



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN ESTACIONAL
DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTAS DE
GRANADO (*Punica granatum* L.).**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO Y AL GRADO
DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AGROPECUARIAS MENCIÓN: PRODUCCIÓN FRUTÍCOLA

KAREN ISABEL GARCÍA GÓMEZ

DIRECTORES DE TESIS
NICOLÁS FRANCK BERGER
BRUNO RAZETO MIGLIARO

PROFESORES CONSEJEROS
RODRIGO CALLEJAS RODRÍGUEZ
JORGE PÉREZ QUEZADA

SANTIAGO DE CHILE
2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN ESTACIONAL
DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTAS DE
GRANADO (*Punica granatum* L.).**

**ESTIMATION OF THE BIOMASS ACCUMULATION AND SEASONAL EXTRACTION
OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM IN
PLANTS OF POMEGRANATE (*Punica granatum* L.).**

KAREN ISABEL GARCÍA GÓMEZ

SANTIAGO DE CHILE
2011

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

**ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN ESTACIONAL
DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN PLANTAS DE
GRANADO (*Punica granatum L.*).**

Tesis presentada para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención en Producción Frutícola.

Karen Isabel García Gómez

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
Directores de Tesis		
Nicolás Franck Berger Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,7	A
Bruno Razeto Migliaro Ingeniero Agrónomo, Msc.	6,7	A
Profesores Consejeros		
Rodrigo Callejas Rodríguez Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,3	A
Jorge Pérez Quezada Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5	A
Colaborador		
Francisco Alfaro López Lic. Ingeniería Agronómica		
Claudia Torres Pizarro Ingeniero Agrónomo, Msc		

Santiago, Chile
2011

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que ayudaron al desarrollo y culminación de esta Tesis en especial:

A mis profesores guías Nicolás Franck, por sus observaciones suspicaces que fueron de gran ayuda al lineamiento de esta Tesis. Profesor Bruno Razeto, por su buena disposición y sabios consejos. Ambos fueron de gran ayuda para mi desarrollo profesional.

A Francisco Alfaro, por haberme acompañado en gran parte del proceso, en la realización de esta Tesis. En la memoria quedarán los lindos recuerdos y las anécdotas de extenuantes días de trabajo.

A David y Víctor, por su colaboración y buena disposición en el laboratorio del Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA) de mi querida Universidad.

A mis amigas Mariana, Michelle, Pamela, Carolina y mis amigos Sergio, Max y Miguel, por su gran amistad, apoyo y cariño en todos estos años de universidad.

No puedo dejar de lado a Don Aldo, la Sra. Rebeca, Don Carmelo y al Pancho, personas que trabajan en la Estación Experimental Las Cardas, siempre con una muy abnegada disposición y buena voluntad, me hicieron estar gratamente acompañada, mientras estuve viviendo en Las Cardas.

Quiero agradecer de forma especial a Claudia Torres, administradora de la Estación Experimental Las Cardas, por sus importantes y valiosos consejos tanto para el desarrollo de esta tesis como para mi desarrollo profesional y personal.

Finalmente, agradecer a mi querida Familia, a mi papá Basilio García y mi mamá Juana Gómez, por todos sus esfuerzos para que pudiera estudiar, viniendo de tan lejos por todos estos años.

A mis hermanos Maria, Alejandra y David, por su gran apoyo y por entregarme amor a pesar de la distancia, los quiero mucho.

Esta Tesis fue financiada por el proyecto INNOVA-CORFO (07CT9 PZT-32): Desarrollo y elaboración de alimentos funcionales en base a frutos de granado cultivados en las zonas áridas y semiáridas. Gracias a este financiamiento, esta investigación fue presentada en el 61° Congreso Agronómico en Santiago (2010) y 62° Congreso Agronómico en Iquique (2011) convocado por la Sociedad Agronómica de Chile y el Congreso Ciencia Joven 2011, para alumnos de Postgrado de la Universidad de Chile.

