento 4 se han observado mayores diferencias entre tratamientos, lo cual se refleja en la figura 13, donde se muestran las interacciones entre suelos y variedades para el crecimiento acumulado a lo largo de todo el experimento.

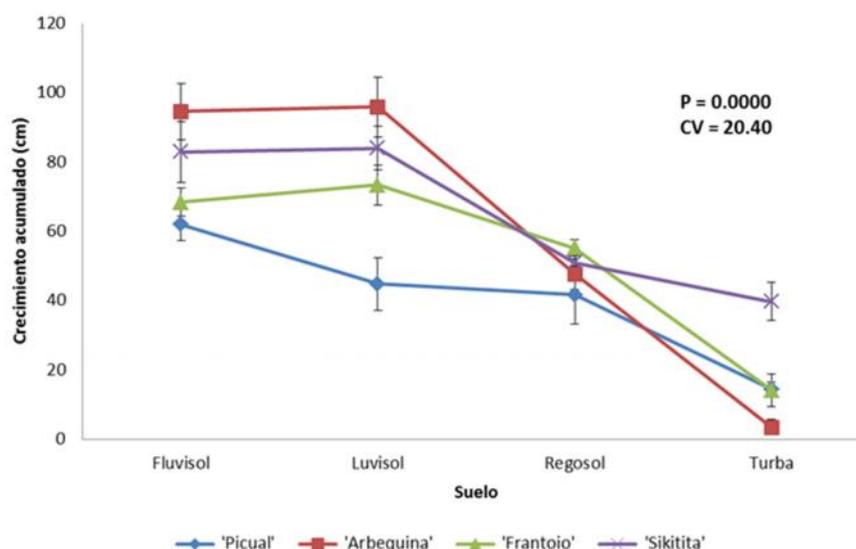


Figura 13. Interacción Suelo x Variedad en el crecimiento vegetativo acumulado de las plantas de olivo del experimento 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

En el análisis de la figura 13 observamos que, a excepción de 'Picual' que presenta un crecimiento marcadamente menor en Luvisol, todas las variedades se comportan de forma similar en los diferentes suelos. Así, los mayores crecimientos se apreciaron en Fluvisol y Luvisol, después con un crecimiento intermedio se encontraron las plantas presentes en Regosol y, por último, los menores crecimientos ocurrieron en Turba. En el sustrato Turba, la reducción del crecimiento fue menos acusada en 'Sikitita' que en las demás variedades. 'Arbequina' fue la variedad que tuvo mayores diferencias en el crecimiento según el suelo donde se cultivó, presentando un acusado descenso en Regosol. Respecto al vigor, en Fluvisol y Luvisol el patrón fue: 'Arbequina' > 'Sikitita' > 'Frantoio' > 'Picual'; en Turba fue: 'Sikitita' > 'Frantoio' = 'Picual' > 'Arbequina'; y en Regosol no hubo diferencias varietales.

Por otro lado, en el experimento 3, la única diferencia significativa que se aprecia es el menor crecimiento de las plantas presentes en turba. Así, omitiendo estas plantas del análisis estadístico, comprobamos que no existe interacción entre los factores suelo y variedad, ni diferencias significativas entre ninguno de los factores (Tabla 15).

Tabla 15. Crecimiento vegetativo acumulado de las plantas de olivo del experimento 3 sometidas a una dosis de 100 ppm de N.

CRECIMIENTO ACUMULADO SIN TURBA (cm)	
Suelo	
Fluvisol	57.36
Luvisol	55.9
Regosol	51.5
Significación	NS
Variedad	
'Picual'	56.88
'Arbequina'	55.92
'Frantoio'	57.29
'Sikitita'	49.57
Significación	NS
CV (%) (1)	3.87

(1) Coeficiente de variación

4.2.2 Concentración y contenido de nitrógeno

En las tablas 16 y 17 se presentan los valores de concentración y contenido de nitrógeno de cada uno de los órganos de las plantas de los experimentos 3 y 4.

Tabla 16. Concentración de nitrógeno presente en los distintos órganos de las plantas de olivo de los experimentos 3 y 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N

		CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO (%)					
		HOJA		TALLO		RAÍZ	
		Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4
SUELO	Fluvisol	2.00 a		1.11		1.56 a	
	Luvisol	1.87 b		1.18		1.56 a	
	Regosol	2.00 a		1.17		1.61 a	
	Turba	1.87 b		1.18		1.37 b	
SIGNIFICACIÓN		*		NS		***	
VARIEDAD	'Picual'	2.03 a		1.31 a		1.56 ab	
	'Arbequina'	2.00 a		1.14 b		1.44 c	
	'Frantoio'	1.87 b		1.13 b		1.64 a	
	'Sikitita'	1.84 b		1.05 c		1.46 bc	
SIGNIFICACIÓN		**		***		**	
INTERACCIÓN	'Picual' - Fluvisol		2.50 abcd		0.9 d		1.73 b
	'Picual' - Luvisol		2.12 d		0.93 cd		1.65 b
	'Picual' - Regosol		2.7 a		1.22 ab		2.12 a
	'Picual' - Turba		2.44 abcd		1.17 abc		1.61 b
	'Arbequina' - Fluvisol		2.38 abcd		1.24 ab		1.73 b
	'Arbequina' - Luvisol		2.27 bcd		1.04 abcd		1.61 b
	'Arbequina' - Regosol		2.69 a		1.09 abcd		1.63 b
	'Arbequina' - Turba		2.12 cd		1.09 abcd		1.84 ab
	'Frantoio' - Fluvisol		2.25 bcd		1.12 abcd		1.64 b
	'Frantoio' - Luvisol		2.38 abcd		0.87 d		1.76 b
	'Frantoio' - Regosol		2.55 abc		0.99 bcd		1.66 b
	'Frantoio' - Turba		2.33 abcd		1.14 abcd		1.81 ab
	'Sikitita' - Fluvisol		2.67 a		1.28 ab		1.77 b
	'Sikitita' - Luvisol		2.6 ab		1.27 ab		1.54 b
	'Sikitita' - Regosol		2.5 abcd		1.33 ab		1.73 b
'Sikitita' - Turba		2.56 ab		1.3 a		1.72 b	
SIGNIFICACIÓN			***		***		***
CV (%) (1)		5.58	4.03	5.25	6.06	6.67	4.91

