

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFECTO DE DIFERENTES CARGAS FRUTALES  
SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS  
MINERALES EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE  
LA PLANTA DE OLIVO A COSECHA**

**FRANCISCO IGNACIO CADENAS CARO**

**Santiago, Chile**  
**2013**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**EFECTO DE DIFERENTES CARGAS FRUTALES  
SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS  
MINERALES EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE  
LA PLANTA DE OLIVO A COSECHA**

**EFFECT OF DIFFERENT CROP LOADS ON  
MINERAL ELEMENT DISTRIBUTION IN  
DIFFERENT ORGANS OF THE OLIVE TREE AT  
HARVEST**

**FRANCISCO IGNACIO CADENAS CARO**

**Santiago, Chile**  
**2013**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**EFFECTO DE DIFERENTES CARGAS FRUTALES  
SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS  
MINERALES EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE  
LA PLANTA DE OLIVO A COSECHA**

Memoria para optar al título  
profesional de Ingeniero Agrónomo  
Mención: Fruticultura

**FRANCISCO IGNACIO CADENAS CARO**

<b>PROFESOR GUÍA</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Thomas Fichet L. Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Tomás Cooper C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.	6,2
Sr. Luis Luchsinger L. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,8

Santiago, Chile  
2013

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a mi familia por su apoyo incondicional en este largo recorrido para llegar a convertirme en profesional. También a mis tíos y toda su familia por la gran hospitalidad que me dieron durante todos estos años, permitiendo que viviera con ellos como si fuese un miembro más de la familia, convirtiendo a esta casa en mi segundo hogar.

A mi profesor guía, Thomas Fichet, por su disposición y compromiso, además de su simpatía que generó un ambiente de confianza y cercanía en todo momento. También a Giselle Crisóstomo que significó un apoyo importante en la realización de las mediciones y análisis estadístico.

Agradezco a todos quienes también colaboraron en la realización de este trabajo, entre ellos amigos y trabajadores del fundo “El Oliveto”, campo de la empresa “Olave” la cual facilitó las instalaciones y plantas con las que se llevó a cabo el estudio.

Por último, a aquellos que no pudieron terminar de acompañarme hasta el final de este camino desde este mundo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
Lugar de estudio.....	11
Materiales.....	11
Metodología .....	11
Tratamientos y diseño experimental.....	11
Procedimiento.....	11
Variables medidas .....	12
Parámetros productivos .....	12
Porcentaje de humedad y materia seca.....	13
Elementos minerales.....	13
Distribución de elementos minerales .....	15
Extracción de elementos minerales .....	15
Reservas orgánicas .....	15
Concentración de aceite.....	16
Análisis estadístico.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
Parámetros productivos.....	17
Área sección transversal de tronco.....	17
Producción.....	17
Eficiencia productiva.....	18
Número de frutos y carga frutal .....	18
Peso promedio fruto .....	18
Características de la fruta .....	20
Madurez.....	20
Contenido de aceite .....	21
Contenido de humedad.....	21
Cantidad y contenido de materia fresca y seca en distintos órganos de la planta.....	23
Hojas.....	23
Ramillas de un año o menos.....	23
Ramas y madera de más de un año.....	24
Raíces con un diámetro mayor a 8 mm .....	25
Raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm .....	26
Concentración y contenido total de elementos minerales .....	28
Nitrógeno.....	28
Fósforo.....	31

Potasio .....	33
Calcio.....	35
Magnesio .....	38
Manganeso.....	40
Zinc.....	42
Boro .....	43
Caracterización de la distribución de elementos minerales .....	46
Distribución de macroelementos .....	46
Distribución de microelementos.....	47
Extracción de macro y microelementos .....	49
Macroelementos .....	49
Microelementos .....	50
Concentración y cantidad de reservas orgánicas.....	52
CONCLUSIONES .....	55
BIBLIOGRAFÍA .....	56
APÉNDICE I.....	63
APÉNDICE II .....	64

## RESUMEN

Años de baja producción de aceitunas, que se generan debido al problema de añerismo que presenta el olivo, pueden estar influenciados, entre otros factores, por disminución del crecimiento vegetativo en años de altas cargas frutales y el estado nutricional de la planta a inicios de invierno. Con el objetivo de cuantificar el efecto de la carga frutal, en el estado nutricional de olivos a cosecha, se estableció un ensayo en un huerto orgánico, localizado en la comuna de Melipilla. En este olivar se escogieron plantas de 12 años de edad, variedad Frantoio, con distintas cargas frutales. El estudio contó con dos tratamientos, olivos con alta carga frutal ( $30-40 \text{ kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ ) y olivos con baja carga frutal ( $2-5 \text{ kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$ ), los cuales se evaluaron a cosecha en el año 2011. Cada tratamiento estaba compuesto por 3 repeticiones, siendo la unidad experimental el árbol. Se midieron las concentraciones y contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn y B en frutos, hojas, ramillas de un año o menos, madera de más de un año y raíces, además de sus biomásas. También se evaluaron las concentraciones y contenidos de reservas orgánicas (almidón, arginina y proteínas) en hojas y raíces. La alta carga frutal no generó disminuciones en la biomasa vegetativa y tampoco en las concentraciones de los elementos minerales evaluados en los distintos órganos de la planta de olivo a cosecha. Los frutos provenientes de plantas con altas cargas tuvieron mayores concentraciones de N, Ca, Mg y Mn, mientras que aquellos de olivos con baja carga tuvieron una mayor concentración de B. Reservas orgánicas, en hojas y raíces, tampoco fueron afectadas por la alta carga frutal. La distribución de elementos minerales, entre los distintos órganos del olivo, tampoco fue afectado por la mayor o menor presencia de fruta, siendo las hojas y la madera mayor a un año, los órganos con mayor cantidad, porcentualmente, de elementos minerales en plantas con alta o baja carga frutal. Finalmente, en plantas con alta carga frutal, la extracción de nutrientes fue mayor que en aquellas con baja carga, siendo notoriamente mayores N y K.

**Palabras clave:** Biomasa, concentración, contenido, extracción, reservas orgánicas

## ABSTRACT

Years of low yield, resulting from the alternate bearing habit of olive (*Olea europaea* L.) trees, may be influenced, among other factors, by the decrease of plant growth in years of high crop load and the tree's nutrient state at the beginning of winter. In order to quantify the crop load effect on the nutrient status of olive trees at harvest, a trial was established in an organic olive orchard at the Melipilla locality. Twelve-year-old 'Frantoio' trees with different crop loads were chosen from this orchard. The study consisted of two treatments: on-olive trees, i.e. with high crop load (30-40 kg·tree<sup>-1</sup>) and off-olive trees, i.e. with low crop load (2-5 kg·tree<sup>-1</sup>). Treatments were evaluated at the 2011 harvest. Each treatment had three replications, with the olive tree being the experimental unit. Concentrations and contents of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn and B in fruits, leaves, one-year-old or younger twigs, wood older than one year, roots, and biomasses were measured. Moreover, concentrations and contents of organic reserves (starch, arginine, and proteins) in leaves and roots were evaluated as well. On-trees did not show decreased plant biomass or decreased concentrations of the mineral elements evaluated in the different organs of the olive trees at harvest. Fruit from on-trees had greater concentrations of N, Ca, Mg and Mn, while those from off-trees had a greater concentration of B. Organic reserves in leaves and roots were not affected by high crop load either. The distribution of mineral elements among the different olive tree organs was not found to be affected by either the greater or lesser occurrence of fruit, with leaves and wood older than one year being the organs with the greatest percent amount of mineral elements in on- or off-trees. Lastly, in on-trees, extraction of mineral nutrients was greater than in off-trees, N and K being noticeably greater.

**Key words:** Biomass, concentration, content, extraction, organic reserves



## INTRODUCCIÓN

El olivo es una especie de hoja perenne que presenta alternancia productiva o añerismo, es decir, de un año de alta producción pasa a otro de baja. Este fenómeno puede estar determinado por varios factores, entre ellos: escasez de agua, alteraciones climáticas, variedad, estado nutricional de la planta y alta carga frutal; los que finalmente inhiben parte o la totalidad de la inducción floral (Fernández-Escobar *et al.*, 1999; Callejas, 2001; Cisternas *et al.*, 2004; Therios, 2009). Sin embargo, existen antecedentes que manifiestan que, conjuntamente a una mala inducción, el mal desarrollo de los primordios florales, durante la diferenciación floral, jugaría un papel fundamental en la intensidad del añerismo (Callejas y Reginato, 2000). Así en un año con baja producción, se origina una elevada inducción floral. Al año siguiente la inducción floral es mucho menor por efecto de la presencia de frutos. Además existe una simultaneidad de procesos vegetativos y reproductivos, los que generan fenómenos de competencia e inhibición, generando una distribución de fotoasimilados entre crecimiento de brotes y frutos. Finalmente esto conduce a que en años de alta carga frutal, el crecimiento de brotes sea escaso, limitando el número de nudos y de potenciales yemas florales (Barranco *et al.*, 2008).

La presencia de un alto número de frutos en el árbol, en el momento de inducción floral, genera una fuerte competencia por nutrientes (Therios, 2009), dado que las aceitunas son altamente demandantes de estos elementos, llevándose parte importante con ellas en la cosecha (Llona *et al.*, 1999). Una deficiencia nutricional, como el nitrógeno durante el período de diferenciación de yemas florales, afecta la cantidad de flores para la primavera siguiente, la longevidad del óvulo, el vigor vegetativo y finalmente, el tamaño final de los frutos (Fernández-Escobar y Marín, 1999; Fernández-Escobar *et al.*, 2004; Fernández-Escobar *et al.*, 2008). Además, Llona *et al.* (1999), señalan que la mayor demanda de nitrógeno en las plantas de olivo se da en el período de primavera-verano, período crítico al tener lugar la brotación, la floración y desarrollo de la aceituna.

Junto con el nitrógeno, otros elementos minerales esenciales como lo son el fósforo, potasio, magnesio, calcio, zinc, boro y manganeso, al encontrarse deficientes en la planta estarían afectando procesos metabólicos y fisiológicos. Por ejemplo el fósforo juega un importante papel en la fotosíntesis, respiración de las plantas y en la formación de órganos de reproducción, por ser constituyente de nucleoproteínas. Cuando hay deficiencias de este macroelemento, los frutos son de menor calidad y tienen menor contenido de aceite (Llona *et al.*, 1999; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El potasio también cumple variadas funciones, las que incluyen el mantenimiento del potencial eléctrico a través de las membranas (Britoo y Kronzucker, 2008), fenómenos relacionados con la turgencia como la expansión celular (Dolan y Davies 2004), desarrollo del tubo polínico (Mouline *et al.*, 2002), apertura y cierre estomático, activación de numerosas enzimas, transporte a larga distancia de nitrato y sacarosa, y la estabilización de la carga de los aniones dentro de la célula (Britoo y Kronzucker, 2008).

Conocido es el papel del calcio en la estructura de membranas y paredes celulares, es fundamental en la determinación de la rigidez de la pared (Hepler, 2005). Entre sus funciones fisiológicas se puede mencionar la regulación de la apertura y cierre estomático (Razeto, 2009).

Estudios realizados en olivos por Fernández-Escobar *et al.* (1999) señalan que el contenido foliar de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se ven afectados por la carga frutal, mostrando valores más bajos a los establecidos como óptimos después de un año de alta carga. En cuanto a la concentración de micronutrientes en las hojas, no se ve afectada por las altas cargas frutales. Además detectaron mayores concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y boro en hojas más jóvenes, mientras que en hojas más viejas el contenido de calcio, magnesio, manganeso, cobre y hierro fue mayor.

Alemaný *et al.* (2001), destacan en una investigación realizada en olivos en Chile, en el valle del Huasco (región de Atacama), que de los 30 olivares seleccionados para el estudio, en el año de baja carga, el 70 % de estos presentaban nitrógeno foliar adecuado (1,5-2% nitrógeno), mientras que en años de alta carga, los huertos con un nivel de nitrógeno adecuado bajaban a un 62 %. En el caso del potasio la disminución fue mayor, en donde en el año de baja carga los olivares con un nivel adecuado de potasio foliar fue de un 97%, en la temporada de alta carga bajó a un 77%. Algo similar ocurrió con el manganeso, ya que, con un 90% de los sitios en estudio con un nivel de manganeso foliar adecuado ( $> 20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  manganeso foliar) en la temporada de baja carga, éstos se redujeron a un 50% en el año de alta carga.

En cuanto a las reservas orgánicas, Drossopoulos y Niavis (1988a), afirman que en olivos, el tejido donde más se acumula nitrógeno en forma soluble (como aminoácido), es el xilema, siendo la arginina el aminoácido con mayor presencia en éste durante el otoño, periodo en el cual el olivo acumula sus reservas. A su vez, señalan que en las hojas, los contenidos más altos de almidón y carbohidratos solubles se encuentran en primavera y otoño.

A pesar que existen fluctuaciones estacionales de compuestos orgánicos en los olivos (Drossopoulos y Niavis, 1988b), los resultados de los estudios que relacionan la carga frutal con el contenido de carbohidratos, son contradictorios. Akdesir *et al.* (2004), no encontraron diferencias significativas en el contenido de azúcares entre árboles de alta y baja carga frutal durante la inducción y diferenciación floral. Lavee (2006) no obtuvo conclusiones claras al discutir la participación de la oferta de carbono en la alternancia de esta especie. Por otra parte Seifi *et al.* (2008), al eliminar parte de los ramilletes florales en plantas de olivo, éstos tuvieron un mayor porcentaje de flores hermafroditas, que son las que se convierten en fruto, disminuyendo el porcentaje de flores masculinas que son resultado del no desarrollo del pistilo, explicado, según ellos, por la disminución de oferta de asimilados debido a la competencia. A su vez Reale *et al.* (2009), al comparar el almacenamiento de almidón en los tejidos de flores masculinas y hermafroditas de olivos mediante detección histoquímica, indicaron que existen diferencias, siendo menor el contenido en las flores masculinas, lo que podría explicar la no formación de su pistilo. Por otro lado, Nasir y Perez (2011), señalan que el nivel de arginina en olivos con más inflorescencias es mayor.

Debido a que la demanda de elementos minerales estará determinada por los rendimientos (Astorga *et al.*, 2003) y sumado a los antecedentes anteriormente presentados, es que surge la necesidad de conocer el estado nutricional del olivo al momento de cosecha, y así definir los órganos que se ven más afectados en la competencia por adquirir nutrientes frente a la demanda de la aceituna, según distintas cargas frutales.

Si bien la variedad Frantoio no presenta un alto índice de alternancia (0,36), en comparación con otras variedades como Leccino (0,74) o Picual (0,89) a nivel nacional (Tapia, 2009), según Rojas (2010)<sup>1</sup>, en los dos últimos años antes de este estudio, esta variedad presentó un alto grado de añerismo, además es la principal variedad italiana plantada en Chile, dado que produce un aceite muy apreciado por sus características organolépticas y por su estabilidad (Barranco *et al.*, 2008) siendo base de las mezclas de aceites de oliva.

### **Hipótesis.**

Producto de la mayor carga frutal en olivos, existe una disminución importante en la concentración de elementos en el resto del árbol a comienzos de invierno.

### **Objetivo general.**

Determinar la concentración y contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, zinc, boro y manganeso en los diferentes órganos de la planta de olivo, según distintas cargas frutales a cosecha.

---

<sup>1</sup> Rojas, M., Ingeniero Agrónomo, Agrícola Valle Grande Ltda., 2010, Chile (Comunicación personal).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Lugar de estudio**

El estudio se realizó entre los meses de mayo y agosto del 2011, que son los meses de cosecha del olivo en la zona central del país. El olivar elegido pertenece a la empresa Agrícola Valle Grande Limitada (fundo el Oliveto), ubicado en el kilómetro 17,5 Ruta g-546 en el sector de Pallocabe, localidad Cholqui, comuna de Melipilla, Región Metropolitana, Chile (33°48 latitud sur y 71°05 longitud oeste, altitud 205 m.s.n.m.).

### **Materiales**

Para el estudio de determinación de la concentración y contenido de macro y micronutrientes en los distintos órganos de la planta al momento de cosecha, se utilizó la variedad Frantoio, de origen italiano. Los órganos analizados fueron: frutos, hojas, ramillas de un año o menos, ramas y madera de más de un año y raíces.

El olivar fue plantado en el año 1999 en orientación norte-sur, con un marco de plantación de 6x4 m, bajo un sistema de producción orgánico y riego por goteo.

### **Metodología**

#### **Tratamientos y diseño experimental**

El diseño experimental estuvo compuesto por dos tratamientos, estos fueron: olivos con alta carga frutal (30 a 40 kg·árbol<sup>-1</sup>) y olivos con baja carga frutal (2 a 5 kg·árbol<sup>-1</sup>), cada uno con tres repeticiones, siendo la unidad experimental el árbol. Los seis árboles seleccionados fueron homogéneos en cuanto a vigor.

#### **Procedimiento**

En el año 2011, después de endurecimiento de carozo (18 de enero), se escogieron y marcaron los árboles correspondientes a las distintas cargas frutales, realizando en ese momento un análisis foliar completo para cada carga, caracterizando de esta forma las concentraciones de macro y microelementos.

## Variables medidas

### Parámetros productivos

El 6 de mayo del año 2011, momento en que se daba inicio a la cosecha, en los árboles escogidos se realizaron las siguientes evaluaciones:

**Área de sección transversal de tronco (ASTT):** se procedió a medir el perímetro (p) del tronco utilizando una huincha, a 20 cm del suelo y luego se calculó el ASTT. Para efectos de este cálculo, se asumió que la sección transversal del tronco corresponde a una circunferencia, utilizando la siguiente fórmula:  $\text{cm}^2 \text{ASTT} = p^2 \cdot (4\pi)^{-1}$

**Producción de fruta:** Se cosechó la fruta manualmente en forma individual por árbol, entre el 6 y 13 de mayo del 2011, para determinar su producción. El total de fruta se pesó en una balanza, registrando los kilogramos obtenidos por cada árbol.

**Peso del fruto e índice de madurez:** Se escogió una muestra aleatoria de 100 frutos por árbol, antes de la cosecha total, los cuales se pesaron y se obtuvo un peso promedio de fruto por árbol y por carga. Además estos frutos se utilizaron para determinar el estado de madurez de la fruta por medio del índice de madurez propuesto por Ferreira (1979, citado por Barranco *et al.*, 2008), el que se calculó de la siguiente forma:

$$\text{I.M.} = \frac{\text{Ax0} + \text{Bx1} + \text{Cx2} + \text{Dx3} + \text{Ex4} + \text{Fx5} + \text{Gx6} + \text{Hx7}}{100}$$

En donde: A,B,C,D,E,F,G y H, son el número de frutos de las clases: 0,1,2,3,4,5,6 y 7, respectivamente, las cuales se detallan a continuación:

Clase 0: Piel verde intenso

Clase 1: Piel verde amarillento

Clase 2: Piel verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto. Inicio de envero

Clase 3: Piel rojiza o morada en más de la mitad del fruto. Final de envero

Clase 4: Piel negra y pulpa blanca

Clase 5: Piel negra y pulpa morada sin llegar a la mitad de la pulpa

Clase 6: Piel negra y pulpa morada sin llegar al carozo

Clase 7: Piel negra y pulpa morada totalmente hasta el carozo

**Número de frutos:** Éstos fueron determinados dividiendo la producción de cada árbol de cada carga por su peso promedio de fruto. Se expresó en número de frutos·planta<sup>-1</sup>.

**Carga frutal:** Se obtuvo a partir del número total de frutos por árbol y el ASTT de los árboles. Se expresó como número de frutos·cm<sup>-2</sup> ASTT.

**Eficiencia productiva:** Fue calculada en relación a la producción total por árbol (kg) y el ASTT, expresándose como kg de fruta·cm<sup>-2</sup> ASTT.

Una vez cosechada la fruta, se procedió a separar y trozar la parte aérea de la planta (entre los meses de junio y julio), separando las hojas, ramillas de un año o menos y las ramillas y madera de más de un año; pesándose, individualmente para cada árbol en una balanza obteniéndose sus cantidades en  $\text{kg}\cdot\text{planta}^{-1}$  (biomasas). Posteriormente se procedió a extraer el máximo de raíces con una retroexcavadora, pesándose por separado las raíces con un diámetro menor o igual a 8 mm y aquellas con un diámetro mayor a éste. Luego de obtener las cantidades de cada órgano por planta, se calculó un promedio por carga frutal.

Al momento de extracción de cada órgano se tomaron muestras, individuales para cada árbol, para el análisis de macro y microelementos, determinación de porcentaje de humedad y materia seca. En el caso de hojas y raíces, además se tomaron muestras compuestas por carga e individuales por árbol, respectivamente, para un análisis de reservas (nitrógeno, fósforo, almidón, proteína y arginina).