Karen Isabel García Gómez



*Para Basilio, Juana, David, María y Alejandra.
Familia García Gómez. Arica.
Aymaras*



ÍNDICE

CAPÍTULO I:

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Características generales del granado	1
Importancia del granado	1
Características botánicas y fenología	2
Modalidad de crecimiento del granado	3
Medición de la biomasa de granado por método directo	3
Estimación de la biomasa de granado por método indirecto	4
Requerimientos nutricionales	4
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6

CAPÍTULO II:

ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA, COEFICIENTE DE REPARTO, ÍNDICE DE AREA FOLIAR Y EFICIENCIA DEL USO DE LA RADIACIÓN EN GRANADO var. WONDERFUL

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
Hipótesis	13
Objetivo	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Sitios de estudio	14
Selección de unidades experimentales	15
Mediciones previas	16
Determinación de biomasa: Método directo	16
Extracción de plantas completas	16
Procesamiento de muestras	17
Estimación de biomasa: Método indirecto	18
Alometría	18

Área sección transversal de tronco (ASTT)	18
Interceptación de la radiación solar (PAR_f)	19
Crecimiento del fruto	19
Coefficiente de reparto (CR)	20
Índice de área foliar (IAF)	20
Eficiencia del uso de la radiación (EUR)	21
Análisis estadístico	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Determinación de biomasa directa por extracción	23
Estimación de biomasa indirecta por alometría	24
Evolución de biomasa del granado	27
Tasa de crecimiento del granado	28
Crecimiento del fruto	30
Coefficiente de reparto (CR)	31
Índice de área foliar (IAF)	33
Eficiencia del uso de la radiación (EUR)	34
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO III:	
EXTRACCIÓN ESTACIONAL DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO POR LOS DISTINTOS ÓRGANOS EN PLANTAS DE GRANADO Var. WONDERFUL	
RESUMEN	41
ABSTRACT	42
INTRODUCCIÓN	43
Hipótesis	45
Objetivo	45
MATERIALES Y MÉTODOS	46
Selección de muestras	46
Concentración de nutrientes	47
Acumulación de nutrientes	47

Extracción de nutrientes	48
Coefficientes de reparto (CR)	48
Medición indirecta de clorofila (CCM)	49
Análisis estadístico	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
Nitrógeno (N)	50
Concentración de N	50
Acumulación de N	52
Balance de extracción y removilización de N	53
Coeficiente de reparto de N	55
Fósforo (P)	56
Concentración de P	56
Acumulación de P	57
Balance de extracción y removilización de P	58
Coeficiente de reparto de P	60
Potasio (K)	61
Concentración de K	61
Acumulación de K	62
Balance de extracción y removilización de K	63
Coeficiente de reparto de K	65
Calcio (Ca)	66
Concentración de Ca	66
Acumulación de Ca	67
Balance de extracción y removilización de Ca	68
Coeficiente de reparto de Ca	69
Magnesio (Mg)	70
Concentración de Mg	70
Acumulación de Mg	71
Balance de extracción y removilización de Mg	72
Coeficiente de reparto de Mg	73

Consideraciones generales para el huerto en producción	74
Concentración de macronutrientes en hoja y fruto	74
Acumulación total de macronutrientes	76
Acumulación de macronutrientes en fruto	78
Cantidad de macronutrientes extraídos por tonelada de fruta	79
Distribución de la extracción de nutrientes en la planta completa	80
Medición indirecta de clorofila	82
CONCLUSIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
APÉNDICE	88
ANEXOS	89

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Características generales del granado

Importancia del granado

El granado, especie característica de zonas áridas y semiáridas proveniente de Asia Menor, es un frutal que tiene gran resistencia a la sequía, por lo cual se puede adaptar a una gran variedad de climas con temperaturas entre -12 y 40°C y en suelos poco exigentes como salinos, alcalinos o pedregosos (Franck *et al.*, 2009). Chile tiene una gran superficie nacional con las características edafoclimáticas que requiere este frutal: clima luminoso, caluroso y seco en verano e inviernos fríos (Botti *et al.*, 1999) y sin la necesidad de competir por suelos con otras especies (Sudzuki *et al.*, 1997) debido al uso de sistemas de riego tecnificado, lo que ha hecho más eficiente la ampliación de superficies para la producción de este frutal (Melgarejo *et al.*, 2000).