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*, **, *** Significativo a P 0.05, P 0.01, P 0.001

(1) Coeficiente de variación

4. RESULTADOS

Tabla 17. Contenido de nitrógeno presente en los distintos órganos de las plantas de olivo de los experimentos 3 y 4 sometidas a una dosis de 100 ppm de N

		CONTENIDO DE NITRÓGENO (mg)							
		HOJA		TALLO		RAÍZ		TOTAL	
		Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4
SUELO	Fluvisol	77.66 a		35.86 ab		39.08	52.93 a	152.60 a	
	Luvisol	79.74 a		40.99 a		40.18	50.70 a	160.76 a	
	Regosol	72.62 a		35.95 ab		37.79	48.62 a	146.35 ab	
	Turba	61.76 b		33.44 b		38.86	35.78 b	134.05 b	
SIGNIFICACIÓN		**		**		NS	**	***	
VARIEDAD	'Picual'	74.85 ab		39.00 ab		38.12 b	39.52 c	151.97 b	
	'Arbequina'	74.50 ab		37.58 b		28.06 c	31.30 c	140.15 bc	
	'Frantoio'	76.80 a		43.56 a		55.24 a	53.24 b	175.63 a	
	'Sikitita'	65.61 b		26.07 c		34.33 bc	63.96 a	126.01 c	
SIGNIFICACIÓN		*		***		***	***	***	
INTERACCIÓN	'Picual' - Fluvisol		127.56 abc		35.23 bc				202.92 abcdef
	'Picual' - Luvisol		95.00 bcd		30.85 bc				163.93 cdef
	'Picual' - Regosol		118.15 abcd		45.53 abc				212.6 abcde
	'Picual' - Turba		74.96 d		28.00 c				132.74 ef
	'Arbequina' - Fluvisol		144.11 ab		49.29 abc				236.33 abcde
	'Arbequina' - Luvisol		145.73 ab		37.05 abc				222.15 abcde
	'Arbequina' - Regosol		113.38 abcd		30.22 bc				177.78 bcdef
	'Arbequina' - Turba		73.86 d		23.96 c				118.94 f
	'Frantoio' - Fluvisol		153.96 a		59.43 a				284.62 a
	'Frantoio' - Luvisol		157.72 a		40.01 abc				256.18 ab
	'Frantoio' - Regosol		136.95 ab		40.58 abc				227.06 abcd
	'Frantoio' - Turba		80.51 cd		29.03 bc				143.31 def
	'Sikitita' - Fluvisol		137.85 ab		49.18 ab				251.36 abc
	'Sikitita' - Luvisol		142.59 ab		44.55 abc				257.79 ab
'Sikitita' - Regosol		102.93 abcd		39.80 abc				203.67 abcdef	
'Sikitita' - Turba		115.23 abcd		44.81 abc				219.96 abcde	
SIGNIFICACIÓN			*		*				*
CV (%) (1)		14.79	11.9	12.56	14.16	18.67	15.08	8.31	11.8

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*, **, *** Significativo a P 0.05, P 0.01, P 0.001

(1) Coeficiente de variación

Su análisis permite observar que el reparto del nitrógeno dentro de las plantas siguió los patrones recogidos en la bibliografía, verificándose las concentraciones y los contenidos más altos en hoja y los más bajos en tallo. Se observa también que mientras que en el experimento 3, en condiciones de umbráculo, no hubo ninguna interacción, en el experimento 4, en condiciones de cámara, a excepción del contenido en raíz, hubo siempre interacción entre el factor suelo y el factor variedad. En el experimento 3 donde no se encontraron interacciones entre los factores analizados, si que se han encontrado diferencias entre los tratamientos para cada factor por separado, a

excepción de la concentración en tallo y el contenido en raíz para el factor suelo.

En el análisis del experimento 3 podemos comprobar que 'Picual' y 'Arbequina' son las variedades que presentan las concentraciones de N en hoja más altas, diferenciándose significativamente de 'Frantoio' y 'Sikitita' (Tabla 16). Pero estos resultados no se relacionan con los del contenido total, donde fue 'Frantoio' la variedad que obtuvo los valores más altos, diferenciándose significativamente de las demás variedades (Tabla 17). 'Sikitita' presentó los valores más bajos de contenido de N, situándose 'Picual' y 'Arbequina' en posición intermedia. También en el experimento 3 se aprecia que las plantas cultivadas en Fluvisol y en Regosol fueron las que registraron concentraciones de N en hoja más elevadas. Respecto al contenido total fueron las plantas cultivadas en Luvisol las que presentaron los valores más elevados, compartiendo grupo con las plantas de Fluvisol y diferenciándose significativamente de las de Turba, que fue el sustrato donde se registraron los contenidos y las concentraciones más bajas.

En el experimento 4 se han encontrado interacciones en casi todos los parámetros evaluados. Así, a excepción de 'Sikitita', todas las variedades presentaron variaciones en la concentración en hoja y/o en el contenido total de N según el suelo donde fueron cultivadas. Lo mismo podemos decir del análisis del comportamiento de las diferentes variedades en el mismo suelo, donde a excepción de Regosol, todos los sustratos presentaron variaciones en la concentración en hoja y/o en el contenido total de N.