### **Porcentaje de humedad y materia seca**

Para obtener el contenido de humedad de las muestras de los distintos órganos de la planta, se pesaron en una balanza, entre 30 a 50 gramos de las distintas muestras de tejido (peso fresco). Luego se secaron en una estufa (marca Binder) a presión atmosférica y a 50-55° C, hasta que se obtuvo un peso constante, el cual fue su peso seco (materia seca). Posteriormente, por diferencia entre el peso fresco y el peso seco, se determinó el contenido de humedad, el que luego se expresó en porcentaje, al igual que la materia seca. Este procedimiento se hizo para cada árbol y a partir de estos datos, se obtuvo un promedio por carga frutal.

Los cálculos se realizaron de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de materia seca (\%)} = \frac{\text{Peso seco} \times 100}{\text{Peso fresco}}$$

$$\text{Porcentaje de humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) \times 100}{\text{Peso fresco}}$$

### **Elementos minerales**

Las muestras para los análisis mineralógicos, para cada órgano de la planta, se obtuvieron como se indica a continuación:

Hojas: En el caso del análisis foliar efectuado el 18 de enero, las muestras obtenidas fueron compuestas de 300 gramos para cada carga frutal, con el mismo número de hojas de cada árbol. En el muestreo realizado durante la cosecha (6 de mayo), las muestras fueron de 300 gramos por árbol de hojas sacadas de las ramillas de un año sin fruta, específicamente del tercio medio de éstas, de los cuatro puntos cardinales en una cantidad homogénea y evitando las hojas del interior y periferia de la planta.

Frutos: El 6 de mayo se recolectaron muestras de 300 gramos de fruta de cada árbol, sacando la misma cantidad de fruta por cada punto cardinal, evitando la fruta ubicada en la periferia e interior del árbol.

Ramillas de un año o menos: Las muestras para cada árbol fueron de 300 gramos, donde sólo se consideró el tercio medio de estas ramillas para ser analizadas. La fecha de muestreo fue el 28 de mayo.

Ramas y madera de más de un año: El 6 de mayo se tomaron muestras compuestas de 300 gramos por carga frutal (100 gramos de cada árbol), las cuales fueron tomadas específicamente del floema, *cambium* vascular y parte del tejido xilemático del tronco y ramas laterales con un perímetro superior a los 10 cm, muestreando tejidos de zonas similares de cada árbol, evitando la madera del interior y periferia de la planta.

Raíces: En el mes de agosto, a medida que se fueron arrancando los árboles, se fueron obteniendo las muestras compuestas por carga frutal, siendo las de la baja carga frutal las primeras en recolectarse el día 16 de agosto y de alta carga frutal el día 17 de agosto. Éstas fueron de 300 gramos (100 gramos de cada árbol) y sólo de las raíces con un diámetro menor o igual a 8 mm.

A medida que se obtenían las muestras, éstas eran llevadas inmediatamente a los laboratorios de la empresa Agrolab para efectuar los análisis mineralógicos. Los elementos minerales y la metodología con el que se analizó su concentración es el siguiente (Sadzawka *et al.*, 2007):

Nitrógeno (N): Se hizo una digestión con  $H_2SO_4$  catalizador para luego realizar una determinación por destilación y titulación. El resultado se expresó en porcentaje con respecto a materia seca.

Fósforo (P): Se realizó una calcinación, digestión ácida y posteriormente determinación colorimétrica por formación del complejo nitro-vanado-molibdato. Su concentración fue expresada en porcentaje con respecto a materia seca.

Potasio (K): Primero se hizo una calcinación, una digestión ácida y luego una determinación por espectrofotometría de llama. Su concentración se expresó igual que los dos elementos anteriores.

Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn): Se realizó una calcinación, luego una digestión ácida para posteriormente realizar su determinación por una espectrofotometría de absorción atómica con solución supresora de lantano. En el caso del Ca y el Mg, su concentración en los tejidos, se expresó en porcentaje con respecto a materia seca. El Mn y el Zn se expresaron en  $mg \cdot kg^{-1}$  de materia seca.

Boro (B): La obtención de su concentración se hizo mediante una calcinación, posterior digestión ácida y determinación colorimétrica con Azometina-H. Su concentración fue expresada en  $mg \cdot kg^{-1}$  de materia seca.

Además se cuantificó la cantidad total de cada elemento mineral en cada órgano de la planta (contenido) de cada planta de olivo al multiplicar la concentración de los macroelementos con la cantidad de biomasa (base peso seco) de cada órgano, obteniendo finalmente un promedio por carga frutal. En el caso de los microelementos, se realizó una transformación de unidades de las concentraciones pasándolas de  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  y luego multiplicándolas por la cantidad de biomasa de cada órgano, para luego obtener un promedio por carga frutal.

### **Distribución de elementos minerales**

Para definir la distribución porcentual de los elementos minerales analizados en los distintos órganos de la planta de olivo, se obtuvo el porcentaje que representaba el contenido de cada elemento mineral, por órgano, con respecto al total de éste en la planta (suma de contenidos en todos los órganos analizados).

### **Extracción de elementos minerales**

Para estimar la extracción de cada elemento mineral analizado, se utilizaron los contenidos totales de éstos en frutos por planta, los que se multiplicaron por la cantidad de plantas $\cdot\text{ha}^{-1}$  (416), dejando la extracción de macroelementos expresada, en promedio por carga frutal, en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y la de microelementos en  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En tanto, la extracción de cada nutriente por tonelada de fruta fresca producida, se calculó dividiendo la extracción de cada elemento mineral por el rendimiento $\cdot\text{ha}^{-1}$  (el que fue estimado en base a la producción de fruta por planta y la cantidad de plantas $\cdot\text{ha}^{-1}$ ), expresándose, en promedio por carga frutal, en  $\text{kg}\cdot\text{ton}^{-1}$  de fruta fresca, para el caso de macronutrientes y en  $\text{g}\cdot\text{ton}^{-1}$  de fruta fresca para el caso de micronutrientes.

### **Reservas orgánicas**

El muestreo para el análisis de la concentración de almidón, proteínas y arginina se realizó en los siguientes órganos y de la siguiente manera:

**Hojas:** Durante la cosecha (6 de mayo), se recolectaron muestras compuestas por carga frutal de 300 gramos (100 gramos de cada árbol) de hojas sacadas de las ramillas de un año, específicamente del tercio medio de éstas, de los cuatro puntos cardinales en una cantidad homogénea y evitando las hojas del interior y periferia de la planta.

**Raíces:** En el mes de agosto, a medida que se sacaban los árboles, se recolectaron las muestras de 300 gramos por cada árbol, siendo las de las plantas de baja carga frutal la primeras en recolectarse el día 16 de agosto y luego las de alta carga frutal el día 17 de agosto. Las raíces utilizadas para el muestreo fueron aquellas con un diámetro menor o igual a 8 mm, evitando la parte terminal de las raíces.



También se cuantificó la cantidad total de las distintas reservas orgánicas en raíces con diámetros menores o iguales a 8 mm y hojas, multiplicando dichas concentraciones con la cantidad de biomasa (base peso seco) de estos órganos.

### **Concentración de aceite**

La determinación de la concentración de aceite en los frutos, se hizo para cada árbol por medio de muestras de 20 aceitunas. A éstas se les separó la pulpa del carozo, se pesaron para luego ser secadas en una estufa al igual que las muestras utilizadas para la determinación del porcentaje de humedad y materia seca. Luego se tomó una muestra de 3 gramos de materia seca y se sometió a éter de petróleo como solvente para extraer su aceite (método de Soxhlet) (A.O.A.C., 1984). El resultado expresó en base a materia seca (b.m.s.) y materia fresca (b.m.f.). Se calcularon de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de aceite en b.m.s. (\%)} = \frac{\text{Peso del aceite del extracto} \times 100}{3 \text{ gramos MS}}$$

$$\text{Porcentaje de aceite en b.m.f. (\%)} = \frac{\text{Peso del aceite del extracto} \times (100 - \% \text{ Humedad})}{3 \text{ gramos MS}}$$

### **Análisis estadístico**

Utilizando el programa estadístico InfoStat, se realizó una prueba t de Student con un nivel de significancia del 5% para identificar diferencias entre cargas frutales para las variables mencionadas anteriormente. Además se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, con un nivel de significancia del 5%, en la distribución de cada elemento mineral entre los distintos órganos de la planta de olivo para cada carga frutal. También se hicieron correlaciones lineales, con un nivel de significancia del 5 %, para identificar asociaciones entre las distintas variables medidas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros productivos

#### Área sección transversal de tronco

Para determinar que los olivos elegidos eran de similar vigor, se procedió a medir el área sección transversal de tronco (ASTT) a 20 cm del suelo. Según Reginato (2002) el ASTT refleja el tamaño del árbol y que esta variable está linealmente relacionada con el área foliar de un árbol de una variedad determinada. En el Cuadro 1 se puede observar que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los vigores de las plantas.

#### Producción

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la producción medida como kilogramos de fruta entre árboles de alta y baja carga frutal tanto en base a materia fresca como seca (Cuadro 1), siendo un 88,2 y 86,9% menor, respectivamente, en los árboles de baja carga. Se infiere que las plantas con mayores producciones vienen de un año con baja carga frutal y viceversa. Pero esta inferencia podría ser errónea si es que alguna o todas ellas tuvieron el año 2010 producciones similares o iguales a las que registraron el 2011, ya que la vejería también se puede presentar con dos años consecutivos de alta o baja carga frutal (Arrobas y Rodrigues, 2010). Para efectos de este ensayo, se tuvo como supuesto la inferencia planteada anteriormente ya que dentro de un mismo cuartel, en el mismo año, se pueden encontrar árboles con vejerías de distinta sincronía, es decir, existen árboles con altas y bajas cargas frutales (Ramírez, 2001).

Cuadro 1. Efecto de la carga frutal sobre: producción de fruta en base a materia fresca (b.m.f.) y seca (b.m.s.), eficiencia productiva, número de frutos, carga frutal y peso promedio de frutos, en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	ASTT (cm <sup>2</sup> )	Producción		Eficiencia Productiva (kg fruta·cm <sup>-2</sup> ASTT)	Número de frutos (N° de frutos·planta <sup>-1</sup> )	Carga frutal (n° frutos·cm <sup>-2</sup> ASTT)	Peso Promedio Fruto (g)
		b.m.f. (kg fruta·planta <sup>-1</sup> )	b.m.s. (kg fruta·planta <sup>-1</sup> )				
Alta	266,1 a <sup>1</sup>	38,0 b	12,8 b	0,14 b	18.370 b	67,7 b	2,1 a
Baja	251,3 a	4,5 a	1,7 a	0,02 a	1.624 a	6,3 a	2,8 b

<sup>1</sup> Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student (p≤0,05).

Estos resultados demuestran las grandes diferencias productivas que se tienen entre un año de alta y otro de baja carga frutal. Si bien éstos no se obtuvieron de producciones de años consecutivos, son similares con los obtenidos por Fichet *et al.* (2011) en ensayos realizados en olivos variedad Coratina en Melipilla durante los años 2007, 2008, 2009 y 2010 en donde las producciones fueron, respectivamente, de 57,62; 7,16; 47,39 y 1,14 (kg·planta<sup>-1</sup>).

### **Eficiencia productiva**

Para eliminar la influencia del tamaño del árbol sobre la producción (el cuál ya fue descartado por las ASTT sin diferencias significativas) se utiliza la eficiencia productiva. Este parámetro estima la productividad de la superficie fructífera y permite calcular la producción en términos de  $\text{kg fruta} \cdot \text{cm}^{-2}$  ASTT (Westwood, 1982 citado por Muñoz, 2008).

Como se observa en el Cuadro 1, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia productiva entre cargas frutales, siendo mayor en las plantas con un alto número de frutos, lo que deja de manifiesto que el vigor de la planta no es un factor a considerar en la producción obtenida. Además, al no existir diferencias significativas en el ASTT, entre las cargas frutales, la eficiencia productiva estaría directamente relacionada con los kilogramos de fruta obtenidos por planta.

### **Número de frutos y carga frutal**

Tanto el número de frutos por árbol, como las cargas frutales obtenidas fueron significativamente distintas entre tipos de árboles (Cuadro 1) siendo, obviamente, mayores en el tratamiento considerados con “alta carga frutal”, teniendo un 91,2 % menos de fruta en olivos considerados de “baja carga”. Si bien la variedad Frantoio tiene una baja alternancia (COI, 2000; Tapia, 2009), lo más probable es que, en este caso en específico, la esté presentando en un mayor grado debido a la edad de la plantación (la cual era de 12 años al momento del ensayo). Esto debido a que la alternancia aumenta con la edad del árbol, siendo un comportamiento general en todas las especies frutales que presentan añerismo o alternancia productiva. Los árboles jóvenes son más regulares en su producción al presentar un crecimiento vegetativo más vigoroso (mejor relación hoja: fruto). Las ramas vigorosas, con un elevado número de entrenudos largos no tienen muchos puntos de producción potencial. A medida que el árbol crece, el porcentaje de puntos de crecimiento se reduce y aumenta el de puntos de producción potencial, iniciándose la competencia entre ellos (Ramírez, 2001).

### **Peso promedio fruto**

El peso promedio de frutos, en los árboles de alta carga frutal, fue estadísticamente inferior que en los árboles de baja carga (Cuadro 1). Esta reducción del peso individual del fruto es típica de olivos con grandes producciones, existiendo una relación directa entre la carga frutal y el tamaño de la aceituna en donde, a menor carga frutal mayor es el peso del fruto (Lavee y Wodner, 2004; Muñoz, 2008; Fichet *et al.*, 2011). Esto se debe a que, a menor cantidad de aceitunas en el árbol, menor es la competencia por fotoasimilados entre los frutos, siendo mayor la acumulación de materia seca en ellos (Barranco *et al.*, 2008). Al respecto, Proietti y Tombesi (1996, citados por Therios, 2009) señalan que el crecimiento y el tamaño de la aceituna son independientes de cada brote, y los brotes vecinos pueden ser considerados como unidades independientes, ya que estos no se verán afectados por las condiciones que se tenga en los brotes adyacentes. Los nutrientes, para el crecimiento de la aceituna y su desarrollo, son

suministrados principalmente por las hojas de la misma ramilla y cercanas a ella. Por lo tanto, en las áreas sombreadas, donde la disponibilidad de carbohidratos es baja, la aceituna no puede obtener el mismo tamaño que aquellas expuestas a la luz, aunque la disponibilidad de nutrientes para todo el árbol sea alta. Famiani *et al.* (2006), comprobaron que al aumentar la relación hoja: fruto, mediante un raleo de frutos, se disminuyó la competencia entre frutos. Este cambio en la relación hoja: fruto provoca diferencias significativas en el crecimiento del fruto. Bajo altos niveles de disponibilidad de fotoasimilados, como sucede con un raleo de fruta, aumenta el peso de la misma. En contraste, la eliminación de hojas reduce el tamaño de frutos.

## Características de la fruta

### Madurez

La aceituna destinada para aceite debe ser cosechada idóneamente cuando el índice de madurez conocido como índice de Ferreira, y que se relaciona con el color del fruto, esté cercano a un valor de 3,5. Valores superiores a 4 reflejan un menor contenido y calidad de aceite, debido principalmente a una sobremaduración de la fruta, además de una pérdida en el contenido de polifenoles. Estos últimos tienen su mayor acumulación en la fruta al momento de pinta o envero, que es cuando la fruta cambia de color (Hermoso *et al.*, 1991, citado por Barranco *et al.*, 2008; Astorga *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Efecto de la carga frutal sobre: el índice de madurez (índice de Ferreira) y la concentración de aceite de los frutos en base a materia fresca (b.m.f.) y seca (b.m.s.), en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	Índice de Madurez (n=100 frutos)	Aceite b.m.s. (%)	Aceite b.m.f. (%)	Humedad (%)
Alta	1,0 a <sup>1</sup>	59,0 a	19,9 a	66,4 b
Baja	2,2 a	64,1 b	23,4 b	63,4 a

<sup>1</sup> Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

El Cuadro 2 muestra que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el índice de madurez entre cargas frutales. Sin embargo, se puede observar una tendencia en la coloración de las aceitunas, teniendo un color verde amarillento (clase 1) en olivos con mayor carga frutal, y presentando un color verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto (clase 2) en árboles con menor carga. En este caso, ello

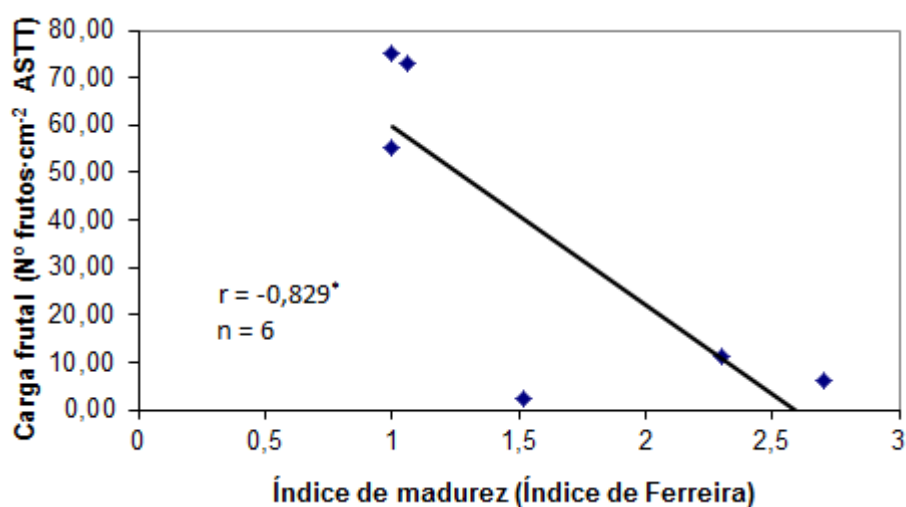


Figura 1. Correlación lineal entre el índice de madurez a cosecha (Índice de Ferreira) y la carga frutal (Nº de frutos/ cm<sup>2</sup> ASTT), en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha. \* Coeficiente de correlación de Pearson significativo ( $p \leq 0,05$ ).

marca el inicio del envero, evento que indica el inicio de madurez fisiológica y que es resultado de la reducción del contenido de clorofila y las altas concentraciones de antocianinas en el fruto (Lavee, 1986, citado por Ramírez, 2001; Astorga *et al.*, 2003). Sin embargo, sí existe una correlación lineal negativa entre la carga frutal y el índice de madurez (Figura 1), lo que demostraría que sí están asociados linealmente, es decir, a medida que aumenta la cantidad de fruta en la planta, menor es su índice de madurez, o desde otro punto de vista, a medida que es menor la carga frutal, el proceso de maduración es más acelerado (Barone *et al.*, 1994; Lavee y Wodner, 2004). Monselise y Goldschmidt (1982, citados por Barone *et al.*, 1994) señalan que incluso frutos provenientes de árboles con una alta producción podrían no llegar a madurar debido, probablemente, a la fuerte competencia por fotoasimilados que se produce en árboles muy cargados.

### **Concentración de aceite**

La acumulación de aceite se inicia hacia el final de endurecimiento de carozo, y en condiciones de riego, sigue linealmente hasta el cambio de color externo de la fruta (Lavee y Wodner, 2004). La acumulación de aceite, a cosecha, mostró diferencias estadísticamente significativas entre plantas con altas y bajas cargas frutales tanto en base a materia fresca como seca (Cuadro 2), siendo un 5,1 % mayor en fruta de olivos que tuvieron una baja producción de fruta. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Barone *et al.* (1994), Lavee y Wodner (2004) y Muñoz (2008). Sin embargo, los segundos autores mencionan que la concentración de aceite, al final de la maduración, será igual en frutos provenientes de plantas tanto con altas como bajas cargas frutales, y que la diferencia en éstos se manifiesta en los estados de madurez incompletos, afirmando que la capacidad de las células del mesocarpo para sintetizar y acumular aceite no estaría limitada por el tamaño de fruto o la cantidad de fruta presente en el árbol, y que esta última sólo estaría afectando la velocidad con la cual la fruta acumula el aceite, lo cual se contradice con lo señalado por Monselise y Goldschmidt (1982, citados por Barone *et al.*, 1994).

### **Contenido de humedad**

El contenido de humedad fue estadísticamente inferior en la fruta proveniente de olivos con baja carga frutal (Cuadro 2). Esto podría ser resultado de la mayor concentración de aceite presente en la fruta de plantas con baja producción (Cuadro 1), debido a que durante la tercera fase del crecimiento del fruto, comienza la síntesis de aceite y su acumulación en las vacuolas de las células parenquimáticas de la pulpa (lipogénesis), organelo celular en donde también se produce la acumulación de agua (Rapoport, 1999, citado por Ramírez, 2001; Azcón-Bieto y Talón, 2008; Barranco *et al.*, 2008). Por lo tanto, al existir un mayor espacio, en la vacuola, ocupado por el aceite, menor será la acumulación de agua en los frutos y viceversa.