En la actualidad, el granado es cada vez más reconocido por sus propiedades funcionales y nutricionales, siendo su fruta una buena fuente de proteínas, carbohidratos, minerales, vitaminas, polifenoles y antioxidantes. Estos últimos ayudan a la prevención de enfermedades cardiovasculares como la hipertensión, aterosclerosis y trombosis, ya que aumenta la proporción de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y, además, previene el cáncer, especialmente de próstata (Navindra *et al.*, 2006; Yildiz *et al.*, 2009). Estas características que benefician a la salud, han favorecido el mercado de la granada, lo que ha incidido en una mayor demanda de este fruto en EE.UU. y Europa, convirtiéndolo en una interesante oportunidad productiva y comercial para nuestro país, favorecido por la contraestación con los países del Hemisferio Norte (Quiroz, 2009).

Características botánicas y fenología

El granado pertenece a la familia *Punicaceae*, representado por un solo género y dos especies *Punica granatum* L. y *Punica protopunica* Balf, siendo solamente la primera especie aquella cultivada por sus frutos comestibles. El granado es un arbusto leñoso densamente ramificado que se mantiene a una altura de 2 a 3 m (Sudzuki, 1996). En cuanto a su morfología, la raíz es superficial, casi horizontal pero de gran desarrollo y de gran poder de absorción, sin tener una raíz principal importante (Botti *et al.*, 1999; Hiwale *et al.*, 2011). El tronco se caracteriza por ser leñoso, redondo, erguido y ramificado (Botti *et al.*, 1999). Las ramas son de madera flexible con largas espinas. Las yemas vegetativas y mixtas son de color rojizo y a partir de ellas se desarrollan las hojas y flores. Las hojas son oblongas-lanceoladas de bordes lisos y coriáceos, de color verde oscuro brillante en su estado adulto (Sudzuki *et al.*, 1997). Las flores son muy vistosas, hermafroditas, de color rojo, solitarias o en grupo de 2 a 3 flores, desarrollándose en las axilas foliares, preferentemente en ramas de 1 año. La flor presenta un receptáculo en forma de copa profunda en la cual alberga el ovario ínfero que se constituye, posteriormente, en la cáscara del fruto, los pétalos son telillas muy delicadas y caedizas. El fruto requiere 5 a 7 meses desde la fecundación hasta alcanzar la madurez (Sudzuki, 1996). El fruto es una balausta, grande, subglobosa de 10 a 15 cm de diámetro y cubierta roja coriácea con tendencia a la dehiscencia. En su interior los tabiques corresponden a la placenta que alberga los arilos, los cuales están formados por una semilla dura cubierta por una pulpa jugosa de color rojo intenso, con un alto contenido de sólidos solubles y de acidez (Botti *et al.*, 1999; Sepúlveda *et al.*, 2000).

La variedad más difundida en el mundo y plantada en Chile es Wonderful que corresponde a una variedad de cosecha tardía (abril-mayo). Pertenece al grupo de las variedades ácidas de granado con una coloración rojo intenso, buen calibre y prolongada postcosecha (Sepúlveda *et al.*, 2000).

El ciclo fenológico anual del granado se inicia en primavera con la brotación a finales de agosto o principio de septiembre. La floración es escalonada y comienza aproximadamente un mes después de la brotación pudiendo continuar, sin interrupción,

hasta el verano. Desde el punto de vista comercial, las primeras floraciones son las más importantes ya que son las que originan frutos de mayor tamaño los que son cosechados en otoño, antes del receso en el que las plantas pierden sus hojas (Franck *et al.*, 2009).