De esta manera, por el análisis de las tablas 16 y 17 apreciamos que: 1) 'Arbequina' cuando fue cultivada en Regosol obtuvo concentraciones en hoja significativamente superiores a cuando fue cultivada en Luvisol o en Turba. Sus contenidos totales más elevados se verificaron cuando fue cultivada en Fluvisol o en Luvisol, diferenciándose de forma significativa de cuando fue cultivada en Turba, que fue donde obtuvo los valores más reducidos. 2) 'Picual' obtuvo las concentraciones en hoja más altas cuando fue cultivada en Regosol, con diferencia significativa para cuando tuvo como sustrato Luvisol, que fue donde registró los valores más bajos. 3) 'Frantoio' cultivada en Luvisol o en Fluvisol

obtuvo contenidos totales significativamente superiores a cuando fue cultivada en Turba. 4) En Fluvisol la variedad que presentó las concentraciones en hoja más elevadas fue 'Sikitita', diferenciándose de forma significativa de 'Frantoio', que fue la que mostró los valores más bajos. 5) En Luvisol fue también 'Sikitita' la variedad que presentó las concentraciones en hoja más altas, con diferencia significativa para 'Picual', que obtuvo los valores más bajos. Respecto al contenido total, 'Sikitita' y 'Frantoio' fueron las variedades que presentaron los valores más altos registrados en Luvisol, diferenciándose significativamente de 'Picual', que, de nuevo, registró los valores más bajos. 6) En Turba, fue nuevamente 'Sikitita' la variedad que presentó mayores concentraciones en hoja y mayores contenidos totales. En ambos casos obtuvo diferencia significativa con 'Arbequina', que fue la variedad que presentó los valores más bajos en Turba.

4.2.3 Eficiencia en el uso del nitrógeno

En los resultados mostrados en la tabla 18 podemos observar que, en lo que se refiere a la eficiencia de absorción del nitrógeno, no hubo interacción entre los factores suelo y variedad en ninguno de los experimentos y solo hubo diferencias significativas para el factor variedad en el experimento 4. Esta situación puede ser consecuencia de los altos coeficientes de variación, que en ambos experimentos fueron superiores a 39%. Lo que es evidente es la gran diferencia en los resultados obtenidos en el experimento 3, que variaron entre 21.27% y 31.65%, y los obtenidos en el experimento 4, que variaron entre 51.83% y 93.21%, sin correlación entre ambos. De esta manera, solamente cabe referir que en el experimento 4 la variedad 'Sikitita' fue la que obtuvo la más alta eficiencia de absorción de N, diferenciándose significativamente de 'Frantoio', que fue la variedad menos eficiente.

Tabla 18. . Índices de EUN de las plantas de olivo de los diferentes tratamientos del experimento 3 y 4 sometidas a riegos con una concentración de 100 ppm de N.

		EFICIENCIA EN LA ABSORCIÓN (%)		EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN	
		Exp. 3	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4
SUJEO	Fluvisol	21.27	76.95	63.58 b	
	Luvisol	31.65	70.74	64.64 ab	
	Regosol	30.98	60.70	62.19 b	
	Turba	29.29	74.67	67.03 a	
SIGNIFICACIÓN		NS	NS	***	
VARIEDAD	'Picual'	30.48	62.12 ab	60.92 b	
	'Arbequina'	27.99	75.93 ab	64.65 a	
	'Frantoio'	31.49	51.83 b	64.72 a	
	'Sikitita'	23.22	93.21 a	67.18 a	
SIGNIFICACIÓN		NS	*	***	
INTERACCIÓN	'Picual' - Fluvisol			54.48 abcde	
	'Picual' - Luvisol			59.39 a	
	'Picual' - Regosol			48.95 e	
	'Picual' - Turba			55.27 abcd	
	'Arbequina' - Fluvisol			52.64 bcde	
	'Arbequina' - Luvisol			56.81 abcd	
	'Arbequina' - Regosol			51.46 cde	
	'Arbequina' - Turba			58.36 ab	
	'Frantoio' - Fluvisol			57.85 abc	
	'Frantoio' - Luvisol			56.67 abcd	
	'Frantoio' - Regosol			53.79 abcde	
	'Frantoio' - Turba			54.52 abcde	
	'Sikitita' - Fluvisol			50.61 de	
	'Sikitita' - Luvisol			52.90 abcde	
'Sikitita' - Regosol			52.45 bcde		
'Sikitita' - Turba			50.96 cde		
SIGNIFICACIÓN				**	
CV (%) (1)		39.76	39.90	5.07	3.74

En cada columna, letras diferentes a continuación de las medias indican diferencias significativas entre tratamientos obtenidos por la prueba de Tukey HSD (P 0.05)

*, **, *** Significativo a P 0.05, P 0.01, P 0.001

(1) Coeficiente de variación

Al contrario que en la eficiencia de absorción, en la eficiencia de utilización del nitrógeno fue el experimento 3 donde se encontraron los valores más elevados. En este experimento no hubo interacción entre los factores pero hubo diferencias significativas en ambos. Así, fue en Turba donde se alcanzaron los valores significativamente más altos, sin que se encuentren diferencias entre los otros tipos de suelos. Respecto a las variedades, 'Picual' obtuvo valores significativamente más bajos que las demás.

En el experimento 4 hubo interacción entre suelo y variedad respecto a la eficiencia de utilización de N. De esta manera, se observó que: 1) 'Picual' obtuvo en Luvisol y en Turba los valores de eficiencia de utilización más altos, con diferencia significativa para Regosol, que fue donde presentó las eficiencias de utilización más bajas. 2) 'Arbequina' mostró en Regosol sus valores de eficiencia de utilización más bajos, diferenciándose significativamente de Turba, que fue donde registro los valores más elevados. 3) 'Sikitita', que fue la variedad que presentó los valores más bajos de eficiencia de utilización, y 'Frantoio' que fue la que presento los valores más altos, no mostraron diferencias significativas respecto al suelo donde fueron cultivadas. 4) En Fluvisol, 'Frantoio' fue la variedad que obtuvo mayores eficiencias de utilización de N, con diferencia significativa para 'Sikitita', que fue la que presentó menores eficiencias. 5) En Turba, fue 'Arbequina' la variedad que presentó los valores más altos de eficiencia de utilización, diferenciándose significativamente de 'Sikitita', que volvió a ser la que obtuvo valores más bajos.