El menor contenido de humedad en frutos de árboles con baja carga frutal no puede ser resultado de diferencias de disponibilidad hídrica, ya que ambas cargas recibieron los mismos regímenes de riego. Además, al existir un déficit hídrico es menor la

acumulación de aceite en la fruta (Barone *et al.*, 1996) debido a que se cierran los estomas, reduciéndose la fotosíntesis, dejando menor disponibilidad de fotoasimilados para la producción de aceite (Barranco *et al.*, 2008).

## Cantidad y contenido de materia fresca y seca en distintos órganos de la planta

### Hojas

Las hojas de los olivos son de color gris-verde y tienen una vida promedio de 2 a 3 años (Barranco *et al.*, 2008; Therios, 2009), aunque en muchas ocasiones éstas no logran durar más de un año debido a varios factores como son: estrés salino, exceso de agua en el suelo, plagas y enfermedades, exceso de floración y de carga frutal, cosecha tardía, sombreamiento o deficiencias nutricionales (Fichet *et al.*, 2011).

No se encontró efecto de la carga frutal sobre la cantidad total de hojas tanto en base a peso fresco como seco, y tampoco en el porcentaje de humedad al no encontrarse diferencias significativas (Cuadro 3), incluso la biomasa de hojas (en base a peso seco) fue un 10,3 % mayor en plantas que tuvieron una alta carga. Esto no coincide con los resultados obtenidos por Rallo y Suarez (1989), los cuales afirman que una alta presencia de fruta provoca una reducción en el crecimiento de nuevas hojas en un 40%. También detectaron que en un año de alta carga frutal la biomasa de hojas, de un año de edad, redujeron su biomasa en un 50% y que sólo un 10% de la biomasa producida por la planta durante este tipo de año fue destinada a nuevas hojas, mientras que un 85% se fue a la fruta.

Cuadro 3. Efecto de la carga frutal sobre el contenido y cantidad (% y kg totales por planta) de materia seca y fresca en el total de hojas en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	Peso fresco	Humedad	Materia seca	Peso seco
	(kg·planta <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(kg·planta <sup>-1</sup> )
Alta	18,9 a <sup>1</sup>	46,3 a	53,9 a	10,4 a
Baja	18,9 a	49,7 a	50,3 a	9,4 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en una misma columna, no indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Además, al existir una mayor presencia de fruta en el olivo, menor es el crecimiento del brote de la temporada y por lo tanto, menor es el número de hojas en brotes completos de altas cargas frutales, lo cual estaría provocando un efecto negativo sobre el nivel de floración de la primavera siguiente, acentuando aún más el grado de añerismo o alternancia productiva (Ramírez, 2001; Barranco *et al.*, 2008; Dag *et al.*, 2010; Fichet *et al.*, 2011). Quizás la forma elegida para detectar el efecto de la alta carga frutal sobre la biomasa de hojas no fue el adecuado. Podría haberse escogido otras formas de medir este comportamiento, como por ejemplo separar las hojas jóvenes (de un año o menos) de las adultas (mayores de un año), pero su identificación en terreno, por el tiempo que tomaría en separar e identificar entre ambos tipos de hojas, lo hacía inviable.

### Ramillas de un año o menos

Dentro de ésta categoría de ramillas están los brotes que crecieron en la temporada anterior (2009-2010) y aquellos que crecieron durante la última temporada (2010-2011).



En los primeros es donde ocurrió la fructificación y en los segundos es donde se llevará a cabo la fructificación del año siguiente (Lavee, 2006; Seifi *et al.*, 2008). Esto se debe a que la fructificación ocurre en ramillas con un año de crecimiento, dado que se requieren dos temporadas para que ésta se complete. Éste fenómeno fisiológico es conocido como ciclo bienal, en donde, el primer año de desarrollo tiene lugar la formación de la yemas, la inducción floral, la diferenciación floral y el establecimiento del reposo en las mismas; y durante el segundo se termina la diferenciación floral, se desarrollan las inflorescencias y flores y se produce el crecimiento y desarrollo de los frutos hasta su maduración (Sanz-Cortés *et al.*, 2002; Barranco *et al.*, 2008; Therios, 2009).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de ramillas de un año o menos, tanto en base a peso fresco como seco, en plantas con alta y baja cantidad de fruta (Cuadro 4), incluso se observa un 7,9 % más de biomasa de éstas ramillas en plantas que tuvieron una alta producción de fruta. Rallo y Suarez (1989) afirman que, para el caso de nuevos brotes, la reducción en crecimiento, como biomasa, llega a un 50 %, en comparación a un año de baja carga frutal y que un 85 % de la nueva biomasa producida en la planta va a la fruta, mientras que sólo un 5 % llega a los brotes debido principalmente a la competencia por asimilados entre frutos y brotes. Al respecto, Marquez y Rallo (1989, citados por Ramírez, 2001) señalan que el reparto de materia seca en árboles jóvenes con alta carga es de un 25% en frutos y un 8% en brotes, mientras que en años de baja carga es de 27% en brotes y 7% en frutos. A su vez Dag *et al.* (2010), al eliminar la fruta de los brotes, en un año de alta carga, 50 días después de plena flor, observaron que el crecimiento del año en longitud (cm) en estos brotes llegó a ser el doble que en aquellos que no se removió la fruta. Este menor crecimiento de brotes da como resultado que el número de nudos en éstos sea menor y con ello el número de inflorescencias potenciales (Ramírez, 2001).

Cuadro 4. Efecto de la carga frutal sobre el contenido y cantidad (% y kg totales por planta) de materia seca y fresca en el total de ramillas de un año o menos en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

<b>Carga frutal</b>	<b>Peso fresco (kg·planta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Materia seca (%)</b>	<b>Peso seco (kg·planta<sup>-1</sup>)</b>
Alta	18,8 a <sup>1</sup>	46,0 a	53,9 a	10,1 a
Baja	16,9 a	44,7 a	55,3 a	9,4 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en una misma columna, no indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Por estas razones es que podría existir un posible equilibrio entre el crecimiento de la última temporada y la anterior, siendo la suma de la biomasa de los dos crecimientos, constante a través del tiempo.

### **Ramas y madera de más de un año**

No se obtuvieron diferencias significativas en las biomásas del eje principal (tronco), ramas con más de un año de crecimiento, la suma de estas dos y la peana (cuello de la

planta), afectadas por altas o bajas cargas frutales, tanto en base a peso fresco como seco (Cuadro 5). Esto demuestra una vez más la similitud en el vigor de las plantas utilizadas para el estudio.

Cuadro 5. Efecto de la carga frutal sobre el contenido y cantidad (% y kg totales por planta) de materia seca (M.S.) y fresca en: eje principal, ramas de más de un año de crecimiento, la suma del eje principal con ramas de más de un año y peana en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	Peso fresco				M.S. (%)	Peso seco			
	Eje principal (kg)	Ramas > 1 año (kg)	Total (kg)	Peana (kg)		Eje principal (kg)	Ramas > 1 año (kg)	Total (kg)	Peana (kg)
Alta	57,3 a	27,4 a	84,8 a	53,7 a	62,8 a	35,8 a	17,1 a	52,9 a	33,8 a
Baja	53,6 a	17,5 a	71,1 a	48,4 a	65,2 a	34,9 a	11,4 a	46,3 a	31,5 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en una misma columna, no indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Fereres *et al.* (2003), observaron un patrón de crecimiento estacional distinto en el diámetro de los troncos de árboles de 18 años de edad con alta y baja carga frutal. Los árboles de baja carga frutal presentaron un crecimiento con una velocidad más o menos constante a lo largo de la temporada, mientras que en los árboles con altas cargas frutales su crecimiento casi se detuvo alrededor del día 150 después de plena floración, reanudándose a un ritmo lento en pleno verano, deteniéndose en otoño.

### Raíces con un diámetro mayor a 8 mm

No se encontraron diferencias significativas en las cantidades de materia fresca y seca entre plantas con altas y bajas cargas frutales (Cuadro 6). Esto puede ser resultado del sistema de riego utilizado en el predio (riego por goteo), ya que las raíces de plantas regadas mediante este sistema tienden a concentrarse en el volumen de suelo mojado (Arrue *et al.*, 1991; Celano *et al.*, 2000). Por lo tanto las raíces gruesas, cuya función principal es el anclaje de árboles adultos (Webster, 2005; Therios, 2009) como los de este estudio, ya estarían establecidas en estos bulbos húmedos de suelo que son similares para todos estos olivos y no deberían presentar mayores variaciones en su cantidad de biomasa.

Cuadro 6. Efecto de la carga frutal sobre el contenido y cantidad (% y kg totales por planta) de materia seca y fresca en el total de raíces con un diámetro mayor a 8 mm en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	Peso fresco	Humedad	Materia seca	Peso seco
	(kg·planta <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(kg·planta <sup>-1</sup> )
Alta	17,8 a <sup>1</sup>	48,2 a	51,8 a	9,2 a
Baja	13,1 a	44,2 a	55,8 a	7,3 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en una misma columna, no indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

### Raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm

No hubo diferencias significativas en la cantidad de raíces con un diámetro menor o igual a 8 mm, tanto en base a peso fresco como seco con respecto a la carga frutal (Cuadro 7). Sí se puede observar una tendencia, existiendo un 80,7 % más de biomasa en raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm en los árboles de baja carga frutal, existiendo una correlación negativa entre el peso seco de éstas y los kg de fruta (base materia seca) por olivo (APÉNDICE II, Cuadro 1). Al respecto, Fichet *et al.* (2011) al registrar el crecimiento radicular en un árbol de la variedad Kalamata, observaron que el año de baja carga éste fue mayor, mientras que la temporada siguiente, que fue de alta carga, las raíces crecieron un 60 % menos debido a la competencia con la fruta y al mayor crecimiento de brotes. Una evidencia de que la fruta es un competidor más fuerte que las raíces, es el hecho de que éstas presentaron una fuerte caída en su crecimiento después del cuajado de la fruta en las variedades Empeltre y Sevillano (Ibacache *et al.*, 2001). También se ha observado una reducción en la longitud de las raíces finas en manzanos producto de una alta presencia de fruta, además de una reducción en el volumen del sistema radical, ya que no se estarían reemplazando las raíces finas que mueren producto del término de su ciclo natural (Weller, 1697; Head, 1969; Avery, 1970; citados por Atkinson, 1980). Es de vital importancia la renovación y crecimiento de estas raíces finas porque son éstas las que tienen como función principal la absorción de agua y nutrientes (Atkinson, 1980).

Cuadro 7. Efecto de la carga frutal sobre el contenido (% y kg totales por planta) de materia seca y fresca en el total de raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm en olivos variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Carga frutal	Peso fresco	Humedad	Materia seca	Peso seco
	(kg·planta <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(kg·planta <sup>-1</sup> )
Alta	3,9 a <sup>1</sup>	48,9 a	51,1 a	2,0 a
Baja	7,4 a	50,1 a	49,9 a	3,7 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en una misma columna, no indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Por otra parte, también existiría una relación constante entre el tamaño de los brotes y el crecimiento de las raíces. Esto se ve reflejado al realizar una poda buscando simular un fuerte crecimiento de los brotes, en donde debería esperarse un menor crecimiento de raíces debido a que la mayor parte de los fotoasimilados abastecería el mayor crecimiento de la parte aérea. Sin embargo, existe un “flush” de crecimiento de raíces compensando el mayor tamaño de los brotes. También se ha demostrado este efecto en las podas de verano en manzanos (Rogers y Vyvyan, 1934; Head, 1967; Atkinson *et al.*, 1976; Lenz, 2001; citados por Webster, 2005). Celano *et al.* (2000), al observar una mayor densidad de raíces finas en olivos bajo una condición de riego que aquellas creciendo en una condición de secano, las cuales también tuvieron un mayor crecimiento en su parte aérea, hacen referencia a que esta mayor densidad de raíces sería resultado de una adaptación de la planta al crecimiento más vigoroso de la canopia en la temporada. También hacen referencia a que esta área foliar superior de las plantas,

podría proporcionar un total de reservas de hidratos de carbono más grandes para la actividad de las raíces.

Para el estudio de la asignación de biomasa, entre los órganos de la planta, uno de los enfoques son los modelos teleonómicos, los cuales hacen referencia a la existencia de un equilibrio de las funciones fisiológicas entre los brotes y las raíces (Grechi *et al.*, 2007; Génard *et al.*, 2008). De esta forma, al existir un mayor crecimiento de brotes, habrá una mayor fotosíntesis, lo que conlleva a una mayor demanda de agua, por lo cual el sistema radicular crecería más. Así mismo, frente a una disminución de los recursos subterráneos, la planta asignará más biomasa a las raíces (Poorter y Nagel, 2000). Al respecto, Fichet *et al.* (2011), al observar un mayor crecimiento en las raíces que en los brotes en un árbol de olivo, variedad Sevillana, en condiciones de suministro hídrico deficiente, afirman que este comportamiento es consecuencia de la mayor demanda de fotoasimilados por parte de las raíces para crecer más en búsqueda de agua. A su vez Dichio *et al.* (2000), mencionan que la mayor disminución del crecimiento en la canopia, en comparación con el crecimiento en las raíces, en condiciones de déficit de agua, es un mecanismo que mejora la disponibilidad de agua por unidad de área foliar, permitiendo a la planta resistir largos períodos de estrés hídrico, manteniendo las hojas fotosintéticamente activas.

## Concentración y contenido total de elementos minerales

### Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento constitutivo de las moléculas de clorofila. También es constituyente de 22 de los 23 aminoácidos, conformando parte de casi todas las proteínas, es parte de todos los ácidos nucleicos e influye en la división y elongación celular (Razeto, 2009).

Se encontraron diferencias significativas en la concentración y el contenido total de N, con respecto a la carga frutal, sólo en frutos (Figura 2A y 2B). Las concentraciones foliares de N por efecto de la carga frutal tuvieron valores de 1,43 y 1,41 % (base peso seco) después de una temporada de alta y baja carga, respectivamente. Además presentaron valores dentro del rango óptimo en endurecimiento de carozo (APÉNDICE I, Cuadro 1) siendo Frantoio una variedad altamente eficiente en la absorción de N (Dimassi *et al.*, 1999). Esto concuerda con los resultados encontrados en un ensayo realizado en olivos de siete años de edad, variedad Manzanillo (las muestras fueron de hojas maduras pertenecientes al crecimiento de la última temporada), que se dejaron de fertilizar para efectos de la evaluación (sólo en estos años), en donde, en uno de los años de evaluación, no se encontraron diferencias significativas en la concentración foliar de N entre árboles de alta y baja carga frutal (se indujo una menor presencia de fruta en los árboles mediante la aplicación, en plena floración, de ácido naftalen acético). Incluso en el primer año de evaluación, la concentración foliar de N fue significativamente mayor en árboles que tuvieron una alta producción de fruta (Ferguson y Sibbett, 2000). Contrariamente, Troncoso *et al.* (2008) muestran, en un ensayo hecho con olivos variedad Manzanillo de 20 años de edad (no especifican si las hojas muestreadas eran jóvenes o maduras), que después de un año de alta carga frutal, la concentración foliar de N fue de 1,45 %, mientras que después de un año de baja carga ésta fue de 1,75 %. Por su parte Fernández-Escobar *et al.* (1999), al hacer mediciones en hojas de olivos, variedad Picual de 12 años de edad, que crecieron durante dos temporadas obtuvieron concentraciones de N de 1,6 % en la temporada de baja carga, mientras que al año siguiente que fue de alta carga, la concentración de N en estas mismas hojas fue cercano al 1,3 %. Sin embargo, estos mismos autores señalan que hojas nuevas en años de alta y baja carga (en el mes de julio, mes en donde ocurre endurecimiento de carozo en España) tuvieron concentraciones foliares de N similares estando siempre dentro del rango óptimo, siendo de todas formas mayor en el año de baja carga. Estos antecedentes podrían estar indicando que la disminución foliar de N sería sólo en hojas de los brotes en donde se encuentra la fruta y no estando presente dicha disminución en hojas del crecimiento de la última temporada.

Fernández-Escobar *et al.* (1999), afirman que la disminución de la concentración de N, en las hojas, sería consecuencia del alto consumo de N por la fruta en la temporada en la que ésta se presenta en una mayor cantidad. Esto se puede observar en la Figura 2B, en donde la fruta de un olivo de alta carga extrajo en promedio 79,6 g de N·planta<sup>-1</sup>, el cual tuvo una producción de fruta promedio de 38 kg·planta<sup>-1</sup> (Cuadro 1), lo que resulta en una extracción de 0,209 kg de N·100 kg<sup>-1</sup> de fruta fresca. La fruta de un olivo de baja carga extrajo en promedio 8,36 g·planta<sup>-1</sup> cuya producción promedio fue de 4,5 kg de

fruta·planta<sup>-1</sup> (Cuadro 1) resultando en 0,19 kg de N·100 kg<sup>-1</sup> de fruta fresca. Por lo tanto en un año de baja carga, además de la baja extracción de N por la poca fruta producida, la baja extracción también estaría dada por la menor concentración de este elemento en este órgano repercutiendo en un menor contenido, observándose con mayor claridad en la correlación positiva que se obtuvo entre la mayor carga frutal y la concentración de N en la fruta (APÉNDICE II, Cuadro 2). Al respecto Therios (2009), señala que la extracción de N por parte de la fruta en un olivar año a año es de 0,5 kg·100 kg de fruta<sup>-1</sup>, valores similares a los mostrados por Astorga *et al.* (2003) quienes,

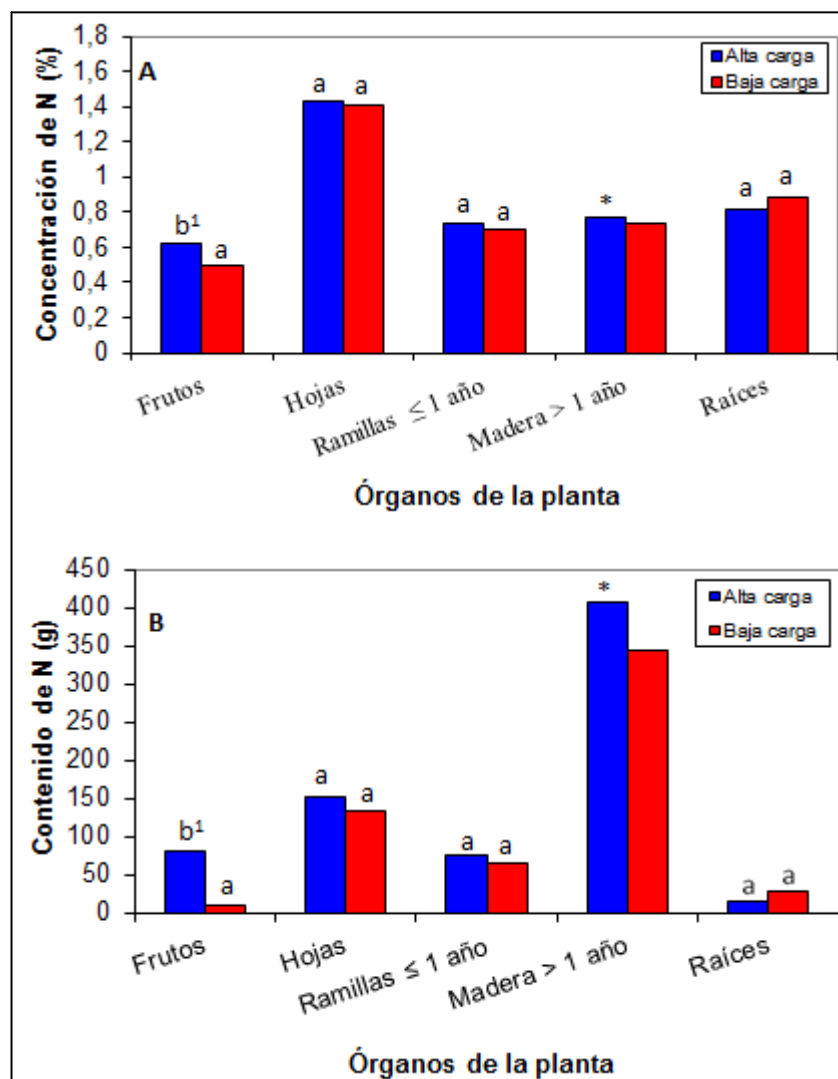


Figura 2. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de N en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas tales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

además de señalar valores de 579 g de N en árboles cuya producción es cercana a los 47 kg·planta<sup>-1</sup>, también muestran extracciones de N cercanas a los 144 g·planta<sup>-1</sup>, valores por sobre los obtenidos en este estudio. Además recomiendan dosis de fertilización

nitrogenada que varían entre los 0,5 a 1 kg·planta<sup>-1</sup>, dependiendo de la producción, lo cual estaría siendo excesivo para el huerto utilizado en este estudio. Por lo tanto es importante señalar que antes de planificar una dosis de fertilización nitrogenada, es importante estimar la producción y saber cuanta es la cantidad de N extraída por kg de fruta (mediante un análisis mineralógico de aceitunas), ya que éstas pueden ser variables entre variedades y de esta forma se evitaría aplicar dosis deficientes o excesivas siendo esto último perjudicial para la calidad del aceite de oliva (Fernández-Escobar *et al.*, 2006). Además, se deben tomar en cuenta las pérdidas de fertilizante y las ganancias en el suelo por solubilización y aportes orgánicos como cortes de poda.