5 DISCUSIÓN

Las excesivas aplicaciones de nitrógeno en olivar son un problema sumamente conocido y cada vez más estudiado. Varios trabajos han demostrado que la sobrefertilización con nitrógeno provoca numerosos efectos negativos sobre el cultivo, sobre el medio ambiente y sobre los costes de producción (Molina-Soria, 2005; Fernández-Escobar et al. 2006; Fernández-Escobar, 2008a; Fernández-Escobar, 2008b; Fernández-Escobar et al. 2009; Frade, 2011). La Eficiencia en el Uso del Nitrógeno (EUN), desde el punto de vista agronómico, es la forma de medir la cantidad de nitrógeno absorbida por la planta con respecto a la cantidad aplicada como fertilizante, o sea la Eficiencia de Absorción (EA). Es a través de la EA que conocemos la eficacia del abonado nitrogenado.

Se ha demostrado que factores como el estado nutritivo del árbol, la vecería, la cantidad de N disponible en el suelo, el fraccionamiento de la aplicación y la época de abonado (Fernández-Escobar, 2008b) afectan considerablemente la EUN, pero poco se conoce sobre el efecto de la variedad o del medio, tan solo estudios preliminares en olivo (Antonaya, 2011).

Al analizar los primeros resultados de este trabajo, se ha observado que existen diferencias en el crecimiento de las distintas variedades en estudio. Estos resultados son normales y ya se esperaban, ya que diferentes variedades tienen diferente capacidad de enraizamiento, precocidad y vigor. También en los resultados relativos al contenido y concentración de nitrógeno se han establecido diferencias entre variedades, lo cual ya es indicativo de posibles diferencias varietales en la EUN, una vez que este índice se calcula con base en el contenido de N. Por otro lado, se ha observado también que, a excepción de 'Coratina', todas las variedades repartieron de igual modo el nitrógeno, registrándose las concentraciones y los contenidos más elevados en la hoja y los más reducidos en el tallo, lo cual coincide con otros trabajos ya publicados (Fernández-Escobar et al., 2004) y demuestra que la variedad no afecta el reparto del N en la planta.

Al igual que en los estudios de Antonaya (2011), también en este trabajo las diferencias varietales en el contenido de nitrógeno condujeron a diferencias significativas en la Eficiencia de Absorción (EA) en los dos experimentos

comparativos de variedades. En ambos experimentos se repitió la variedad 'Arbosana' que mostró un comportamiento similar respecto a la EA, lo cual también está en concordancia con los resultados de Antonaya (2011). Otra similitud entre el presente trabajo y el citado anteriormente fueron los elevados coeficientes de variación registrados en los datos relativos a la EA, lo cual sugiere que se deberían intentar bajar en futuros trabajos de modo a obtener información más precisa.

Juntando todas las variedades presentes en los dos primeros experimentos y considerando los elevados coeficientes de variación referidos anteriormente, de aproximadamente 30% en ambos ensayos, se puede establecer una aproximación a tres grupos de variedades según la EA. Un grupo de variedades eficientes: 'Arbequina', 'Sikitita' y 'Koroneiki'. Un grupo de variedades medianamente eficientes: 'Manzanilla cacereña', 'Coratina', 'Arbosana', 'Farga', 'Picual' y 'Frantoio'. Y un grupo de variedades poco eficientes: 'Cobrançosa', 'Manzanilla de Sevilla', 'Empeltre', 'Cornicabra', 'Picholine marocaine' y 'Lechín de Granada'. Comparando estos resultados con los de estudios anteriores (Antonaya, 2011), verificamos que el comportamiento de la mayoría de las variedades que coexisten en ambos trabajos es similar. Es excepción a lo anteriormente referido la variedad 'Sikitita', que tuvo un comportamiento errático, integrando en el presente trabajo el grupo de variedades eficientes y en trabajo de Antonaya (2011) el grupo de poco eficientes, sin ninguna explicación aparente. La variedad 'Manzanilla de Sevilla' es otra excepción, ya que integró en el presente trabajo el grupo de las poco eficientes, contrariamente a lo que ocurrió en el trabajo de Antonaya (2011). Esta diferencia de comportamiento de la variedad 'Manzanilla de Sevilla' probablemente se debió a problemas fitosanitarios y/o fisiológicos, que no estaban en estudio en el presente trabajo y que condujeron a la muerte de algunas plantas y al anormal desarrollo de las demás, como se puede comprobar en las figuras 7 y 9. De esta manera, respecto a la variedad 'Manzanilla de Sevilla', consideramos los resultados de Antonaya (2011) más viables que los del presente trabajo.

Así, no tomando en cuenta los resultados de EA relativos a 'Sikitita' por las razones presentadas en el párrafo anterior y sin nunca olvidar los elevados coeficientes de variación, al juntar los resultados de los experimentos 1 y 2 del presente trabajo con los de los experimentos 1 y 2 del trabajo de Antonaya (2011) podemos hacer una división aproximativa y a grandes rangos de tres grupos de variedades según la EA. Las eficientes: 'Koroneiki', 'Arbequina', 'Frantoio', 'Picual' y 'Manzanilla de Sevilla'. Las medianamente eficientes: 'Manzanilla cacereña', 'Coratina', 'Arbosana', 'Farga', 'Manzanillo cordobés', 'Nevadillo fino', 'Lechín de Sevilla' y 'Ocal'. Las poco eficientes: 'Cobrançosa', 'Empeltre', 'Cornicabra', 'Picholine marocaine', 'Lechín de Granada' y 'Hojiblanca'.

La Eficiencia en la Utilización de N (EU) fue el otro índice usado en este trabajo para medir la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno. Por definición, la EU es la fracción de nitrógeno destinada a la formación de biomasa, o sea, del N ya absorbido la fracción que es usada para el crecimiento. Este índice, más relacionado con las cuestiones fisiológicas que con las agronómicas, no se ha correlacionado con la eficiencia en la absorción (EA). Esta situación nos indica que cada índice se refiere a un proceso diferente, uno a la absorción y otro al modo de utilización, y que estos dos procesos, en el olivo, no están relacionados. Lo mismo es decir que la variedad más eficiente en la absorción no tiene por qué ser la más eficiente en la conversión de N en biomasa.