Con respecto a la concentración de N en ramillas de un año o menos, en donde no se encontraron diferencias significativas (Figura 2A), Fernández-Escobar *et al.* (2004), al determinar las dinámicas del N durante la temporada en olivos variedad Picual con añerismo, señalan que las ramillas en años de baja carga frutal aumentaban su concentración de N. Además afirman que, con respecto al inicio de la temporada, las ramillas de un año disminuyeron su contenido de N y las que crecieron durante la última temporada lo aumentaron, señalando que esto se debería a que el N se estaría movilizando, durante la primavera, a las partes más jóvenes, acumulándose en éstas durante el verano. En este estudio se obtuvo una correlación negativa entre la concentración de N en hojas y ramillas de un año o menos (APÉNDICE II, Cuadro 6), es decir al aumentar la concentración de N en hojas disminuye la de ramillas, lo que estaría confirmando que las hojas son la principal fuente de reservas de nitrógeno durante el invierno.

Podría descartarse a ramas y madera de más de un año como parte alternativa de reservas de N, debido a su baja concentración con respecto a los otros órganos, teniendo valores de 0,77 y 0,74 % (base peso seco) en olivos de alta y baja carga frutal, respectivamente, sin observarse una tendencia por efecto de la carga frutal (Figura 2A).

Las concentraciones de N en raíces fueron de 0,81 y 0,88 %, en plantas con alta y baja carga, respectivamente, no observándose diferencias significativas (Figura 2A). En raíces de otras especies que presentan añerismo como es el pistacho, en años de alta carga la concentración de N fue menor que en año de baja carga durante la mayor parte de la temporada (Baninasab *et al.*, 2007). Por otra parte Fichet *et al.* (2011) muestran valores de 0,42 % de N en raíces de olivos variedad Sevillana, mientras tanto Loupassaki *et al.* (2002) obtuvieron un valor de 2,039 % en olivos variedad Koroneiki de un año de edad. Claramente, las concentraciones de N en raíces son variables, por lo cual podría existir un efecto de la variedad o de la edad sobre dichas concentraciones, además de otros factores como la nutrición y fertilidad del suelo.

El papel del N en las plantas de olivo ha sido estudiado mediante fertilizaciones a base de este macroelemento, teniendo como resultado que éstas aumentan la floración y el cuaje de la próxima temporada, el crecimiento vegetativo, longitud y peso seco de los brotes y la producción (Freihat y Masa`deh, 2006; Ben-Gal *et al.*, 2008; Laila *et al.*, 2010). Al respecto Therios (2009) señala que con deficiencias de N disminuye el crecimiento, acorta la longitud de los brotes de la temporada (< 10 cm), hay menos hojas, menos floración y menos producción. Ben-Gal *et al.* (2009), en un ensayo realizado en la variedad Barnea, afirman que la carga frutal aumenta a un máximo a

medida que la concentración foliar se incrementa desde 1 a 1,7 % y luego disminuye a medida esta concentración aumenta aún más, lo cual demostraría el efecto negativo de un exceso de fertilización nitrogenada. Por su parte Alcubilla *et al.* (2002), en estudios realizados en olivos jóvenes de 6 años de edad, obtuvieron que la fertilización nitrogenada no aumentó la producción ni el vigor del árbol en la variedad Arbequina, pero si encontraron una relación positiva entre la fertilización nitrogenada y el vigor del árbol en la variedad Empeltre. Además no encontraron un efecto de la concentración de N en hojas sobre los parámetros de la calidad del aceite como rendimiento graso y tasa de polifenoles, pero sí obtuvieron una correlación negativa entre la concentración foliar de N y la acidez del aceite. Estos antecedentes estarían indicando lo que podría ocurrir en la próxima temporada producto de una carencia o exceso de N.

### **Fósforo**

En general, el fósforo es un componente de las moléculas de energía como lo son la ATP, ADP y AMP, también forma parte de ácidos nucleicos y fosfolípidos, afecta el crecimiento de las raíces, madurez de tejidos de las plantas y participa en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y lípidos (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Therios, 2009).

Si bien es limitada la información con respecto a la funcionalidad del P en el comportamiento reproductivo y vegetativo del olivo, ensayos en variedad Barnea muestran que el aumento en la concentración de fertilizaciones fosfatadas incrementan la concentración de este macroelemento en hojas, la intensidad de floración (número de inflorescencias por rama), el cuajado de frutos y número final de frutos (Ben-Gal *et al.*, 2008; Ben-Gal *et al.*, 2009). Esto demostraría los efectos negativos de un posible déficit generado por una alta carga frutal, pero en este ensayo no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de P en los distintos órganos de la planta de olivo (Figura 3A). Al mismo tiempo, las concentraciones foliares de P en endurecimiento de carozo estuvieron dentro del rango óptimo (APÉNDICE I, Cuadro 1) y las concentraciones promedio en el momento de la cosecha fueron 0,15 y 0,16 % (base peso seco) en olivos de alta y baja carga, respectivamente. Fernández-Escobar *et al.* (1999), señalan una mayor disminución, en la concentración foliar de P, después de un año de alta carga, producto posiblemente del consumo de P por parte de la fruta, al comparar esta concentración en hojas jóvenes de años de baja y alta carga en el mes de julio, se pudieron observar que eran similares, siendo incluso más alta en el año de alta carga, manteniéndose siempre dentro del rango óptimo. Troncoso *et al.* (2008) muestran concentraciones foliares de P de 0,13 y 0,06% en otoños de temporadas de baja y alta carga, respectivamente, en olivos de 20 años de edad, variedad Manzanillo, no especificando el grado de madurez de las hojas muestreadas. Una vez más es cuestionable la existencia de un efecto de la carga frutal sobre la nutrición mineral de brotes nuevos en olivos, en este caso específico del P.

Sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de P en frutos (Figura 3B), lo que estaría indicando la mayor cantidad de P que se estaría yendo con la fruta a cosecha en una planta con alta carga frutal. Sin embargo, la extracción en sí es baja (13,12 g de P·planta<sup>-1</sup> de alta carga) en comparación a la del N, en donde ésta



fue en promedio de  $79,63 \text{ g de N}\cdot\text{planta}^{-1}$  de alta carga. Barranco *et al.* (2008), afirman que las fertilizaciones fosforadas son de baja importancia en olivos, debido a la facilidad de reutilización de éste elemento y a las bajas extracciones que resultan en torno a  $0,7 \text{ g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$  de aceituna, valor superior a los obtenidos en este ensayo ( $0,35 \text{ g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$  de aceituna en olivos con alta carga y  $0,38 \text{ g de P}\cdot\text{kg}^{-1}$  de aceituna en olivos con baja carga). También se puede observar una tendencia del contenido de P en las raíces en donde, aquellas de olivos de baja carga tuvieron un 95,1 % más de P que en aquellas de olivos de alta carga frutal.

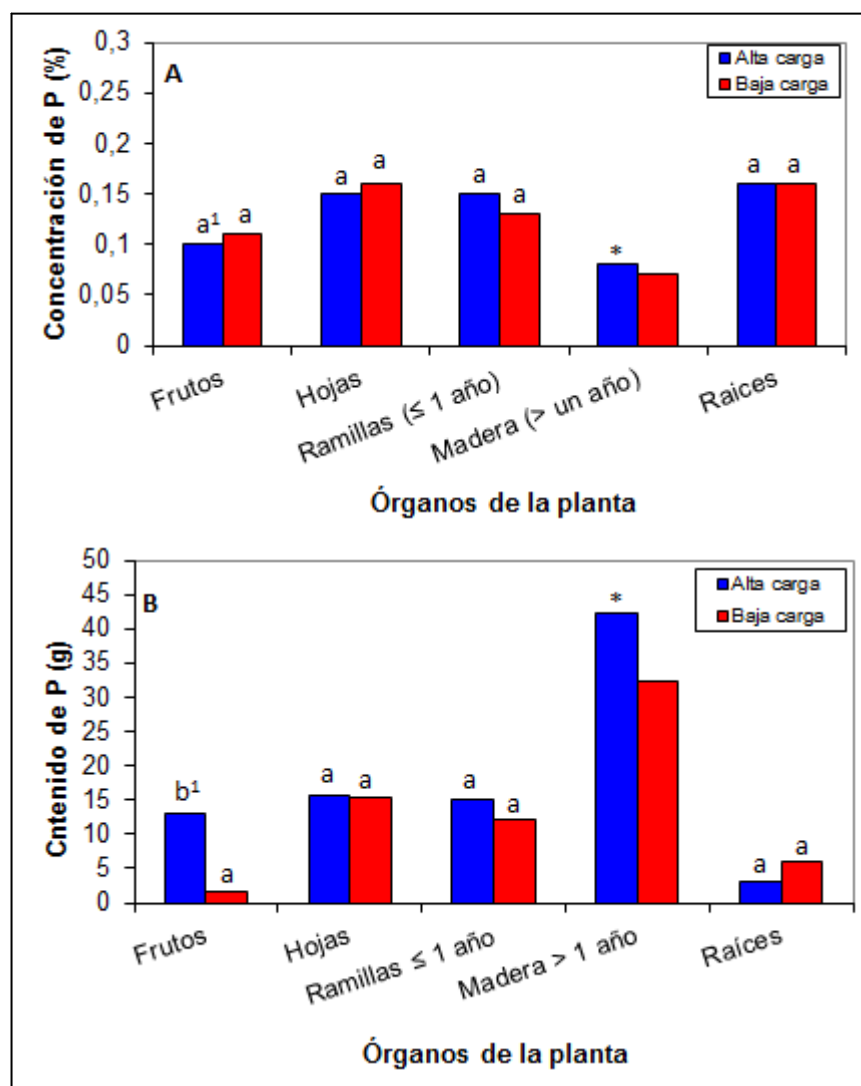


Figura 3. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de P en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

En pistacho, otra especie añera, en los brotes de una temporada de crecimiento, el P se mantiene bajo a lo largo del año en plantas de alta carga en comparación con las de baja, mientras que en brotes de un año la diferencia sólo se nota al final de la temporada, en

donde la concentración de P disminuye en plantas de alta carga mientras que en las de baja carga se mantiene constante (Baninasab *et al.*, 2007). En este estudio no se identificaron diferencias significativas por efecto de la carga frutal (Figura 3A) existiendo concentraciones promedio de este elemento mineral, en ramillas de un año o menos, de 0,15 y 0,13 % (base peso seco) en plantas con alta y baja carga frutal, respectivamente, las que son similares a los de otros estudios. Therios (2009) muestra valores de 0,179 % en brotes, Fichet *et al.* (2011) muestran valores en brotes de la temporada de 0,39 % en olivos, variedad Sevillana de 25 años, mientras tanto que en olivos de un año de edad, variedad Koroneiki, esta concentración fue de 0,123 % (Loupassaki *et al.*, 2002).

La concentración de P en ramas y madera de más de un año fue de 0,08 y 0,07 % (base peso seco) en plantas con alta y baja carga frutal, respectivamente, siendo aparentemente menor con respecto al resto de los órganos, incluso se aprecia una concentración en raíces similar a la foliar (Figura 3A), las cuales tuvieron valores de 0,16 % (base peso seco) tanto para olivos de alta como de baja carga frutal. En pistachos se observó algo contrario, en donde sólo al final de la temporada la concentración del P en raíces de plantas de alta carga disminuyeron, mientras que en las de baja carga aumentaron (Baninasab *et al.*, 2007). En olivos de 25 años, variedad Sevillana, la concentración de P radical fue del orden de 0,18 % (Fichet *et al.*, 2011). Therios (2009) muestra valores de 0,113 % mientras tanto Loupassaki *et al.* (2002) obtuvieron concentraciones de 0,317 % en olivos de un año de edad, cv. Koroneiki pudiendo estar ésta influenciada por la variedad pero no por la edad del olivo.

## Potasio

Durante endurecimiento de carozo los niveles foliares de potasio estuvieron dentro del rango óptimo (APÉNDICE I, Cuadro 1), sin presentar diferencias aparentes entre cargas frutales siendo contrario a lo obtenido por Fernández-Escobar *et al.* (1999) quienes muestran que la concentración foliar de K es menor en una temporada de alta carga (0,4 %) que en aquellas de baja producción (0,6 %), siendo ambas concentraciones menores al nivel óptimo (> 0,8 %) en hojas jóvenes en el mes de julio, mes en donde ocurre el endurecimiento de carozo en el lugar donde se llevó a cabo ese estudio.

Si bien no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones, ni en los contenidos de K en los distintos órganos de la planta de olivo, por efecto de la carga frutal, a excepción del contenido de K en los frutos producto de la alta producción de fruta, sí se puede observar una marcada tendencia en la concentración foliar, siendo más baja después de un año de alta carga que de uno de baja (Figura 4A) con valores de 0,9 y 1,18 % (base peso seco), respectivamente, por lo que olivos que tuvieron altas o bajas cargas frutales estarían en un estado nutricional diferente, en cuanto a potasio, para enfrentar el crecimiento vegetativo y reproductivo de la próxima temporada. Esto estaría coincidiendo con lo encontrado por Ferguson y Sibbett (2000), quienes obtuvieron valores de K foliar mayores (medido en hojas adultas de los crecimientos de las últimas temporadas) en plantas de baja carga frutal durante dos años de evaluación en olivos de siete años de edad, variedad Manzanillo. Fernández-Escobar *et al.* (1999) al comparar la concentración foliar de K al final de la temporada en años de alta y baja carga frutal

mencionan que ésta es levemente mayor en el año de alta carga. Así mismo, Troncoso *et al.* (2008) también observaron una menor concentración foliar de K después de una temporada de alta carga (0,4 %) que después de una de baja carga (0,8 %), no especificando si las hojas muestreadas eran jóvenes o adultas. Los antecedentes aún no son del todo claro sobre el efecto de una alta producción de fruta en la nutrición potásica de olivos. Sin embargo, se puede observar una tendencia en donde el exceso de fruta disminuiría la concentración foliar de K en esta especie frutal.

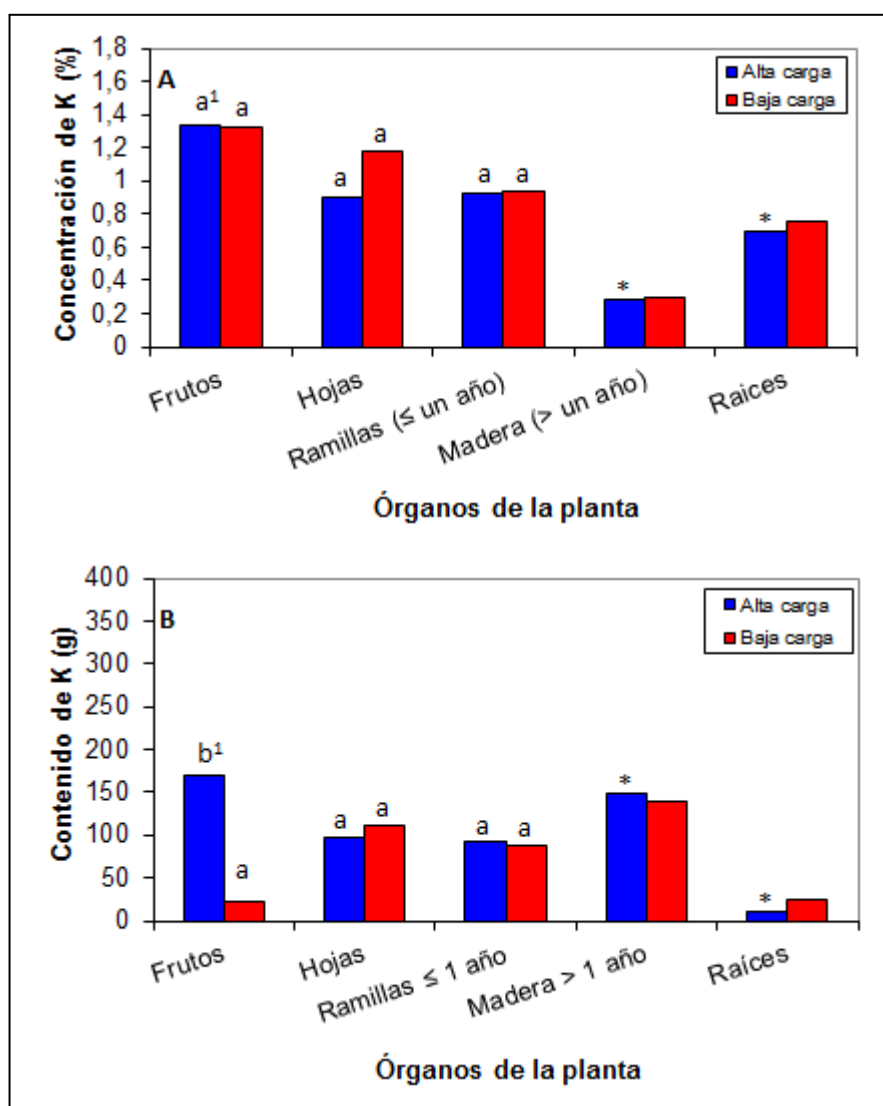


Figura 4. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de K en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

El K en frutos tuvo concentraciones de 1339,5 y 1326,4  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de fruta (base peso seco) siendo este elemento mineral el de mayor concentración en la fruta. Por su parte Mulas y Virdis (1999) muestran valores, en clones de olivos de la variedad Nera, que

van desde 1650,3 a 2260,3 mg·100 g<sup>-1</sup> de fruta (base peso seco) estando esta concentración por sobre el resto de los elementos minerales. Esto se explicaría porque el K es el catión con mayor presencia en la savia del floema controlando el transporte de asimilados, desde las fuentes a los sumideros, mediante una vía dependiente de diferencia de potenciales que permitiría que los carbohidratos entren a las células (Cho y Komor, 1980; Giaquinta, 1980; Dekeen *et al.*, 2002, citados por Lalonde *et al.*, 2004).

Las concentraciones de K en ramillas de un año o menos fueron de 0,92 y 0,94 % (base peso seco) en plantas que tuvieron una alta y una baja carga frutal, respectivamente, no observándose diferencias significativas por efecto de la carga frutal (Figura 4A). Mientras que en raíces, éstas fueron de 0,69 y 0,75 %. Baninasab *et al.* (2007) no encontraron un efecto significativo de la carga frutal sobre las concentraciones de K en crecimientos de una temporada, de un año de edad y raíces de pistachos. Valores similares muestran Fichet *et al.* (2011) con 1,03 y 0,53 % (base peso seco) en brotes de la temporada y raíces, respectivamente, de olivos de 25 años de edad, variedad Sevillana. En tanto Loupassaki *et al.* (2002) registraron valores de 1,13 y 2,22 % (base peso seco) en brotes y raíces de olivos, variedad Koroneiki, de un año de edad.

En ramas y madera de más de un año de olivos de alta y baja carga frutal, las concentraciones de K fueron de 0,28 y 0,3 % (base peso seco) respectivamente, siendo la concentración, en estos órganos de la planta, aparentemente menor que en el resto del árbol (Figura 4A), pudiendo descartarse como posible lugar de almacenamiento de K durante el receso de crecimiento de los olivos.

En la Figura 4B se puede observar una tendencia de mayor contenido de K en raíces, siendo un 140,6 % mayor en raíces de olivos de baja carga que en aquellas de olivos de alta carga, lo que podría indicar una mayor acumulación de K en raíces en años de baja carga. Además los frutos mostraron un mayor contenido significativo en aquellos olivos de alta carga que en los de baja carga con un contenido promedio de 333,2 g·planta<sup>-1</sup> en olivos de alta carga, mientras que en aquellos de baja carga éste fue de 37,1 g·planta<sup>-1</sup>.

Por otra parte, fertilizaciones potásicas, en olivos variedad Barnea, incrementaron la intensidad de floración, pero no así el cuajado de frutos, ni la carga frutal final (Ben-Gal *et al.*, 2009). Otro ensayo realizado en olivos, variedad Frantoio, de 15 años de edad muestra que fertilizaciones potásicas sí aumentaron el cuajado y la producción de fruta, como también el área sección transversal del tronco, el volumen de la canopia, el largo de los brotes, área foliar y el contenido de aceite (Jasrotia *et al.*, 1999). Esto estaría demostrando los posibles efectos negativos de una menor reserva de K, en los árboles que tuvieron una alta carga, en el crecimiento vegetativo y reproductivo de la próxima temporada.

## Calcio

Durante endurecimiento de carozo, las concentraciones foliares de calcio estuvieron dentro del rango óptimo, siendo mayor en olivos de alta carga (APÉNDICE I, Cuadro 1), resultado en parte similar al encontrado por Fernández-Escobar *et al.* (1999), en donde estas concentraciones estuvieron por sobre el rango óptimo durante el mes de

julio, pero no observándose diferencias evidentes entre hojas jóvenes provenientes de plantas de alta y baja carga frutal.

Sólo se encontraron diferencias significativas en la concentración de Ca en frutos (base peso seco), siendo mayor en frutos de plantas que tuvieron una alta carga, cuyo valor promedio fue de 0,15 %. En cambio, en las de baja carga, la concentración de Ca en frutos, fue de 0,08 % (base peso seco), en el resto de los órganos no se observó un mayor efecto de la carga frutal (Figura 5A). Incluso se puede observar una mayor concentración foliar de este elemento en hojas de olivos que tuvieron una alta producción de fruta, con un 10,16 % más que los olivos que tuvieron una baja producción. Resultados similares obtuvieron Troncoso *et al.* (2008) en donde, el otoño de la temporada de alta carga frutal, la concentración foliar de Ca fue de 2,2 % (base peso seco), en cambio en el otoño de la temporada de baja carga este valor sólo alcanzó un 1,2 %. En tanto Fernández-Escobar *et al.* (1999), observaron diferencias en las concentraciones de Ca en hojas que crecieron consecutivamente durante la temporada de baja y alta carga, siendo mayor al final de la última. También señalan que hojas que crecieron en la temporada de baja y las que lo hicieron en la temporada de alta carga, tuvieron una pequeña diferencia en la concentración foliar de Ca, siendo levemente mayor después de una alta carga frutal. Esta mayor concentración de Ca, en frutos y hojas de plantas que produjeron una alta cantidad de fruta, sería producto de la mayor evapotranspiración que se produce en estas plantas, en donde, el agua absorbida por las raíces arrastraría el Ca por el proceso de flujo de masas, vía vasos xilemáticos, desde las raíces hasta hojas y frutos, órganos en donde regularía la apertura y cierre estomático, estando el movimiento del calcio íntimamente ligado a la tasa transpiratoria (Blatt, 2000; Xiloyannis *et al.*, 2001; Zavollini *et al.*, 2001). La mayor demanda hídrica en olivos de alta carga se demostraría en un estudio en donde se aplicó déficit de riego para controlar carga frutal, teniendo caída de frutos en plantas con alta carga sometidas a un déficit o ausencia de riego, lo cual no sucedió en plantas de baja carga con los mismos tratamientos (Michelakis *et al.*, 1994, citados por Ferreyra *et al.*, 2001).

Troncoso *et al.* (2008), mencionan que a medida que es menor la concentración foliar de N, P y K, mayor es la concentración de Ca. En este ensayo se encontró una correlación negativa entre la concentración de P y la de Ca en hojas y una positiva entre la concentración de P y Ca en ramillas de un año o menos (APÉNDICE II, Cuadros 3 y 4).

Se puede observar una diferencia significativa en el contenido de Ca en frutos por efecto de la alta producción de fruta. Sin embargo, este efecto no se transmitió al resto de los órganos de la planta, ni en contenidos ni en concentración (Figura 5A y 5B), en donde en ramillas de un año o menos tuvieron concentraciones en promedio de 0,8 y 0,7 % (base peso seco) en plantas que tuvieron una alta y baja carga, respectivamente. Fichet *et al.* (2011), muestran valores de 0,88 % en ramillas de más de un año en olivos de 25 años de edad, variedad Sevillana. Por su parte Loupassaki *et al.* (2002), obtuvieron concentraciones de 0,58 % en brotes de olivos de un año de edad, variedad Koroneiki. Mientras tanto, en ramillas de un año de edad de pistachos de alta carga, la concentración de Ca fue mayor a lo largo de toda la temporada, que en aquellas de pistachos de baja carga (Baninasab *et al.*, 2007).

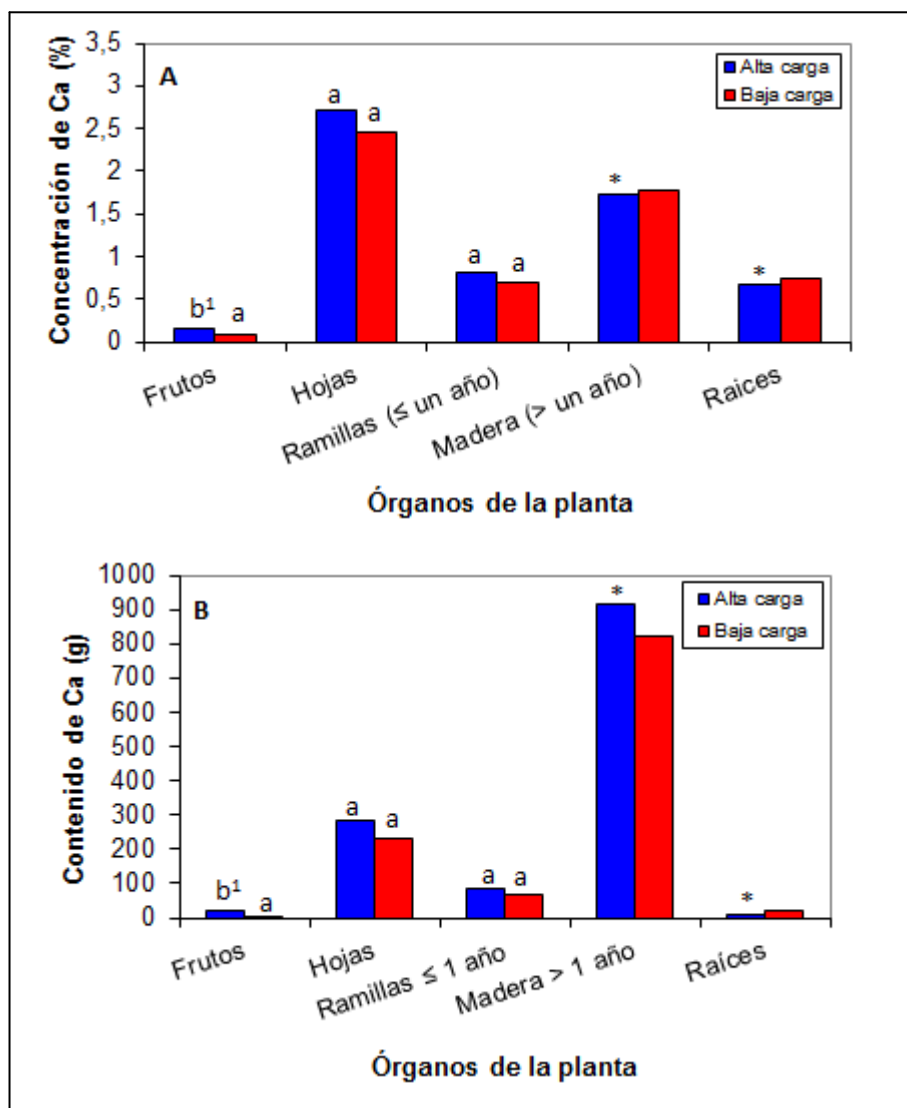


Figura 5. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de Ca en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

La concentración de Ca en ramas y madera de más de un año fue de 1,73 y 1,77 % (base peso seco) en olivos que tuvieron respectivamente una alta y baja carga frutal, observándose, después de las hojas, como la parte de la planta con mayor concentración de este elemento mineral (Figura 5A).

En raíces, las concentraciones de Ca fueron de 0,67 y 0,73 % (base peso seco) en plantas que tuvieron una alta y baja carga frutal, respectivamente. Distintos son los valores que muestran los limitados antecedentes bibliográficos existentes en cuanto a la concentración de Ca en raíces. La concentración observada por Loupassaki *et al.* (2002) en raíces de olivo de un año de edad, variedad Sevillana, fue de 2,73 %, mientras que en olivos de 25 años de edad de la misma variedad, fue de 1,09 % (Fichet *et al.*,

2011). En raíces de pistacho, en tanto, se observaron patrones distintos en la variación estacional de este macroelemento, en donde entre los 40 y 100 días después de plena floración el Ca, que en plantas con baja carga se mantenía alto, declinaba para luego volver a aumentar, mientras que lo contrario ocurría en las plantas de alta carga, pero teniendo al final de la temporada concentraciones similares entre ambos tipos de carga frutal (Baninasab *et al.*, 2007).

## Magnesio

La concentración de magnesio en hojas, durante endurecimiento de carozo, estuvo dentro del rango óptimo, siendo similar entre ambas cargas frutales (APÉNDICE I, Cuadro 1). Sin embargo, Fernández-Escobar *et al.* (1999), señalan que en hojas jóvenes durante el mes de julio, en el año de alta carga, la concentración de Mg sería menor al umbral óptimo, mientras que en el año de baja carga ocurría lo contrario, lo cual no ocurrió en este estudio.

El Mg tuvo un comportamiento similar al del Ca, en los distintos órganos, presentando diferencias significativas en frutos y ramillas de un año o menos por efecto de la carga frutal. La concentración fue mayor en plantas que presentaron una alta producción de fruta, además se observó una marcada tendencia de una mayor concentración foliar de Mg en olivos con alta carga (Figura 6A), siendo un 40 % más baja en hojas de olivos de baja carga. Además se encontraron correlaciones positivas entre la producción y la concentración de Mg en hojas y ramillas de un año o menos (APÉNDICE II, Cuadros 3 y 4). Estos resultados concuerdan con los registrados por Fichet *et al.* (2011), en donde hojas nuevas, al final de la temporada, registraron valores de 0,27 y 0,17 % (base peso seco), en olivos con alta y baja carga, respectivamente. Mientras tanto en hojas adultas estos valores fueron respectivamente de 0,26 y 0,27 %. Por su parte Fernández-Escobar *et al.* (1999), al final de la temporada, registraron concentraciones foliares similares en hojas nuevas de alta y baja carga, mientras hojas que crecieron consecutivamente en la temporada de baja y alta carga frutal, tuvieron concentraciones similares al final de ambos períodos. Troncoso *et al.* (2008), registraron valores de 0,13 y 0,14 % (base peso seco) en temporadas de baja y alta carga frutal. La mayor concentración de Mg en los órganos respondería, al igual que el Ca, a la alta demanda hídrica (como se mencionó anteriormente), en donde el agua arrastraría el Mg vía simplasto, por los vasos conductores del xilema (que es por donde se transporta principalmente este macroelemento), desde las raíces hasta los brotes, depositándose en éstos, donde cumple su papel más conocido por su posición central en la molécula de clorofila donde coordina de forma covalente con cuatro átomos de N del anillo de porfirina (Shaul, 2002; Maathius, 2009).

También se encontraron correlaciones positivas entre la concentración de Mg y Ca en frutos y ramillas (APÉNDICE II, Cuadros 2 y 4), lo cual podría indicar cierto sinergismo entre estos dos macroelementos en olivos. Sin embargo, Maathius (2009) menciona que el Mg tiene una interacción antagonica con el K, Ca y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), de esta forma una alta concentración de uno de estos otros iones en la solución suelo podría ocasionar deficiencias de Mg, por lo que, para un mayor entendimiento del patrón observado, hubiese sido necesario un análisis de suelo.

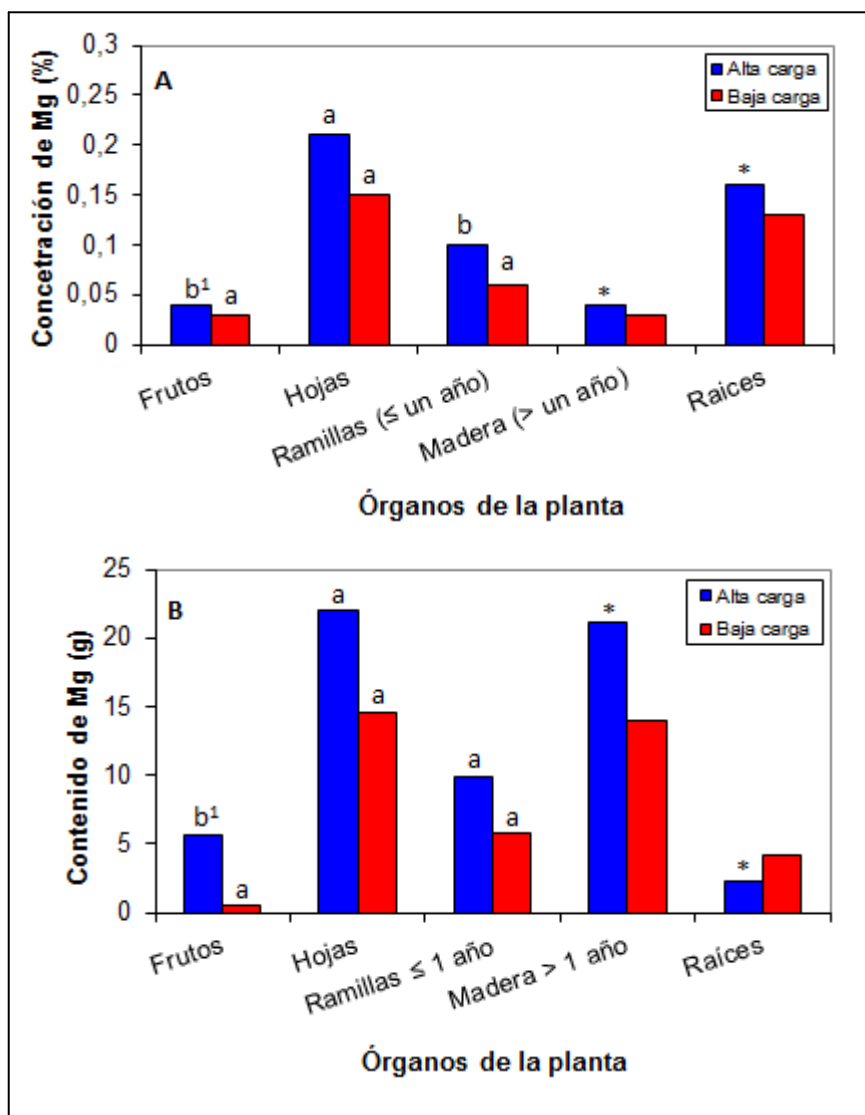


Figura 6. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de Mg en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

Ramas y madera de más de un año de edad sería la parte de la planta que aparentemente tendría la menor concentración de Mg, con valores de 0,04 y 0,03 % (base peso seco) en olivos que tuvieron respectivamente una alta y una baja carga frutal.

En raíces también se observó una tendencia de una mayor concentración de Mg (23 % base peso seco) en plantas de olivo con alta carga frutal (Figura 6A). En pistachos sólo al comienzo y al final de la temporada, la concentración de Mg en raíces fue mayor en plantas con baja carga frutal, el resto de la temporada fue mayor en aquellas de plantas con alta carga (Baninasab *et al.*, 2007).



En cuanto a los contenidos de Mg, en los distintos órganos, éste fue significativamente mayor en frutos de plantas con alta carga, producto de la alta producción de fruta. También se observaron marcadas tendencias en hojas y en ramillas de un año o menos, en donde los contenidos fueron mayores en un 51,8 y 68,5 %, respectivamente, en plantas con alta carga frutal (Figura 6B). En raíces en tanto el contenido fue mayor en un 79,8 % en plantas con una baja carga frutal debido, posiblemente, a la mayor biomasa de raíces presente en estas plantas.

## Manganeso

Las concentraciones foliares de manganeso estuvieron dentro del rango óptimo durante endurecimiento de carozo, siendo similares en olivos de alta y baja carga frutal (APÉNDICE I, Cuadro 1). Fernández-Escobar *et al.* (1999), también obtuvieron concentraciones por sobre el umbral óptimo pero siendo más baja en el año de baja carga en hojas jóvenes durante el mes de julio.

La concentración del Mn, en los distintos órganos de las plantas de olivo, tendría un patrón similar al Ca y el Mg, siendo significativamente mayor en frutos y en ramillas de un año o menos, de olivos que tuvieron una alta carga frutal (Figura 7A). También se encontró una correlación positiva entre la concentración de Mn en frutos y la producción de éstos (APÉNDICE II, Cuadro 2).

Este microelemento tuvo, en promedio, una concentración foliar un 11,1 % mayor en plantas que tuvieron una alta producción de fruta. Troncoso *et al.* (2008), obtuvieron resultados similares en donde, en el otoño de una temporada de baja carga, la concentración foliar de Mn fue de  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (base peso seco), mientras en el otoño de la temporada siguiente, que fue de alta producción de fruta, este valor fue de  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Por su parte Fernández-Escobar *et al.* (1999), no encontraron mayores diferencias en hojas jóvenes en alta y baja carga al final de la temporada, con valores cercanos a  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (base peso seco). Mientras tanto que hojas que crecieron a lo largo de la temporada de baja y alta carga tuvieron una mayor concentración de Mn en la última temporada. La mayor concentración de Mn en los distintos órganos, en los años de alta carga, respondería al mismo patrón fisiológico del Ca y el Mg, teniendo correlaciones positivas entre este elemento mineral y el Ca en hojas y el Mg en ramillas de un año o menos, además de presentar una correlación positiva entre la concentración de Mn en ramillas de un año o menos y la producción de fruta (APÉNDICE II; Cuadros 3, 4 y 6).

Si bien en Chile se han reportado deficiencias de Mn en el Valle del Huasco (Alemany *et al.* (2001) incluso después de un año de alta carga frutal en donde las deficiencias fueron incluso mayores, éstas responderían a los mayores pH de esos suelos que comúnmente inducen deficiencias de este microelemento, dado que el mayor pH disminuye su solubilidad (Havlin *et al.*, 2005).

La concentración de Mn, en ramas y madera de más de un año, alcanzó valores de 23 y  $17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en olivos que tuvieron respectivamente alta y baja carga frutal. Mientras tanto en raíces, órgano en donde aparentemente la concentración es mayor (Figura 7A), el Mn alcanzó un 61,5 % más de concentración en plantas con alta carga frutal.

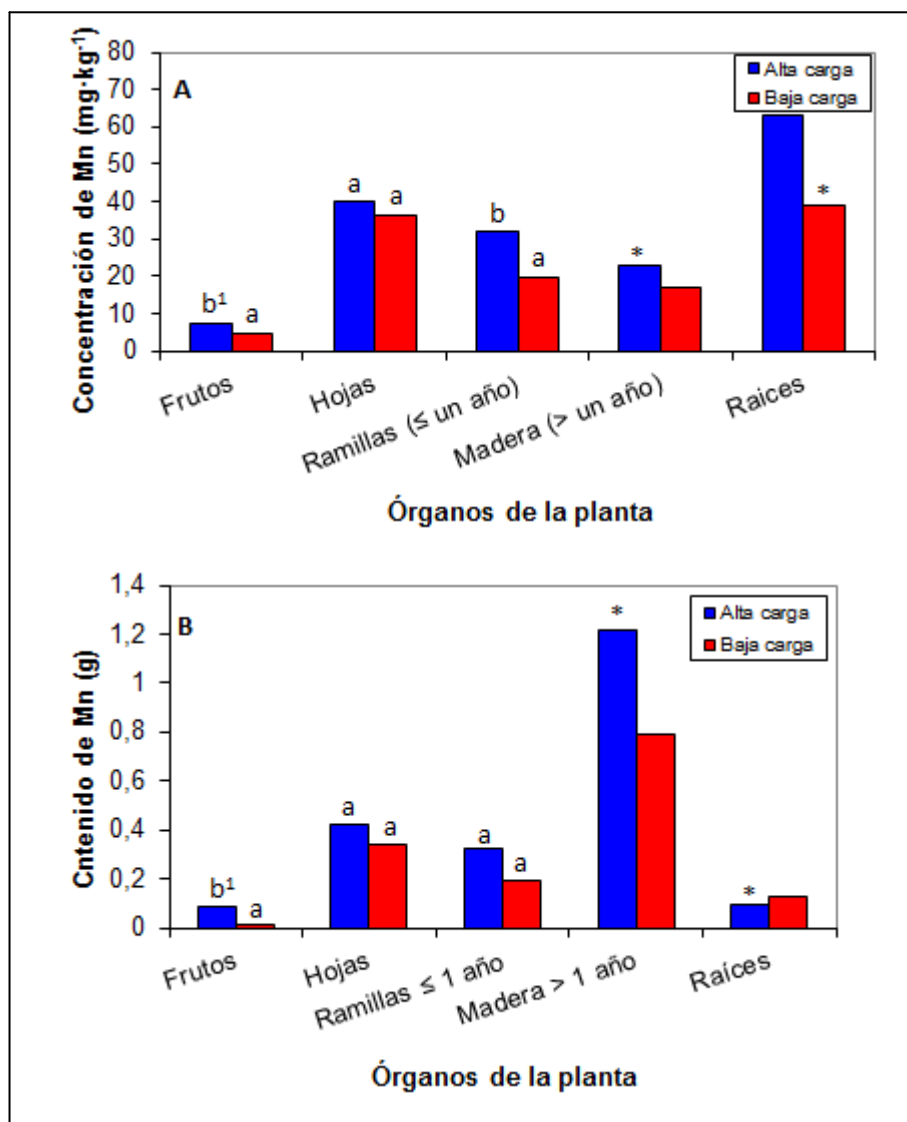


Figura 7. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de Mn en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

Por otra parte, el contenido de Mn fue significativamente mayor en frutos de plantas con una alta carga frutal (Figura 7B), producto de la mayor producción de fruta. En hojas los contenidos fueron de  $0,42$  y  $0,34$  g·planta<sup>-1</sup> en alta y baja carga frutal, mientras que éstos fueron  $0,32$  y  $0,19$  g·planta<sup>-1</sup> en ramillas de un año o menos en olivos de alta y baja carga frutal, respectivamente. En tanto, en raíces se invirtió el comportamiento al observado en las concentraciones, teniendo contenidos de  $0,09$  y  $0,12$  g·planta<sup>-1</sup> en olivos de alta y baja carga frutal, respectivamente.