Respecto a la EU también se observó que en los dos experimentos de comparación de variedades, presentó baja variabilidad (coeficientes de variación de alrededor de 6%) pero también menor influencia varietal que la EA. La EU solo obtuvo diferencia significativa en uno de los experimentos e, incluso en ese, los resultados tuvieron poca amplitud, variando entre 52.89, para 'Arbosana', y 76.35, para 'Coratina'. Así, y como ya se comentó anteriormente, en el caso del olivo el índice más interesante desde el punto de vista de la fertilización es la eficiencia en la absorción, ya que es el que nos aporta información más precisa sobre las pérdidas del nitrógeno aplicado como fertilizante. Además, en este trabajo, la EA no presentó correlación ni con el crecimiento vegetativo acumulado, ni con el tamaño inicial de las plantas, con

lo cual podemos afirmar que las diferencias registradas en la absorción nada tienen que ver con el tamaño de las plantas. De esta manera, podemos decir que, en principio, las diferencias observadas en la EA se deben a una influencia varietal, con lo cual este podrá ser un parámetro más a tener en cuenta en los planes de fertilización de modo a aumentar la Eficiencia en el Uso del Nitrógeno.

Al observarse estas diferencias varietales en la eficiencia de absorción del nitrógeno, se estudió la posible interacción con el medio de cultivo, en particular con el suelo. Para eso se eligieron tres suelos típicos de olivar y se estudió el comportamiento de cuatro variedades en cada uno de ellos. Así se usó un suelo de características calizas, clasificado de Regosol, un suelo típico de terrazas con pH más bajo, clasificado de Luvisol, y un suelo de características aluviales, clasificado de Fluvisol. Se usó también un suelo control compuesto por una mezcla de arena y turba. Las variedades empleadas fueron 'Picual', 'Arbequina', 'Frantoio' y 'Sikitita'.

En este estudio solo se verificó interacción en uno de los experimentos, el que se llevó a cabo en la cámara de crecimiento, que fue donde se registraron los mejores crecimientos de las plantas y donde hubo mayor diferencia entre tratamientos para la mayoría de los parámetros en estudio. De esta manera, se observó que 'Picual' obtuvo crecimientos significativamente más reducidos en Luvisol, de igual modo que también sus concentraciones y contenidos de N fueron inferiores en este suelo. Dado que el Luvisol usado en este estudio posee un pH inferior a los demás suelos empleados, estos resultados sugieren una posible sensibilidad de la variedad 'Picual' a suelos ácidos. Se observó también que 'Arbequina' fue la variedad que tuvo mayores diferencias en el crecimiento según el suelo donde se cultivó, presentando un acusado descenso en Regosol, que se podría explicar por la naturaleza caliza de este suelo, donde es conocido que esta variedad no se comporta del todo bien (Alcántara et al., 2003; Antonaya, 2011).

De igual modo que en el crecimiento, en la concentración y en el contenido, también en la eficiencia en la utilización del nitrógeno hubo interacción entre los factores suelo y variedad. Respecto a este índice cabe

destacar que 'Picual' obtuvo en Luvisol los valores más altos de EU, con diferencia significativa. Estos resultados resaltan la rusticidad característica de la variedad 'Picual', ya que muestran que, aunque cultivada en condiciones adversas, tiene una gran capacidad para utilizar el poco nitrógeno de que dispone. Por el contrario, 'Arbequina' mostró una vez más su sensibilidad a los suelos calizos, ya que presentó en Regosol su valor de EU más bajo. 'Sikitita' y 'Frantoio' mostraron ser menos sensibles al tipo de suelo.

Todo esto nos sugiere posibles interacciones en la eficiencia en la absorción, que es el índice de mayor importancia en este trabajo, hecho que no se ha verificado en ninguno de los experimentos. Es posible que esa falta de interacción se deba a los elevados coeficientes de variación verificados en los dos ensayos, alrededor de 40% en ambos, pero también cabe la posibilidad de que la falta de interacción se deba a la falta de influencia del suelo en la EA, ya que en ninguno de los experimentos hubo diferencia significativa respecto al tipo de suelo. Resultados parecidos obtuvo Antonaya (2011) en sus estudios, donde también se registraron coeficientes de variación de alrededor de 40%, donde tampoco hubo interacción entre los factores suelo y variedad y donde tampoco se verificaron diferencias significativas entre suelos. Hay que resaltar que el cultivo de plantas en macetas con sustrato natural es complicado y que quizá fuera la causa de la alta variabilidad obtenida. Por este motivo, en el presente trabajo se emplearon macetas de mayor capacidad, para intentar reducir el problema.

En resumen, se ha encontrado una clara diferencia varietal respecto a la eficiencia en el uso del nitrógeno, lo cual sugiere que se sigan evaluando más variedades por esta característica. Los resultados sugieren también la mejora de futuros experimentos de modo a bajar la variabilidad entre tratamientos, para que así se pueda hacer una mejor agrupación de las variedades según su EA y para que se pueda determinar con exactitud la posible interacción entre las variedades y el medio de cultivo.

6 CONCLUSIONES

1. Se han encontrado diferencias varietales en la Eficiencia en la Absorción de nitrógeno, pudiendo establecerse tres grupos de variedades: eficientes; medianamente eficientes; y poco eficientes.
2. Se observaron diferencias varietales en el crecimiento vegetativo, en la concentración de N en hoja y en el contenido total de nitrógeno.
3. No hubo correlación entre el crecimiento vegetativo y la Eficiencia en la Absorción de nitrógeno.
4. No se observaron diferencias varietales en la distribución de N en los diferentes órganos de la planta.
5. Se establecieron diferencias varietales en la Eficiencia en la Utilización de N, pero no se encontró correlación con la Eficiencia en la Absorción.
6. Se han encontrado interacciones entre el suelo y la variedad en el crecimiento, en la concentración de N en hoja, en el contenido total de N en la planta y en la Eficiencia en la Utilización de nitrógeno.
7. El suelo de pH más bajo ha reducido el crecimiento vegetativo, la concentración de N en hoja y el contenido total de N en la variedad 'Picual'.
8. En el suelo de características calizas la variedad 'Arbequina' tuvo menores crecimientos vegetativos y menor Eficiencia en la Utilización del N.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alba, J. (2008). Elaboración del aceite de oliva virgen. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 659-697.
- Alcántara, E., Cordeiro, A.M., Barranco, D. (2003). Selection of Olive varieties for tolerance to iron chlorosis. *Journal of Plant Physiology*, **160**: 1467-1472.
- Antonaya, M.F. *Estudio de la eficiencia en el uso del nitrógeno en variedades de olivo*. 2011. Tesis de máster. Universidad de Córdoba.
- Arnon, D.I. y Stout, P.R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quality for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, **14**: 371-375.
- Barker, A.V., y Mills, H.A. (1980). Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. *Horticultural Reviews*. Volume **2**: 395-423.
- Barranco, D.; Cimato, A.; Fiorino, P.; Rallo, L.; Touzani, A.; Castañeda, C.; Serafini, F. y Trujillo, I. (2000). *Catálogo mundial de variedades de olivo*. Consejo Oleícola Internacional.
- Barranco, D. (2008). Variedades y patrones. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 63-92.
- Bartolini, G.; Prevost, G. y Messeri, C. (1994). Olive tree germplasm: descriptor lists of cultivated varieties in the world. *Acta Hort.*, **356**: 116-118.
- Bartolini, G.; Prevost, G.; Messeri, C. y Carignani, G. (1998). *Olive germplasm: Cultivars and world-wide collections*. FAO. Roma.
- Beutel, J., Uriu, K., Lilleland, O. (1983) Leaf analysis for California deciduous fruits. En: *Soil and plant tissue testing in California*. University of California, Bull. 1879.
- Bould, C. (1966). Leaf analysis of deciduous fruits. En: *Fruit nutrition, Childers, N.F.* (Ed.) Horticultural Publications. New Jersey.
- Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E. (1987). Nickel a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, **85**: 801-803.

- Brown, P.H. (1994). Seasonal variations in Fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *HortScience*, **29(8)**: 871-873.
- Chapman, H.D. (1966). *Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California, Div. of Agric. Science, 793 pp. Berkeley, California.
- Childers, N.F. (Ed.). (1966). *Fruit nutrition*. Horticultural Publications, 888 pp. New Jersey.
- Civantos, L. (2008a). La olivicultura en el mundo y en España. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 19-35.
- Civantos, L. (2008b). *Obtención del aceite de oliva virgen*. 3ª Edición. Editorial Agrícola Española S.A. y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino, 44-49 pp.
- Cubero, S. y Penco, J.M. (2012). *Los costes del cultivo del olivo*. Asociación española de municipios del olivo. Montoro.
- Dilley, D.R. y Walker, D.R. (1961). Assimilation of ^{14}C , ^{15}N labeled urea by excised apple and peach leaves. *Plant Physiol.*, **36**: 757-761.
- Eatough-Jones, M., Paine, T.D. y Fenn, M.E. (2008). The effect of nitrogen additions on oak foliage and herbivore communities at sites with high and low atmospheric pollution. *Environmental Pollution*, **151(3)**: 434-442.
- Fallahi, E., Rightti, H.T., y Proebsting, E.L. (1993). Pruning and nitrogen effects on elemental partitioning and fruit maturity in bing sweet cherry. *Journal Plant Nutrition*, **16**: 753-763.
- FAO (1984). Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos*, 38/2. Roma.
- Faust, M. (1979). Evolution of fruit nutrition during de 20th Century. *HortScience*, **14**: 321-325.
- Feigenbaum, S.H., Bielorai, H., Erner, Y. y Dasberg, S. (1987). The fate of ^{15}N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *Plant Soil*, **97**: 179-187.

- Fernández-Escobar, R., García-Barragán, T., Benlloch, M. (1994). Estado nutritivo de las plantaciones de olivar en la provincia de Granada. ITEA, **90**: 39-49.
- Fernández-Escobar, R., Moreno, R. and García-Creus, M. (1999). Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, **82**: 25-45.
- Fernández-Escobar, R., García-Novelo, J.M., Sánchez-Zamora, M.A., Uceda, M., Beltrán, G., Aguilera, M.P. (2002). Efecto del abonado nitrogenado en la producción y calidad del aceite de oliva. En: *Jornadas de investigación y transferencia de tecnología al sector oleícola*. Dirección General de Investigación Agraria y Pesquera. Universidad de Córdoba. 415 pp.
- Fernández-Escobar, R., Moreno, R. y Sánchez-Zamora, M.A. (2004). Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *HortScience*, **39**: 1406-1411.
- Fernández-Escobar, R., Beltrán, G., Sánchez-Zamora, M.A., García-Novelo, J., Aguilera, M.P., Uceda, M. (2006). Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience*, **41**(1): 215-219.
- Fernández-Escobar, R. (2007). Fertilización. En: *Técnicas de producción en olivicultura*. Consejo Oleícola Internacional. Madrid, pp. 145-164.
- Fernández-Escobar, R. (2008b). Fertilización. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 299-335.
- Fernández-Escobar, R. (2008a). Las prácticas de la fertilización del olivar en la Cuenca del Mediterráneo. *OLIVAE*, **109**: 13-22.
- Fernández-Escobar, R., Marín, L., Sánchez-Zamora, M-A., García Novelo, J.M., Molina-Soria, C., Parra, M.A. (2009). Long-term effects of N fertilization on cropping and growth of olive trees and on N accumulation in soil profile. *European Journal Agronomy*, **31**: 223-232.
- Fernández-Escobar, R. García-Novelo, J.M., Restrepo-Díaz, H. (2011). Mobilization of nitrogen in the olive bearing shoots after foliar application of urea. *Scientia Horticulturae*, **127**: 452-454.