## Zinc

Si bien la concentración foliar de zinc, durante endurecimiento de carozo, fue menor en olivos de baja carga que en aquellos de alta carga (APÉNDICE I, Cuadro 1), éstas están dentro del rango óptimo. Este resultado es similar al obtenido por Fernández-Escobar *et al.* (1999) en donde hojas jóvenes, durante el mes de julio, tuvieron concentraciones de Zn dentro del umbral óptimo, pero más bajas en el año de baja carga.

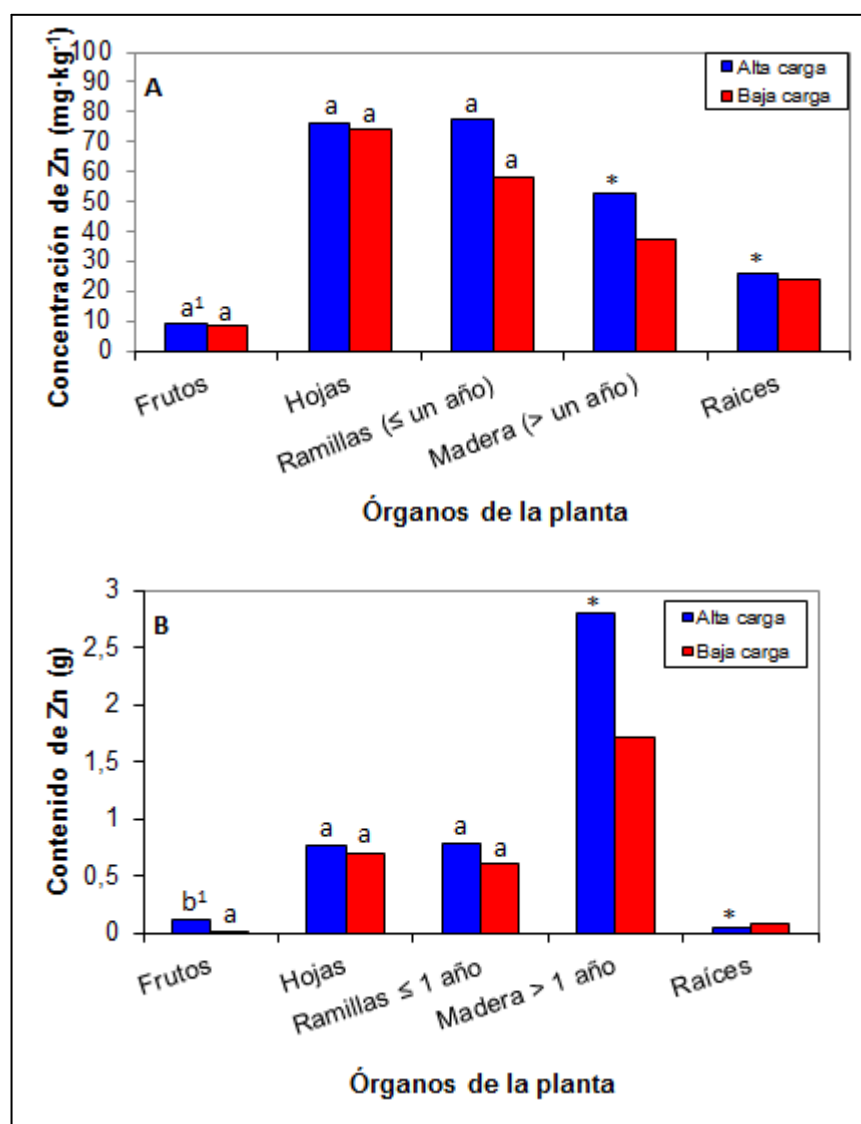


Figura 8. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de Zn en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

No se apreciaron diferencias significativas en las concentraciones de Zn en ninguno de los órganos analizados, sólo se pudo observar una tendencia de una mayor concentración en las ramillas de un año o menos de plantas que tuvieron una alta

producción de fruta (Figura 8A), donde la concentración fue un 32,6 % mayor que en aquellas plantas con una baja carga frutal.

En la Figura 8B sólo se puede observar una diferencia significativa en frutos. El contenido de Zn fue mayor en aquellos de plantas con una alta carga frutal debido a la alta producción de fruta.

Las concentraciones foliares fueron de 76 y 74 mg·kg<sup>-1</sup> en olivos con alta y baja carga frutal. Algo similar señalan Fernández-Escobar *et al.* (1999) al comparar hojas jóvenes de temporadas de baja y alta carga, las que no tuvieron diferencias entre sus concentraciones al final de ambas temporadas. Sin embargo, hojas que crecieron consecutivamente en la temporada de baja y luego en la de alta carga frutal, presentaron una menor concentración de Zn al final de la temporada, con mayor producción (comparado con el mismo período de la temporada anterior).

Si bien dentro de los micronutrientes analizados muy poco se sabe del Zn y su función en el olivo, las carencias de este microelemento son difíciles de diferenciar visualmente de carencias de Mn y Fe. Esto se debería a que su carencia estaría dada por los mismos factores, es decir, alta presencia de carbonatos y altos pH de suelos, resultando en entrenudos cortos y hojas pequeñas de color verde claro a amarillo. Ello podría ser resultado del papel fisiológico general del Zn en plantas como participante en la síntesis del aminoácido precursor requerido para la síntesis del ácido indol acético (IAA), fitohormona que regula el crecimiento y desarrollo de brotes, hojas y frutos (Havlin *et al.*, 2005; Barranco *et al.*, 2008; Razeto, 2009; Fichet *et al.*, 2011). Esta función se vería reflejada en la correlación positiva encontrada entre la concentración en ramillas de este microelemento y la biomasa de ramillas de un año o menos (APÉNDICE II, Cuadro 4).

## **Boro**

Variadas son las funciones del boro dentro de las plantas. Durante la floración cumple un papel en la germinación y desarrollo del tubo polínico. En la primera fase de crecimiento del fruto participa en la división celular y forma parte importante de la pared celular estando asociado a la presencia de celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina; y posterior a endurecimiento de carozo, estaría participando en la elongación celular, además de su participación en la estructura de las paredes celulares (Blevins y Lukaszewski, 1998; Shaaban, 2010). Además su concentración en tejidos apicales sugiere una dependencia del metabolismo de los meristemos a este elemento mineral cuestionándose además su movilidad en el floema (Blevins y Lukaszewski, 1998). Fernández-Escobar *et al.* (1994) muestran, que durante la floración el B estaría movilizándose a las flores, y posteriores frutos, desde las hojas jóvenes (del crecimiento de la temporada) y no de aquellas que crecieron en la temporada anterior, demostrando su baja movilidad en olivos. Sin embargo, Brown y Hu (1998) afirman que el B es móvil en olivos, transportándose por el floema como un complejo con azúcares simples, desde de los tejidos fotosintéticos, lugar en donde se forma este complejo, hacia las zonas de acumulación activa, como los meristemos vegetativos o reproductivos. Al respecto, Liakopoulos *et al.* (2005), señalan que el B es removilizado desde hojas adultas a hojas jóvenes. Por lo tanto, la movilidad aún no es del todo clara.

Durante endurecimiento de carozo las concentraciones de B no presentaron diferencias en olivos de alta y baja carga, estando además dentro del rango óptimo (APÉNDICE I, Cuadro 1) siendo similares a los obtenidos por Fernández-Escobar *et al.* (1999), en donde hojas jóvenes, durante el mes de julio, tuvieron concentraciones de B dentro del umbral óptimo, no mostrando diferencias entre temporadas de alta y baja carga.

La concentración de B fue significativamente mayor en hojas de olivos con alta carga frutal (Figura 9A). Además hubo una correlación positiva entre la concentración foliar de este microelemento y la producción de fruta (APÉNDICE II, Cuadro 2), y una correlación negativa en la concentración de B entre hojas y frutos (APÉNDICE II, Cuadro 6). Resultados similares obtuvieron Fernández-Escobar *et al.* (1999), en las concentraciones de B en hojas jóvenes de años de alta y baja carga frutal, en donde al terminar las temporadas respectivas, el B tuvo una mayor concentración después de una alta carga. Sin embargo, hojas que crecieron consecutivamente durante una temporada de baja y luego en una alta carga frutal, no tuvieron diferencias en sus concentraciones al final de ambas temporadas. Algo opuesto obtuvieron Troncoso *et al.* (2008), donde en otoño de una temporada de alta carga, la concentración foliar de B fue menor al de la temporada de baja carga. Fernández-Escobar *et al.* (1994) muestran mayores concentraciones foliares de B en hojas jóvenes de plantas con alta carga frutal, que aquellas con una baja carga, pero medidas en el período de floración (40 días antes y después de anthesis). Esto obedecería a que el B se mueve desde las raíces con la corriente de transpiración acumulándose en los puntos de crecimientos de hojas y tallos (Blevins y Lukaszewski, 1998), y como se ha mencionado, la transpiración es mayor en plantas con alta carga frutal.

A diferencia del Ca, Mg y Mn, la mayor concentración de B en órganos de olivos con alta carga frutal no se relacionaría positivamente con la producción, presentando además una correlación negativa entre la concentración de este elemento mineral y la del Mn en frutos (APÉNDICE II, Cuadro 2), teniendo una mayor concentración de B en frutos de plantas de baja producción. Ello sería consecuencia del menor número de frutos por planta (Fernández-Escobar *et al.*, 1994).

La concentración de B en ramillas de un año o menos fue de 23,7 y 22,7 mg·kg<sup>-1</sup> (base peso seco) en olivos con alta y baja carga frutal, respectivamente. También se encontró una correlación positiva entre la concentración de B y P en ramillas de un año o menos (APÉNDICE II, Cuadro 4). Un resultado similar obtuvieron López-Granados *et al.* (2004) quienes registraron una correlación positiva entre el B y el P en hojas. Mientras tanto la concentración en ramas y madera de más de un año, en olivos de alta y baja carga, fue de 30 y 28 mg·kg<sup>-1</sup> (base peso seco), respectivamente, siendo esta concentración aparentemente mayor a la de las hojas. Al respecto, Blevins y Lukaszewski (1998), mencionan que a fines de otoño e inicios de invierno, el B se estaría moviendo desde las hojas a la corteza de plantas caducifolias. Quizás ramas y madera también podrían ser una fuente de reserva de B para la floración de la siguiente temporada.

En tanto las raíces muestran una tendencia a una mayor acumulación de B en aquellas plantas que tuvieron una mayor carga frutal, teniendo un 59 % más de concentración que en raíces de plantas que tuvieron una baja producción.

En cuanto al contenido de B en los distintos órganos, sólo se presentó una diferencia significativa en frutos, siendo mayor en aquellos de plantas que tuvieron una alta producción producto de la alta carga frutal.

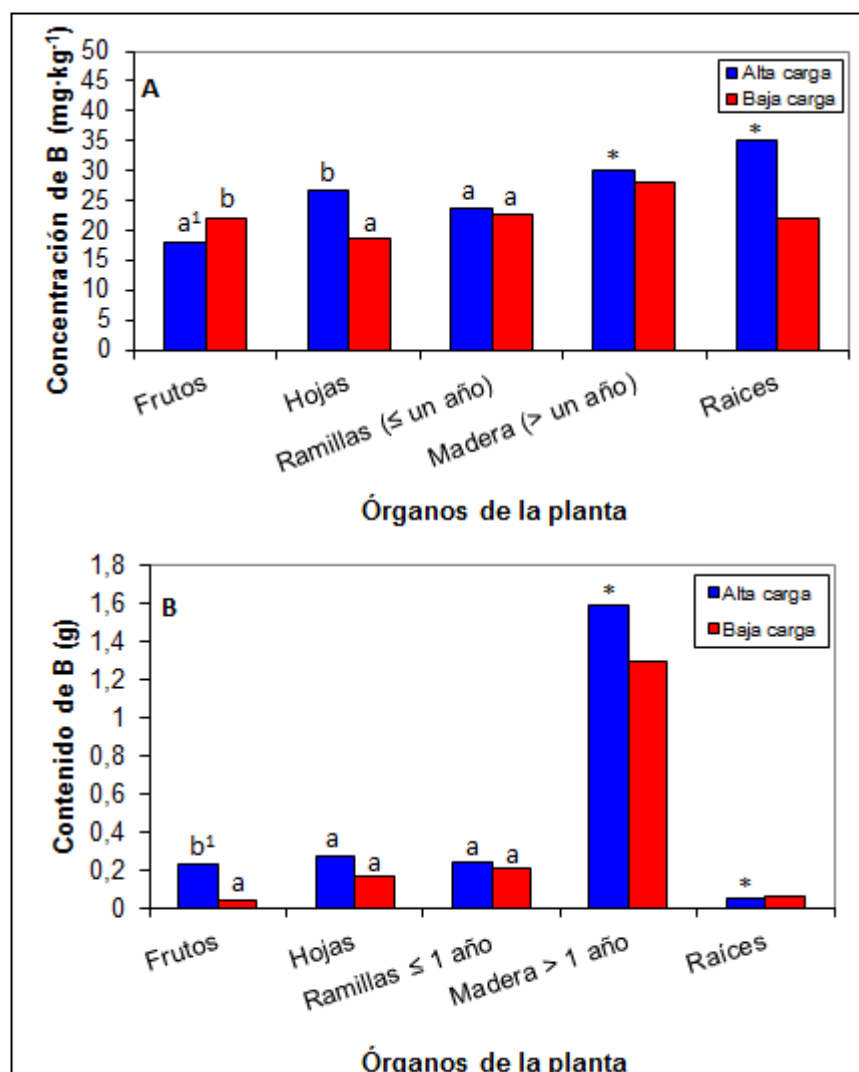


Figura 9. Efecto de la carga frutal sobre la concentración (A) y el contenido total (B) de B en diferentes órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha. <sup>1</sup>Letras distintas para un mismo órgano de la planta indican diferencias significativas entre cargas frutales según la prueba estadística t de Student ( $p \leq 0,05$ ). \*Gráfica realizada sin análisis estadístico debido a que, para los análisis mineralógicos, sólo se tomaron muestras compuestas por carga frutal.

## Caracterización de la distribución de elementos minerales

### Distribución de macroelementos

El patrón de distribución porcentual de las cantidades de macroelementos, en los distintos órganos de las plantas de olivos, fue poco afectado por causa de la carga frutal. En el Cuadro 8 (letras minúsculas) se puede observar que el fruto fue uno de los órganos con menor porcentaje de todos los macroelementos, en olivos con alta o baja carga frutal. Excepción a esto fueron los casos del P (en olivos con alta carga), en donde era el segundo órgano con más porcentaje de este elemento mineral, y el del K, en donde era, junto con la madera de más de un año, el órgano con mayor cantidad, porcentualmente, de este macroelemento en olivos que tuvieron una alta carga debido a la mayor producción de fruta de estos árboles.

Las hojas fueron el segundo órgano con mayor cantidad, porcentualmente, de estos macroelementos salvo algunas excepciones como la del Mg, en donde las hojas presentaron el mayor porcentaje de este macroelemento junto con la madera de más de un año, tanto en plantas con alta como baja carga frutal (Cuadro 8, letras minúsculas). La otra excepción fue en el N, en donde las hojas de las plantas con baja carga frutal fueron el segundo órgano con más porcentaje de este macroelemento, mientras que en las plantas con alta carga esta posición la compartía con las ramillas de un año o menos y frutos (Cuadro 8, letras minúsculas). Sin embargo, esto no significaría mayores reservas foliares de este macroelemento en olivos de baja carga, ya que no existieron diferencias significativas en las cantidades, porcentualmente, entre árboles de alta y baja carga frutal (Cuadro 8, letras mayúsculas). Al respecto, Fernández-Escobar *et al.* (2004) al comparar la partición de N en las distintas partes de los brotes de olivos, variedad Picual, entre años de alta y baja carga frutal, señalan que en años de baja carga el N se almacena principalmente en hojas y sólo en un pequeño porcentaje, de menos del 10 %, en ramillas, mientras que en años de alta carga este patrón se vería alterado ya que la mayor parte del nitrógeno, más del 60 %, se acumula en la fruta, siendo distinto a lo observado en este estudio. Además señalan que las hojas jóvenes almacenan menos N en años de alta carga frutal que en años de baja carga debido a la demanda de la fruta por este macroelemento, en tanto el almacenaje de N en las hojas viejas disminuye drásticamente a lo largo de la temporada de crecimiento de alta carga. Por último señalan que el almacenaje de N en ramillas sólo presenta cambios pequeños a lo largo de la temporada, tanto en años de alta como de baja carga frutal, debido a las bajas cantidades que almacena, concordando con lo obtenido en este estudio. Esto demostraría la importancia de las hojas como reservorio de estos nutrientes, ya sea en plantas con alta o baja carga frutal.

Los frutos de olivos con alta carga frutal tuvieron porcentajes significativamente mayores, en todos los macroelementos, con respecto a los olivos con baja carga (Cuadro 8, letras mayúsculas), pero esto se debería principalmente a la mayor producción de fruta en plantas, obviamente, de alta carga frutal.

Cuadro 8. Efecto de la carga frutal sobre la distribución porcentual de macroelementos minerales en los distintos órganos de plantas de olivo variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Órgano	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga
<b>Frutos</b>	10,9 ab <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	1,5 a A	14,7 b B	2,5 a A	32,6 c B	5,6 a A	1,4 a B	0,1 a A	9,3 ab B	1,4 a A
<b>Hojas</b>	20,3 b A	23,0 c A	17,4 b A	22,7 c A	18,1 b A	28,9 bc A	21,1 c A	20,1 d A	34,7 c A	37,1 c A
<b>Ramillas</b>										
≤ un año	10,3 ab A	10,9 b A	16,6 b A	17,9 bc A	18,1 b A	22,5 b A	6,4 b A	5,7 c A	16,3 b A	14,9 b A
<b>Madera</b>										
> un año	56,4 c A	59,7 d A	47,9 c A	48,0 d A	29,3 bc A	36,6 c A	70,4 d A	71,9 e A	35,9 c A	35,9 c A
<b>Raíces</b>	2,1 a A	4,9 a A	3,5 a A	8,9 ab A	1,9 a A	6,3 a B	0,7 a A	2,0 b B	3,9 a A	10,7 ab B

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical, para un mismo macroelemento y en una misma carga frutal, indican diferencias significativas entre órganos, según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> Letras mayúsculas distintas para un mismo órgano, entre cargas frutales y para un mismo macroelemento, indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

La madera de más de un año fue el tejido que presentó el mayor porcentaje de N, P y Ca, ya sea en olivos de alta o de baja carga frutal (Cuadro 8, letras minúsculas). Ello estaría explicado por su mayor biomasa en el total de la planta con respecto a los otros órganos analizados. Sin embargo, este comportamiento no se replica en Mg (caso señalado anteriormente) y tampoco en K, en donde la madera de más de un año comparte el puesto con el fruto como los órganos con más porcentaje de este macroelemento en olivos con alta carga (Cuadro 8, letras minúsculas), demostrando una vez más su alta acumulación en la fruta por las razones fisiológicas explicadas con anterioridad.