- Firestone, M.K. (1982). Biological Denitrification. En: *Nitrogen in Agricultural soil*. Stevenson, F.J. (Ed.). pp. 289-318. ASA, CSSA, SSSA: Madison.
- FitzPatrick, E. A. (1985). Clases de suelos del mundo. En: *Suelos. Su formación, clasificación y distribución*. 2ª Edición. Compañía editorial continental, S.A. de C.V., Mexico.
- Ford, B.G. (2000). Nitrate transporters in plants: structure, function and regulation. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1465**: 219-235.
- Frade, R. (2011). *Influencia de la fertilización nitrogenada en el crecimiento del olivo y en la maduración de la aceituna*. Tesis de máster. Universidad de Córdoba.
- Franke, W. (1967). Mechanism of foliar penetration of solutions. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **18**: 281-300.
- Freeman, K.; Carlson, R. M. (1994). Mineral Nutrient Availability. En: *Olive Production Manual University of California*, Publication 3353.
- Freiberg, S.R. y Payne, P. (1957). Foliar absorption of urea and urease activity in banana plants. *Proc. Amer. Soc. Hort Sci.*, **69**: 226-234.
- García-Novelo, J. (2006). El balance de nitrógeno en el cultivo del olivo. Tesis Doctoral, Julio 2006, Universidad de Córdoba.
- Glass, A.D.M., Brito, D.T., Kaiser, B.N., Kronzucker, H.J., Kumar, A., Okamoto, M., Rawat, S.R., Siddiqi, Y., Salim, S.M., Vidmar, J., y Zhuo, D. (2001). Nitrogen transport in plants, with an emphasis on the regulation of fluxes to match plant demand. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **164**: 199-207.
- Gomez del Campo, M. y Barranco D. (2009). *Situación del olivar en España y el seguro agrario*. Madrid, pp. 2-11.
- Good, A.G., Sharawat, A.K., Muench, D.G. (2004). Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production?. *Trends in Plant Science*, Vol. 9, No. 12.
- Gouveia, J.M.B. (2002). A oliveira e o azeite na história. En: *O azeite em Portugal*. J.M.B. Gouveia, J.L.P. Saldanha, A.S. Martins, M.L. Modesto y V. Sobral. (Eds.). Edições Inapa. Lisboa, pp. 16-23.

- Grelet, G.A., Alexander, I.J., Millard, P., Proe, M.F. (2003). Does morphology or the size of the internal nitrogen store determine how *Vaccinium* spp. Respond to spring nitrogen supply?. *Functional Ecology*, **17**: 690-699.
- Gros, A., Domínguez-Vivancos, A. (1992). Abonos. *Guía práctica de la fertilización*. 8ª edición. Mundi-Prensa.
- Hamilton, J.M., Palmiter, D.H. and Anderson, L.C. (1943). Preliminary tests with uramon in foliage sprays as a mean of regulating the nitrogen supply of apple trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **42**: 123-126.
- Harrison, K.A., Bol, R. y Bardget, R.D. (2008). Do plant species with different growth strategies vary their ability to compete with soil microbes for chemical forms of nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, **40 (1)**: 228-237
- Hockings, P.J. y Meyer, C.P. (1991). Effects of CO₂ enrichment and nitrogen stresses on growth, and partitioning of dry matter and nitrogen in wheat and maize. *Australian Journal Plant Physiology*, **18**: 339-356.
- Howit, S.M. y Udvardi, M.K. (2000). Structure, function and regulation of ammonium transporters in plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1465**: 152-170.
- Inagaki, Y. y Kohzu, A. (2005). Microbial immobilization and plant uptake of different types in Shikoku, district Southern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, **51 (1)**: 667-670.
- Jones, W.W. (1973). Nitrogen. En: *Diagnostic criteria of plants and soils*, 2nd ed., Chapman, D. (Ed.). University of California, Div. of Agr. Science, 793 pp., Riverside, California.
- King, J.R. (1938). Morphological development of the fruit of the olive. *Hilgardia*, **11**: 437-458.
- Klein, I., Weinbaum, S.A. (1984). Foliar application of urea tu olive- Translocation of urea nitrogen as influenced by sink demand and nitrogen deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **109**: 356-360.

- Klein, I. (2002). Nitrogen pool enrichment in fruit trees for specific target requirement. *Acta Horticulturae*, **594**: 131-137.
- Kranabetter, J.M., Dawson, C.R. and Dunn, D.E. (2007). Indices of dissolved organic nitrogen, ammonium and nitrate across productivity gradients of boreal forests. *Soil Biology and Biochemistry*, **39**: 3147-3158.
- Lavee, S. (1994). ¿Por qué la necesidad de nuevas variedades de olivo? *Fruticultura Profesional Suplemento al*, **62**: 29-38.
- Lea-Cox, J.D. y Syversten, J.P. (1996). How nitrogen affects growth and nitrogen uptake, use efficiency, and loss from citrus seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **121(1)**: 105-114.
- Liebing, J. (1840). *Chemistry and its application to agriculture and physiology*. Ed. Taylor y Walton. London.
- Linzmeier, W., Gutser, R. y Schmidhalter, U. (2001). Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol. Fertil. Soils*, **34**: 103-108.
- Loué, A. (1988). *Los microelementos en agricultura*. Mundi-Prensa. Madrid.
- Lurie, S., Zilkah, S., David, I., Lapsker, Z. y Benarie, R. (1996). Quality of flamekist nectarine fruits from an orchard irrigated with reclaimed sewage water. *Journal Horticultural Sciences*, **71**: 313-319.
- Makino, A., Osmond, B. (1991). Effects of nitrogen nutrition on nitrogen partitioning between chloroplast and mitochondria in pea and wheat. *Plant Physiology*, **96**: 355-362.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2^o Edition. 889 pp. Academic Press. London.
- Menino, M. R., Carranca, C. y Varennes, A. (2007). Distribution and remobilization of nitrogen in Young non-bearing orange trees grown under Mediterranean conditions. *Journal of Plant Nutrition*, **30 (7-9)**: 1083-1096.