Porcentualmente, hubo menor cantidad de K, Ca y Mg en raíces de olivos que tuvieron una mayor carga frutal (Cuadro 8, letras mayúsculas). Ello podría estar señalando que la acumulación de estos elementos minerales sería menor, en cantidad, en las raíces después de una temporada de alta carga frutal. Incluso, en olivos con baja carga, las raíces no fueron el órgano con menor cantidad de Ca, porcentualmente, como sí lo fue en el resto de los macroelementos en plantas con alta y baja carga frutal.

### Distribución de microelementos

El fruto se presentó porcentualmente, junto con la raíz, como el órgano con menor cantidad de estos elementos minerales, tanto en olivos que tuvieron una alta como una baja carga frutal a excepción del B, en donde los frutos de plantas con alta carga no fueron el órgano con menor porcentaje de este microelemento, y del Mn en donde raíces de plantas con baja carga no fueron el órgano con menor porcentaje de este elemento mineral (Cuadro 9, letras minúsculas). Sin embargo, los frutos de plantas con alta carga tuvieron porcentajes significativamente mayores a los de plantas con baja carga (Cuadro 9; letras mayúsculas), pero ello sería consecuencia de la menor producción de fruta en estas últimas.



Sólo las hojas variaron dentro del patrón de distribución del Mn, dado que en olivos con baja carga fue el segundo órgano con mayor porcentaje de este microelemento, mientras que en olivos con alta carga esta posición la compartía con las ramillas de un año o menos (Cuadro 9, letras minúsculas).

Cuadro 9. Efecto de la carga frutal sobre la distribución porcentual de microelementos minerales en los distintos órganos de plantas de olivo variedad Frantoio con alta y baja carga frutal, a cosecha.

Órgano	Manganeso		Zinc		Boro	
	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga
<b>Frutos</b>	4,13 a <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	0,54 a A	2,59 a B	0,43 a A	9,63 b B	1,95 a A
<b>Hojas</b>	19,09 b A	23,43 c A	16,84 b A	22,35 b B	11,56 b A	9,74 b A
<b>Ramillas ≤ un año</b>	15,13 b A	12,51 b A	17,36 b A	18,04 b A	10,03 b A	11,72 b A
<b>Madera &gt; un año</b>	57,39 c A	54,88 d A	62,39 c A	56,66 c A	66,68 c A	72,67 c A
<b>Raíces</b>	4,27 a A	8,64 b B	0,83 a A	2,52 a B	2,11 a A	3,92 a B

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas en sentido vertical, para un mismo microelemento y en una misma carga frutal, indican diferencias significativas entre órganos, según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup> Letras distintas para un mismo órgano, entre cargas frutales y para un mismo microelemento, indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

La madera de más de un año fue el tejido, porcentualmente, con mayor cantidad de microelementos, tanto en plantas que tuvieron una alta como una baja carga frutal (Cuadro 9, letras minúsculas), debido a la mayor biomasa de este órgano en comparación al resto de la planta.

En los tres microelementos medidos, el porcentaje fue significativamente mayor en raíces de plantas con baja carga frutal. Estas plantas también tuvieron, significativamente, hojas con una mayor presencia de Zn (Cuadro 9, letras mayúsculas).

## Extracción de macro y microelementos

### Macroelementos

En la Figura 10 se puede observar la alta cantidad de macroelementos extraída por la fruta, la cual demandó de K en mayor medida, con  $70,22 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en olivos con alta carga, y  $9,14 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en olivos que tuvieron una baja carga frutal. El segundo macroelemento más extraído fue el N con  $33,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en plantas con alta carga y  $3,48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en plantas con baja carga. Mientras tanto el P ( $5,46$  y  $0,71 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en plantas con alta y baja carga frutal, respectivamente) fue extraído en cantidades similares al Ca ( $7,8$  y  $0,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en olivos con alta y baja carga frutal, respectivamente) y el Mg ( $2,36$  y  $0,22 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en olivos con alta y baja carga frutal, respectivamente), por lo que estos últimos tres elementos estarían siendo requeridos en menor medida por la fruta.

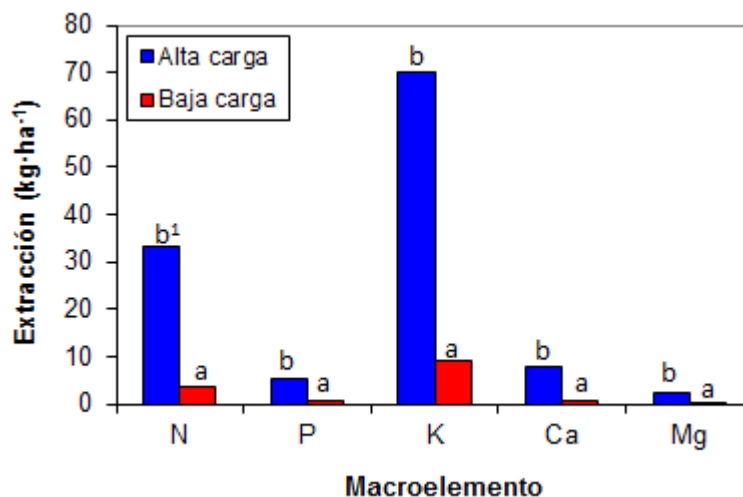


Figura 10. Efecto de la carga frutal en olivos variedad Frantoio, sobre la extracción frutal de macroelementos por hectárea. <sup>1</sup> Letras distintas para un mismo macroelemento indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Es importante señalar las cantidades extraídas por tonelada de producción en olivos, variedad Frantoio, lo cual permitiría tener una referencia de las necesidades de cada macroelemento en años de alta y baja producción, para de esta forma realizar una fertilización diferenciada según carga frutal. Además de existir una mayor extracción por la mayor cantidad de fruta producida en olivos con alta carga frutal, ésta también estaría influenciada por la concentración presente en ella, siendo significativamente más alta en Ca y Mg (Cuadro 10), factor adicional a tener en consideración al momento de planificar las fertilizaciones. Valores contrarios a los obtenidos en este ensayo (Cuadro 10) se han encontrado en otras investigaciones en olivos (Connor y Fereres, 2005) en donde las extracciones de N, P y K fueron de  $1,1$ ;  $7,2$  y  $10,9 \text{ kg}\cdot\text{ton}^{-1}$  de fruta, respectivamente.

Cuadro 10. Efecto de la carga frutal en olivos variedad Frantoio, sobre la extracción frutal de elementos minerales por tonelada de fruta fresca producida (kg o g·ton<sup>-1</sup> fruta fresca).

<b>Carga frutal</b>	<b>Rendimiento ton·ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>
		<b>kg·ton<sup>-1</sup> fruta fresca</b>							<b>g·ton<sup>-1</sup> fruta fresca</b>
<b>Alta</b>	15,8 b <sup>1</sup>	2,1 a	0,4 a	4,5 a	0,5 b	0,2 b	2,4 b	3,1 a	6,1 a
<b>Baja</b>	1,9 a	1,8 a	0,4 b	4,9 a	0,3 a	0,1 a	1,7 a	3,1 a	8,0 b

<sup>1</sup> Letras distintas para un mismo elemento mineral indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Destacable es el caso del P el que, a pesar de haber sido extraído en mayor cantidad en kg·ha<sup>-1</sup> por olivos con alta carga (Figura 10) y no presentar diferencias significativas de concentración en frutos de olivos con alta o baja carga frutal (Figura 3A), tuvo una mayor extracción por tonelada de fruta fresca producida en olivos con baja carga frutal (Cuadro 10), debido probablemente a una mayor dilución de este nutriente en frutos de olivos con alta carga.

A pesar de las altas extracciones de N y K de los olivos con alta carga (Figura 10), como se mencionó anteriormente, esto no tuvo un mayor efecto en el estado nutricional de las plantas al compararla con aquellas que tuvieron bajas producciones (Figura 2A y 4A), lo que podría estar indicando la existencia de una adecuada fertilización en el predio que se llevó a cabo este ensayo, lo que se pudo haber complementado con un análisis de suelo. El estado nutricional con respecto al resto de los macroelementos, al igual como lo señalan algunos registros nacionales (Astorga *et al.*, 2003), no se verían afectados por las altas producciones, ya que el suelo sería capaz de suministrar los requerimientos de éstos por parte de los olivos.

### Microelementos

El B fue el microelemento extraído en mayor cantidad (96,37 g·ha<sup>-1</sup> en olivos con altas producciones). Estos resultados serían avalados por otros autores (Astorga *et al.*, 2003; Barranco *et al.*, 2008) lo que demuestra, al igual que el resto de los otros micronutrientes, la mayor extracción en plantas con altas cargas frutales (Figura 11).

En el Cuadro 10 se muestran las extracciones de microelementos por tonelada de fruta fresca en olivos variedad Frantoio. Estos valores podrían servir de referencia para posibles fertilizaciones en cuanto a estos minerales, ya que sí se han observado carencias de éstos en Chile (Fichet *et al.*, 2011).

Es destacable señalar el caso del B el cual en bajas cargas frutales presenta una mayor extracción por tonelada de producción (Cuadro 10), esto debido, posiblemente, a la mayor dilución en altas producciones de aceituna. Sierra *et al.* (2002, citados por Astorga *et al.*, 2003) realizaron un experimento en el Valle del Huasco en la variedad Sevillano, con rendimiento de más de 120 kg·árbol<sup>-1</sup>, obteniendo que la concentración de B foliar decreció a niveles críticos ya que el suelo no fue capaz de suministrar el nutriente. Al respecto, Havlin *et al.* (2005), señalan que suelos pobre en materia orgánica y con pH mayor a 7,8 pueden presentar un bajo suministro de este elemento

mineral. Por otro lado, Fichet *et al.* (2011) afirman que el B se ha manifestado carente en las zonas del secano costero desde Melipilla al sur y en el Valle Central de las regiones de O'Higgins y Maule.

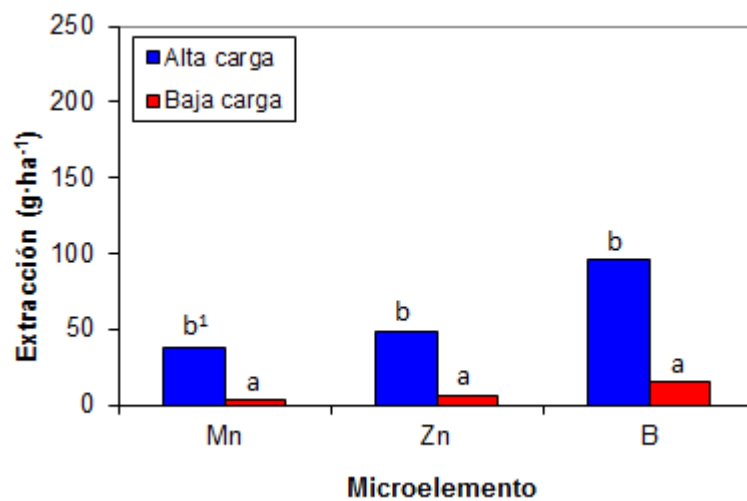


Figura 11. Efecto de la carga frutal en olivos variedad Frantoio, sobre la extracción frutal de microelementos por hectárea. <sup>1</sup> Letras distintas para un mismo microelemento indican diferencias significativas entre cargas frutales, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

### Concentración y cantidad de reservas orgánicas

En el Cuadro 11 se pueden observar la acumulación de reservas orgánicas en hojas y raíces al final de la temporada. En hojas, el almidón presentó concentraciones y cantidades similares tanto en olivos con alta como baja carga. Sin embargo, en raíces, si bien no se obtuvieron diferencias significativas, la concentración y la cantidad de almidón fue mayor, en promedio, 82,5 y 52,5% respectivamente, en olivos con alta carga frutal. Estos resultados estarían coincidiendo, en parte, con lo observado por Bustan *et al.* (2011), quienes obtuvieron una mayor concentración de almidón en raíces de olivos, variedad Barnea con baja carga frutal, al final de la temporada. Al mismo tiempo, no se observaron mayores diferencias en las concentraciones foliares de almidón entre un año de alta y otro de baja carga. Estos autores también indican que el almidón es el carbohidrato con mayor presencia en todos los órganos del olivo, teniendo las hojas una mayor capacidad de almacenamiento de este carbohidrato que las raíces. Esta afirmación es contraria a lo que se obtuvo en este estudio, en donde las raíces presentaron, aparentemente, una mayor concentración que las hojas. Sin embargo, en este resultado pudo haber influido la diferencia de tiempo en la toma de muestras entre hojas y raíces (ver capítulo “Materiales y Métodos”). Estos mismos autores señalan que durante el invierno, las raíces siguen acumulando reservas, además afirman que éstas

Cuadro 11. Efecto de la carga frutal sobre la concentración y cantidad total de almidón, proteínas y arginina en hojas y raíces de olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha.

	Hojas		Raíces	
	Alta carga	Baja carga	Alta carga	Baja carga
<b>Almidón (%)</b>	4,7	4,9	6,8 a <sup>1</sup>	12,5 a
<b>Almidón (g)</b>	1,8	1,9	4,3 a	6,5 a
<b>Proteína (%)</b>	14,9	10,6	4,8 a	4,8 a
<b>Proteína (g)</b>	1543,6	995,3	94,8 a	173,6 a
<b>Arginina (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>	170,0	210,0	2.266,7 a	1.800,0 a
<b>Arginina (g)</b>	486,9	460,1	152,7 a	478,3 a

<sup>1</sup> Letras iguales, en sentido horizontal, no indican diferencias significativas entre cargas frutales para un mismo compuesto orgánico, según la prueba t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

presentan fluctuaciones de concentraciones de almidón características de un ciclo bienal, siendo altas al comienzo de la temporada y bajas al final producto del desarrollo de la fruta, pudiendo tener un papel importante en el suministro de carbohidratos para el crecimiento de las aceitunas. Si bien Drossopoulos y Niavis (1988b) afirman que las hojas tendrían una baja capacidad de almacenamiento de almidón, siendo el xilema interior de la madera el tejido con mayor capacidad de acumular este tipo de reservas, esto es desmentido por Bustan *et al.* (2011), quienes señalan que las hojas tienen una alta capacidad para almacenar almidón y que esto no lo habrían observado Drossopoulos y Niavis (1988b) debido a la diferencia de las condiciones de estudio, ya que estos últimos realizaron el ensayo en condiciones de secado y bajo rendimiento, en donde incluso se observó un alza de almidón foliar en verano en pleno crecimiento de la fruta, mientras que el ensayo de Bustan *et al.* (2011), al igual que este estudio, se realizó en condiciones de riego y alta carga frutal.

Si bien no existen más estudios cuantificando la cantidad de almidón presente en los distintos órganos de las plantas de olivo, si existen aproximaciones a la cantidad de carbohidratos no estructurales en el total de la planta, sin existir mayores diferencias entre olivos con alta y baja carga en pleno invierno, pero sí obteniendo pequeñas diferencias entre las concentraciones de azúcares solubles y almidón, siendo las primeras mayores en hojas de olivos con alta carga (Bustan *et al.*, 2011). Akdesir *et al.* (2004), sólo obtuvieron diferencias significativas en las concentraciones (promedio de concentraciones en hojas, nudos y fruta) de fructosa siendo mayores en olivos, variedad Memecik, con alta carga, mientras que el resto de los azúcares solubles y la cantidad total de carbohidratos no presentaron diferencias, no especificando el período de medición. Además no obtuvieron diferencias en el promedio de azúcares totales de hojas, nudos y fruta durante el período de inducción, iniciación y diferenciación floral. De esta forma, estos autores descartan su participación directa en estos procesos fisiológicos, siendo éstos controlados por factores fitohormonales. Por su parte Bustan *et al.* (2011) sugieren que el exceso o deficiencia de carbohidratos no se debe considerar como una razón significativa para la alternancia en olivos cultivados intensivamente. Quizás podría existir una relación positiva entre la concentración foliar de almidón y el crecimiento de brotes de la temporada al igual como se detectó entre la biomasa de raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm y la concentración de almidón en ellas (Apéndice II, Cuadro 5). En años con baja carga frutal, el crecimiento vegetativo es mayor, como se ha mencionado anteriormente, lo que podría originar una demanda similar de carbohidratos a la efectuada por la fruta. Por lo tanto, en años de alta como de baja carga, existiría una acumulación similar de reservas. Sin embargo, Bustan *et al.* (2011) sugieren que en años con alta carga frutal, la actividad fotosintética es mayor que en años de baja carga, siendo capaz de suministrar la mayor demanda de asimilados originado por la fruta y por lo tanto permitiendo acumulaciones similares de reservas de carbohidratos en años de alta y baja producción. Otra fuente señala, que aumentos en la relación hoja-fruto (mayor presencia de hojas por fruto), no se traduce en un aumento en la tasa de fotosíntesis neta en hojas de olivos variedad Frantoio (Famiani *et al.*, 2006).

Las proteínas se presentaron en concentraciones y cantidades mayores en un 40,6 y 55,1 %, respectivamente, en hojas de olivos con alta carga. Por el contrario, en raíces no existieron diferencias significativas entre cargas frutales, tanto en las concentraciones como en las cantidades, además de tener, aparentemente, una menor acumulación que las hojas (Cuadro 11).

El patrón observado en las concentraciones foliares de proteína estaría coincidiendo con lo observado por Lavee y Avidan (1994), quienes obtuvieron una mayor concentración en hojas de un año en olivos, variedad Manzanillo, Barnea y Uovo de Piccione, con alta carga. Por otro lado en corteza de ramas de un año, ocurrió lo contrario en todas las variedades mencionadas anteriormente, además de la variedad Koroneiki. Estos autores señalan diferencias en las cantidades de proteínas específicas entre años de alta y baja carga, pero éstas eran específicas para cada variedad, no mostrando un patrón general. Al respecto, Drossopoulos y Niavis (1988a) afirman que en olivos variedad Koroneiki, los aminoácidos libres predominantes en las hojas son el glutamato, aspartato y prolina, entre otros, no mencionando a la arginina, señalando que éste sería el aminoácido con mayor predominancia en el xilema interior de la madera, aumentando en otoño en donde representaba cerca del 35 % del nitrógeno soluble presente en el xilema. Además

señalan que este tejido es el más importante reservorio de nitrógeno soluble fácilmente transportable como lo es la arginina. Éste aminoácido aparentemente estaría en mayor concentración y cantidad en hojas de olivos de baja carga, pero a la vez las concentraciones serían menores a las observadas en raíces, las que además no presentaron diferencias significativas, tanto en la concentración, como en la cantidad de arginina en olivos de alta y baja carga (Cuadro 11). Al mismo tiempo, Nasir y Perez (2011) muestran que mayores concentraciones foliares de arginina, en el período de inducción floral en olivos variedad Arbequina, generan mayor número de inflorescencias en la próxima floración ya que este aminoácido sería precursor de la síntesis de putrescina, la cual se presenta en altas cantidades en las yemas laterales en el momento que éstas pasan del estado vegetativo a reproductivo.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este ensayo y considerando las condiciones en las que se llevaron a cabo los tratamientos, se puede concluir que:

- La carga frutal en olivos variedad Frantoio, a cosecha, tiene efecto en el peso promedio fruto, contenido de aceite (base materia seca y fresca) e índice de madurez, siendo mayores en plantas con bajas cargas frutales.
- La biomasa total de los distintos órganos no es afectado, a excepción del fruto, por la carga frutal. Las raíces con un diámetro inferior o igual a 8 mm presentan una tendencia de estar con una menor biomasa en olivos con alta carga.
- Las reservas de elementos minerales no se ven disminuidas en los distintos órganos (sin considerar los frutos) por efecto de una alta carga frutal. En una mayor carga frutal las concentraciones de Ca, Mg y Mn son mayores en frutos y presentan tendencias a ser mayores en hojas. El K muestra una tendencia de estar más concentrado en hojas de olivos con baja carga frutal.
- En la distribución de elementos minerales, en general, la madera de más de un año es el tejido que tiene a los elementos minerales en mayor cantidad, porcentualmente, debido a su mayor biomasa, seguido por las hojas. Además, raíces de plantas con baja carga tienen cantidades de K, Ca, Mg, Mn, Zn y B, porcentualmente, mayores a las de plantas con alta carga.
- Las extracciones de elementos minerales son mayores en olivos con altas cargas frutales. Además el Ca, Mg y Mn se presentan en mayor cantidad en una tonelada de fruta fresca de olivos que tienen una alta carga frutal, lo contrario ocurre con el P y el B.
- Las reservas de almidón, proteína y arginina, en hojas y raíces, no se ven afectadas significativamente por la carga frutal.
- Basándose en los resultados obtenidos, es necesario seguir estudiando las diferencias en crecimiento de brotes y raíces, entre años de alta y baja carga frutal, pero con métodos menos destructivos y de mayor facilidad como lo es medir longitudinalmente crecimientos a lo largo del año y no sólo a cosecha. De repetirse un ensayo con objetivos similares a éste, es necesario aumentar el número de repeticiones y centrarse en las concentraciones minerales sólo en hojas. También debiesen aumentarse el número de repeticiones para futuras investigaciones de reservas orgánicas en hojas, ya que los pocos resultados obtenidos en este ensayo coincidirían con los encontrados en otros estudios.