- Molina-Soria, C. y Fernández-Escobar, R. (2005). El contenido de nitrógeno en la planta de olivo afecta a la eficiencia en el uso del nitrógeno. Comunicaciones al V Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas/IV Congresso Iberoamericano de Ciências Hortícolas. Oporto. Vol. 2: 556-559.
- Molina-Soria, C. (2005). *Influencia del contenido de nitrógeno en la planta de olivo (Olea europaea L.) en la absorción foliar y radical del nitrógeno aplicado en la fertilización*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Córdoba. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba.
- Moreno, J. y García-Martínez, J.L. (1984). Nitrogen accumulation and mobilization in Citrus leaves throughout the annual cycle. *Plant Physiology*, **61**: 429-434.
- Mosier, A.R., Syers, J.K. y Freney, J.R. (2004). Nitrogen fertilizer: an essential component of increased food, feed and fiber production. En: *SCOPE 65: Agriculture and the Nitrogen Cycle Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Mosier, A.R., Syers, J.K. and Freney, J.R. (Eds.). Island Press, Washington, DC, USA.
- Navarro, C., Parra, M.A. (2008). Plantación. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 192-238.
- Nelson, D.W. (1982). Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. En: *Nitrogen in Agricultural Soils*. Stevencson, F.J. (Ed.), pp. 327-363. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Nohrsted, H.Ö., Jacobson, S. y Sikström, U. (2000). Effects of repeated urea doses on soil chemistry and nutrients pools in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and management*, **130**: 47-56.
- Olsen, S.R. (1986). *Using soil and fertilizer chemistry to improve corn productivity*. Potash and Phosphate Institute. Maximum Yield Corn Research. St. Louis.

- Paneque G., Paneque P., Rodríguez M. y Moreira J. M. (2005). Mapa de Suelos. En: *Atlas de Andalucía. Cartografía ambiental*. Junta de Andalucía.
- Parsons, R. y Baker, A. (1996). Cycling of amino compounds in symbiotic lupin. *J.Exp. Bot.*, **47**: 421-429.
- Paul, M.J., Driscoll, S.P. (1997). Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signaling nitrogen deficiency through source: sink imbalance. *Plant Cell and Environment*, **4**: 434-438.
- Persson, J. y Nasholm, T. (2001). Amino acid uptake: a widespread ability among boreal forests plants. *Ecology letters*, **4**: 434-438.
- Rallo, L.; Barranco, D.; Caballero, J. M.; Del Río, C.; Martín, A.; Tous, J; y Trujillo, I. (2005). *Varietades de Olivo en España*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Rallo, L. y Muñoz, C. (2010) a. *El olivar en tiempo de Cambio*. Citoliva edición. España, pp. 8-13; 52-54.
- Ramos, M.C. y Martínez-Casasnovas, J.A. (2006). Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterrean Alt Penedes region (NE Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **113**: 356-363.
- Rapoport, H.F. (2008). Botánica y morfología. En: *El cultivo del olivo*. 6ª Edición. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo. (Eds.). Ediciones Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, pp. 39-62.
- Saayman, D. (1983). Investigation into the causes and control of the growth arrestment phenomenon of sultana. I Syntoms and survey results. *Journal Enology Viticulture*, **4**: 21-26.
- Salvagiotti, F., Miralles, D.J. (2008). Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*, **28**: 282-290.
- Schobert, C., Komor, E. (1987). Amino acid uptake by *Ricinus communis* roots: characterization and physiological significance. *Plant Cell Environ.*, **10**: 493-500.

- Shear, C.B., Crane, H.L., Myers, A.T. (1946). Nutrient element balance: a fundamental conception in plant nutrition. *Proceeding of the American Society for Horticultural Science*, **47**: 239-248.
- Simões, P., Pinheiro-Alves, C. y Cordeiro, A.M. (2002). Effect of the nitrogen and potassium fertilization on fatty acids composition and oxidative stability for 'Carrasquenha' cultivar olive oil at different harvest periods. Preliminary Study. *Acta Horticulturae*, **586**: 337-340.
- Smil, V. (1999). Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles*, **13**: 647-662.
- Smith, M.W., Word, B.W. y Raun, W.R. (2007). Recovery and partitioning of nitrogen from early spring and midsummer applications to pecan trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **132 (6)**: 758-763.
- Stevenson, F.J. (1982). Organic form of soil nitrogen. En: *Nitrogen in Agricultural Soil*. Vol. 22. Stevenson F.J. (Ed.) pp. 67-114. Madison, Wisconsin USA.
- Tagliavini, M., Millard, P. (2005). Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, **4**: 21-30.
- Tombesi, A. y Tombesi, S. (2007). Plantación del olivar. En: *Técnicas de producción en olivicultura*. Consejo Oleícola Internacional. Madrid, pp. 17-40.
- Touriane, B., Grignon, N. y Grignon, C. (1988). Charge balance in NO_3^- soybean. Estimation of K^+ and carboxylate recirculation. *Plant Physiol.*, **88**: 605-6012.
- Urbano, P. (2001). *Tratado de fitotecnia general*. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
- Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora. Lisboa, 490 pp.
- Vilar-Hernández, J., Velasco-Gámez, M.M. (2009). Algunas contribuciones sobre olivicultura y elaiotecnia desde la perspectiva de la experiencia. 2ª Edición. Vilar Hernández, J. (Coordinador) GEA Westfalia Separator. Úbeda.

- Weinbaum, S.A., Johnson, R.S. y Dejong, T.D., (1992). Causes and consequences of overfertilization in orchards. *HortThechnology* Jan/Mar.: 112-121.
- Weibaum, S.A., Picchioni, G.A., Muraoka, T.T., Ferguson, L. y Brown, P.H. (1994). Fertilizer nitrogen and boron uptake, storage, and allocation vary during the alternate-bearing cycle in pistachio trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **119(1)**: 24-31.
- Yoneyama, T., Ito, O. y Engellar, W.M.H.G. (2003). Uptake, metabolism and distribution of nitrogen in crops plants traced by enriched and natural ¹⁵N: Progress over the last 30 years. *Phytochemistry Reviews*, **2**: 121-132.