## BIBLIOGRAFÍA

Akdesir, O., M. Aksu, N. Estoy, M. Karkacier, S. Sonmez and S. Ulger. 2004. Determination of endogenous hormones, sugars and mineral nutrition levels during the induction, initiation and differentiation stage and their effects on flower formation in olive. *Plant Growth Regul.* 42: 89-95.

Alcubilla, M., J. Betrán, A. Broca, J. Espada, M. Gracia, E. Monge, A. Negueruela y Y. Romero. 2002. Contribución al estudio de las variedades de olivo Empeltre y Arbequina en Aragón. *Jornadas de Investigación y Transferencia de Tecnología al Sector Oleícola.* 157-158.

Aleman, R., C. Benavides y T. Cooper. 2001. Prospección nutricional de olivos (cv 'Sevillano') en el Valle del Huasco. 30-33 p. *In: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.* 2001. V Jornadas Olivícolas Nacionales, Centro Regional de Investigación Intihuasi. Serie Actas N° 14. La Serena, Chile. 152 p.

Arrobas, M. y M. A. Rodrigues. 2010. Analysis of yearly variation on olive yields and relation to alternate fruiting. 202-205 p. *In: EUROSIS-ETI.* Escola Superior Agraria de Bragança, CIMO. Bragança, Portugal.

Arrue J.L., J.E. F. Cabrera, Fernández, J. Martín-Aranda and F. Moreno. 1991. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant Soil* 133: 239-251.

Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C.). 1984. Official methods on analysis of the association of official analytical chemist. 14<sup>th</sup> ed. Virginia, U.S.A. 1241 p.

Astorga M, A. Ibacache, P. Larraín, L. Martínez, C. Quiroz, F. Riveros, C. Sierra y Tapia. 2003. Manual del cultivo del olivo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. 128 p.

Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of roots of tree crops. *Hort. Rev.* 2: 424-490.

Azcon-Bieto, J. y M. Talón, 2008. *Fundamentos de Fisiología Vegetal.* 2<sup>da</sup> ed. Mc Graw Hill. Madrid, España. 651 p.

Baninasab, B., M. Rahemi and H. Shariatmadari. 2007. Seasonal changes in mineral content of different organs in the alternate bearing of pistachio trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 241-258.

Barone E., G. Guillo, P. Inglese and R. Zappia. 1994. Effect of crop load on fruit ripening and olive oil (*Olea europaea* L.) quality. *Journal of Horticultural Science* 69: 67-73.

- Barone E., G. Guillo and P. Inglese. 1996. The effect of complementary irrigation on fruti growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv. Carolea. *Journal of Horticultural Science* 71: 257-263.
- Barranco, D., R. Fernández-Escobar y L. Rallo. 2008. El cultivo del olivo. 6ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 846 p.
- Ben-Gal, A., A. Dag, R. Erel, A. Schwrtz and U. Yermiyahu. 2008. Flowering and fruit set of olive trees in response to nitrogen, phosphorus, and potassium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133: 639-647.
- Ben-Gal, A., A. Dag, R. Erel, A. Schwrtz and U. Yermiyahu. 2009. The role of macro-nutrients in olive tree flowering and fruit set. *The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*. Departament of Plant Sciences, UC Davis. EE.UU. 5 p. Disponible en: <http://scholarship.org/uc/item/7bg4m169>.
- Blatt, M. 2000. Ca<sup>2+</sup> signalling and control of guard-cell volume in stomatal movements. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 196-204.
- Blevins, D. and K. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 481-500.
- Britto, D and H. Kronzucker. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiologia Plantarum* 133 (4): 637-650.
- Brown, P. and H. Hu. 1998. Boron mobility and consequent management in different crops. *Better Crops* 82: 28-31.
- Bustan, A., A. Avni, S. Lavee, I. Zipori, Y. Yeselson, A. Schaffer, J. Riov and A. Dag. 2011. Role of carbohydrates reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Tree Physiology* 31: 519-530.
- Callejas, R. 2001. Formación de la yema floral en el olivo y sus consecuencias sobre el añerismo. *Aconex* 71: 16-23.
- Callejas, R. y G. Reginato, 2000. Añerismo en manzanos. Formación de la yema floral y factores que determinan la alternancia en las producciones. *Revista Frutícola* 21: 61-68.
- Celano G., B. Dichio, M.I. Ferreira, H.G. Jones, A.M. Palese, V. Nuzzo, M. Romano and C. Xiloyannis. 2000. The influence of soil water content on root density in young olive trees. *Acta Hort.* 537: 329-336.
- Cisternas, J., D. Pellizon, F. Rojas y M. Rojas. 2004. Factores Agronómicos en la producción de aceite de oliva. Ovalle, Chile. Disponible en: [http://www.prochile.cl/doc2.php?file=aceite\\_oliva\\_rojas\\_2004.pdf](http://www.prochile.cl/doc2.php?file=aceite_oliva_rojas_2004.pdf). Leído el 25 de Septiembre 2010.

COI. 2000. Catálogo mundial de variedades de olivo. Consejo Oleícola Internacional. Madrid, España. 360 p.

Connor, D. J. and E. Fereres. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Hortic. Rev.* 69 p.

Dag, A., A. Bustan, A. Avni, I. Tzipori, S. Lavee and J. Riov. 2010. Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae* 123: 469-472.

Dichio, B., M. Romano, V. Nuzzo and C. Xiloyannis. 2000. Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olives trees (cv Coratina). *Acta Horticulturae* 586: 255-258.

Dimassi, K, I. Therios and A. Passalis. 1999. Genotypic effect on leaf mineral levels of 17 olive cultivars grown in Greece. *Acta Horticulturae* 474: 345-352.

Dolan, L. and J. Davies. 2004. Cell expansion in roots. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7: 33–39.

Drossopoulos, J. B. and C. A. Niavis. 1988a. Seasonal changes of the metabolites in the leaves, bark and xylem tissues of olive tree (*Olea europaea* L.) I. Nitrogenous compounds. *Annals of Botany* 62: 313-320.

Drossopoulos, J. B. and C. A. Niavis. 1988b. Seasonal changes of the metabolites in the leaves, bark and xylem tissues of olive tree (*Olea europaea* L.) II. Carbohydrates. *Annals of Botany* 62: 321-327.

Famiani F., L. Nasini and P. Proietti. 2006. Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 44: 275-285.

Fereres E., A. Moriana, F. Orgaz and M. Pastor. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 425-431.

Ferguson, L. and G. A. Sibbett. 2000. Nitrogen, boron, and potassium dynamic in “on” vs “off” cropped Manzanillo olive trees in California, USA. *Acta Horticulturae* 586: 369-373.

Fernández-Escobar, R., A. Delgado and M. Benlloch. 1994. Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development. *HortScience* 29: 616-618.

Fernández-Escobar, R. and L. Marín. 1999. Nitrogen fertilization in olive orchards. *Acta Horticulturae* 474: 333-335.

Fernández-Escobar, R., R. Moreno and M. García-Creus. 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae* 82: 25-45.

- Fernández-Escobar, R., R. Moreno and M.A. Sánchez-Zamora. 2004. Nitrogen dynamics in the olive bearing shoot. *HortScience* 39: 1406-1411.
- Fernández-Escobar, R., M. Aguilera, G. Beltrán, J. García-Novelo, M. Sánchez-Zamora and M. Uceda. 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience* 41: 215-219.
- Fernández-Escobar, R., A. Ortiz-Urquiza, M. Prado and H. F. Rapoport. 2008. Nitrogen status influence on olive tree flowers quality and ovule longevity. *Environmental and Experimental Botany* 64: 113-119.
- Ferreira, R., I. Sellés y G. Sellés. 2001. Riego deficitario controlado en olivos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Series Actas INIA N° 59. Santiago, Chile. 48 p.
- Fichet, T., B. Razeto y T. Curkovic. 2011. El olivo: estudio agronómico en la Región de Atacama. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 16. Santiago, Chile. 171 p.
- Freihat, N. and Y. Masa`deh. 2006. Response of two-year-old trees of four olive cultivars to fertilization. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 1: 185-190.
- Génard, M., Duzat, M., Franck, B., Lescourret, F., Moitrier, N., Vaast, P. and G. Vercambre. 2008. Carbon allocation in fruit trees: from theory to modeling. *Trees-Structure and Function* 22: 269-282.
- Grechi I., P. Vivin, G. Hilbert, S. Milin, T. Robert and J.-P. Gaudillère. 2007. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany* 59: 139-149.
- Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7th ed. Pearson. Nueva Jersey, EE.UU. 515 p.
- Hepler, P. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell* 17: 2142–2155.
- Ibacache, A., F. Tapia y P. Olivares. 2001. Estudio de la fenología aérea y radicular del olivo. 76 – 78 p. *In*: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2001. V Jornadas Olivícolas Nacionales, Centro Regional de Investigación Intihuasi. Serie Actas N° 14. La Serena, Chile. 152 p.
- Jasrotia, A., R.P. Singh, J.M. Singh and V.P. Bhutani. 1999. Response of olive trees to varying levels of N and K fertilizers. *Acta Horticulturae* 474: 337-340.
- Laila, F., H. Hassan, M. Abou, H. El-Wakeel and A. Abdel-Galel. 2010. Effect of mineral, organic nitrogen fertilization an some other treatments on vegetative growth of Picual olive young trees. *Journal of American Science* 6:174-179.

- Lalonde, S., D. Wipf and W. Frommer. 2004. Transport mechanisms for organic forms of carbon and nitrogen between source and sink. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 341-372.
- Lavee, S. and N. Avidan. 1994. Protein content and composition of leaves and shoot bark in relation to alternate bearing of olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Horticulturae* 356: 143-147.
- Lavee S. and M. Wodner. 2004. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea* L.), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae* 99: 267-277.
- Lavee, S. 2006. Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). *Olea* FAO Olive Network 25: 5-13.
- Liakopoulos, G., S. Stavrianiakou, M. Filippou, C. Fasseas, C. Tsadilas, I. Drossopoulos and G. Karabourniotis. 2005. Boron remobilization at low boron supply in olive (*Olea europaea*) in relation to leaf and phloem mannitol concentrations. *Tree Physiology* 25: 157-165.
- Llona, J.F., F. Gamiz, Moldenhauer-Gómez, C.A. Pérez, P. Ramos, J. Romero y J.L. Sánchez-Garrido. 1999. El Olivo, un árbol para la historia. Aproximación a su riego y fertilización, y otros comentarios. *Herogra*. 225 p.
- López-Granados, F., M. Jurado-Expósito, S. Álamo and L. García-Torres. 2004. Leaf nutrition spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Europ. J. Agronomy* 21: 209-222.
- Loupassaki, M., S. Chartzoulakis, N. Digalaki and I. Androulakis. 2002. Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sodium in leaves, shoots, and roots of six olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 25: 2457-2482.
- Maathuis, F. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Plant Biology* 12: 250–258.
- Mouline K, A. Very, F. Gaymard, J. Boucherez, G. Pilot, M. Devic, D. Bouchez, J.B. Thibaud and H. Sentenac. 2002. Pollen tube development and competitive ability are impaired by disruption of a Shaker K1 channel in *Arabidopsis*. *Genes Dev* 16: 339–350.
- Mulas, M. and F. Viridis. 1999. Fruit quality of table-olive clones selected from “Nera” cultivar. *Acta Horticulturae* 474: 605-608.
- Muñoz, C. 2008. Control de carga frutal en olivos variedad Coratina mediante poda de invierno. Memoria de Título en Ingeniería Agronómica, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 42 p.

- Nasir, S.A. and J. L. Pérez. 2011. The effect of high temperature interruptions during inductive period on the extent of flowering and on metabolic responses in olives (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae* 129: 207-212.
- Poorter, H. and O. Nagel. 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: a quantitative review. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 595-607.
- Rallo, L. and M.P. Suarez. 1989. Seasonal distribution of dry matter within the olive fruit-bearing limb. *Adv. Hort. Sci.* 3: 55-59.
- Ramírez, M. 2001. Variabilidad de la producción en olivo (*Olea europaea* L.). Relación entre alternancia, floración, vigor y productividad. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba, España. 190 p.
- Razeto, B. 2009. Symptoms of nutrient imbalances in fruit trees. SQM. Santiago, Chile. 187 p.
- Reale, L., C. Sgromo, L. Ederli, S. Pasqualini, F. Orlandi, M. Fornaciari, F. Ferranti and B. Romano. 2009. Morphological and cytological development and starch accumulation in hermaphrodite and staminate flowers of olive (*Olea europaea* L.). *Sex Plant Reprod.* 22: 109-119.
- Reginato, G. 2002. Aproximación teórica-cuantitativa a la densidad de plantación y a la evaluación del comportamiento de huerto de manzanos. *Revista Frutícola* 23: 93-96.
- Sadzawka A., M. A. Carrasco, R. Demanet, H. Flores, R. Grez, M. L. Mora y A. Neaman. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Series Actas INIA N° 40. Santiago, Chile. 140 p.
- Sanz-Cortés, F., J. Martínez-Calvo, M.L. Badenes, H. Bleiholder, H. Hack, G. Llacer and U. Meier. 2002. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Ann. Appl. Biol.* 140: 151-157.
- Seifi, E., J. Guerin, B. Kaiser and M. Sedgley. 2008. Inflorescence architecture of olive. *Scientia Horticulturae* 116: 273-279.
- Shaaban, M. 2010. Role of boron in plant nutrition and human health. *American Journal of Plant Physiology* 5: 224-240.
- Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *BioMetals*. Vol. 15: 309-323 p.
- Tapia, F. 2009. Producción moderna: Plantación, recolección y características nutraceuticas de los aceites. Pp 8-22. *In: Ibacache, A., P. Larraín, L. Martínez, F. Riveros, C. Sierra y F. Tapia (Ed.). Seminario: Manejo Agronómico Industrial*

Olivícola. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Centro Regional de Investigaciones Intihuasi. Vallenar. Chile. 87 p.

Therios, I. 2009. Olives. School of Agricultura, Aristotle University. Thessaloniki, Grecia. 409 p.

Troncoso, A., J.L. García and S. Lavee. 2008. Evaluation of the present information on the mechanisms leading to flower bud induction, evocation and differentiation in *Olea europaea*. *Acta Horticulturae* 949: 93-98.

Webster, A. D. 2005. Roots and root growth. pp. 107-119. *In*: Tromp, J., A. D. Webster and S. J. Wertheim (Ed.). *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Backhuys Publishers. Leiden. The Netherlands. 400 p.

Xiloyannis, C., G. Celano, G. Montanaro, B. Dichio, L. Sebastiani and A. Minnocci. 2001. Water relations, calcium and potassium concentration in fruits and leaves during annual growth in mature kiwifruit plants. *Acta Horticulturae* 564: 129-134.

Zavalloni, C., B. Marangoni, M. Tagliavini and D. Scudellari. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Acta Horticulturae* 564: 113-121.

## APÉNDICE I

Cuadro 1. Estado nutricional en plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta y baja carga frutal en endurecimiento de carozo.

<b>Elemento</b> <b>Mineral</b>	<b>Endurecimiento de carozo</b>		<b>Rango*</b>
	<b>Alta carga</b>	<b>Baja carga</b>	<b>Óptimo</b>
<b>N (%)</b>	2,00	2,06	1,5-2,0
<b>P (%)</b>	0,16	0,17	0,1-0,3
<b>K (%)</b>	1,43	1,37	> 0,8
<b>Ca (%)</b>	2,06	1,43	>1,0
<b>Mg (%)</b>	0,2	0,17	>0,1
<b>Mn (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>	29	34	>20
<b>Zn (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>	99	47	10-30
<b>B (mg·kg<sup>-1</sup>)</b>	39	33	19-150

\*Fuente: Barranco *et al.* (2008); Therios (2009).



## APÉNDICE II

Cuadro 1. Coeficientes de correlación lineal en los contenidos de materia seca entre distintos órganos de plantas de olivo, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha, según la prueba de correlación de Pearson ( $p \leq 0,05$ ).

Órgano	Frutos	Hojas	Ramillas
<b>Hojas</b>	0,378	-	-
<b>Ramillas <math>\leq</math> 1 año</b>	0,269	0,264	-
<b>Raíces</b>	-0,801*	-0,523	-0,585

\* Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal entre la concentración de elementos minerales en la fruta y la producción y entre cada elemento mineral en la fruta de olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal a cosecha.

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	B	Producción
<b>N</b>	1								0,89*
<b>P</b>	-0,43	1							-0,65
<b>K</b>	-0,11	0,59	1						-0,24
<b>Ca</b>	0,78	-0,41	0,29	1					0,77
<b>Mg</b>	0,64	-0,20	0,52	0,94*	1				0,67
<b>Mn</b>	0,89*	-0,45	0,07	0,78	0,75	1			0,88*
<b>Zn</b>	0,60	0,34	0,10	0,34	0,30	0,34	1		0,36
<b>B</b>	-0,64	0,71	-0,05	-0,79	-0,76	-0,84*	0,14	1	-0,81

\* Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Cuadro 3. Coeficientes de correlación lineal entre la concentración de cada elemento mineral en hojas, y entre la concentración foliar de elementos minerales, la biomasa de hojas (base peso seco) y la producción de fruta de olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal a cosecha.

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	B	Producción	Biomasa Hojas
<b>N</b>	1								0,28	0,66
<b>P</b>	-0,08	1							-0,72	-0,38
<b>K</b>	0,41	0,46	1						-0,69	0,33
<b>Ca</b>	0,22	-0,83*	-0,48	1					0,67	0,28
<b>Mg</b>	0,18	-0,49	-0,49	0,59	1				0,89*	0,55
<b>Mn</b>	0,03	-0,47	-0,47	0,92*	0,69	1			0,64	0,42
<b>Zn</b>	-0,09	-0,46	-0,46	0,59	-0,09	0,30	1		0,17	-0,54
<b>B</b>	0,37	-0,51	-0,51	0,19	0,68	0,16	-0,16	1	0,84*	0,33

\* Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación lineal entre la concentración de cada elemento mineral en ramillas de un año o menos, y entre la concentración de elementos minerales en estas ramillas, la biomasa de éstas (base peso seco) y la producción de fruta de olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal a cosecha.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>Producción</b>	<b>Biomasa Ramillas</b>
<b>N</b>	1								-0,12	-0,58
<b>P</b>	-0,39	1							0,43	0,33
<b>K</b>	0,31	0,04	1						-0,29	-0,54
<b>Ca</b>	-0,38	0,92*	-0,11	1					0,75	0,36
<b>Mg</b>	-0,11	0,63	-0,27	0,85*	1				0,91*	0,09
<b>Mn</b>	-0,13	0,53	-0,37	0,81	0,95*	1			0,98*	0,31
<b>Zn</b>	-0,43	0,29	-0,78	0,49	0,49	0,68	1		0,63	0,85*
<b>B</b>	-0,07	0,86*	0	0,78	0,68	0,48	0,07	1	0,35	-0,07

\* Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación lineal entre la concentración de reservas orgánica en raíces con un diámetro menor o igual a 8 mm, y entre la concentración de reservas orgánicas en raíces con un diámetro menor o igual a 8 mm, la biomasa de éstas (base peso seco) y la producción de fruta de olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal a cosecha.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Almidón</b>	<b>Proteína</b>	<b>Arginina</b>	<b>Producción</b>	<b>Biomasa Raíces</b>
<b>N</b>	1					0,21	-0,32
<b>P</b>	0,52	1				0,19	0,20
<b>Almidón</b>	-0,52	0,14	1			-0,79	0,88*
<b>Proteína</b>	0,99*	0,50	-0,58	1		0,30	-0,75
<b>Arginina</b>	0,78	0,36	-0,86*	0,84*	1	0,76	-0,40

\* Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación lineal de la concentración de elementos minerales entre distintos órganos, en olivos, variedad Frantoio, con alta o baja carga frutal, a cosecha.

<b>Elemento mineral</b>	<b>Hoja-fruto</b>	<b>Ramilla-hoja</b>	<b>Ramilla-fruto</b>
<b>N</b>	0,037	-0,888*	-0,057
<b>P</b>	0,452	-0,166	-0,307
<b>K</b>	0,378	0,329	-0,029
<b>Ca</b>	0,565	0,443	0,379
<b>Mg</b>	0,579	0,775	0,777
<b>Mn</b>	0,655	0,568	0,953*
<b>Zn</b>	-0,069	0,638	-0,481
<b>B</b>	-0,832*	0,671	-0,604

\* Coeficiente de correlación de Pearson significativos ( $P \leq 0,05$ ).