Modalidad de crecimiento del granado

El crecimiento en general en frutales de hoja caduca se va modificando a lo largo de su vida debido a las distintas prioridades determinadas por la edad. Así, en un huerto en producción aproximadamente un 60% de los asimilados se destina al desarrollo de frutos y de hojas, el resto queda para el desarrollo discontinuo de raíces y tronco (Silva y Rodríguez, 1995). En cambio, en un huerto joven, al no haber frutos, los asimilados se distribuyen hacia el crecimiento de raíz, tronco y hojas lo que es continuo durante toda la temporada, especialmente de las hojas porque son una fuente importante de carbohidratos, lo que es determinante para una sólida estructura de árbol. Independiente de la edad, se produce la removilización de carbohidratos y nutrientes antes del receso, para la brotación de la próxima temporada (Silva y Rodríguez, 1995). Para la determinación de crecimiento del granado en sus distintos órganos, se pueden utilizar técnicas para la estimación de biomasa por medio de métodos directos (destructivos) o indirectos.

Medición de la biomasa de granado por método directo: Según Weinbaum *et al.* (2001), la extracción de plantas completas es el método adecuado para medir la demanda de nutrientes en cultivos leñosos, como en los árboles frutales, si bien parece algo difícil, es el único método preciso para estudiar el ritmo y la magnitud de la extracción de macronutrientes. El procedimiento implica excavar y arrancar árboles completos y separar en raíz, tallo, hoja y fruto en diferentes épocas o estados fenológico a través del año y determinar la cantidad total de biomasa y nutrientes en esos árboles. La diferencia en la cantidad del nutriente entre cada fecha de arranque, indicaría la cantidad que es necesario ir aplicando. Si bien es un procedimiento complicado, sería una buena manera experimental de aproximarse a los requerimientos reales de cada especie o variedad frutal (Weinbaum *et al.*, 2001).

Estimación de la biomasa de granado por método indirecto (alometría): Los modelos alométricos son métodos rápidos y económicos que consisten en desarrollar ecuaciones a partir de información directa de plantas extraídas o individuos cosechados en la que se establece un análisis de regresión al relacionar diferentes variables morfológicas con su peso seco, para luego, en otros individuos, aplicar estas regresiones y estimar su biomasa de forma indirecta (Ares *et al.*, 2002; Bravo, 2009). Para estimar biomasa se pueden utilizar las siguientes variables morfológicas en campo como el área de sección transversal del tronco (ASTT), altura del árbol, el diámetro de fruto, la interceptación de la radiación solar (PAR_f) o diámetro de copa, etc.

La determinación de crecimiento nos permite obtener los siguientes parámetros a lo largo de la temporada: coeficientes de reparto (CR), índice de área foliar (IAF) y eficiencia del uso de la radiación (EUR). Estos parámetros permiten estimar el crecimiento de la biomasa, lo que es fundamental para la determinación de los requerimientos nutricionales a partir de valores de concentración de nutrientes en dicha biomasa.

Requerimientos nutricionales

Los árboles frutales requieren de 13 elementos minerales esenciales, de los cuales seis son macroelementos, por ser utilizados en grandes cantidades, pero de estos, 5 son los más requeridos por la planta: el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Marschaner, 1995). El otro macroelemento es el azufre, siendo los restantes siete los microelementos que las plantas utilizan en magnitudes mucho más pequeñas: hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, cloro y molibdeno (Razeto, 2009). Una cantidad insuficiente o excesiva de algún elemento, podría causar problemas fisiológicos en el crecimiento y en la producción, para evitar esta situación se regula la fertilización (Razeto, 2006). La fertilización en frutales es uno de los factores determinantes para el crecimiento y desarrollo. En la actualidad hay tendencia a una aplicación adecuada, debido a los altos costos del insumo y a la preocupación por evitar contaminaciones debido a un uso excesivo.

Una adecuada aplicación influye positivamente en las distintas etapas del desarrollo de la planta como la floración, fructificación y maduración (Holland *et al.*, 2009), además interviene en una mayor capacidad de resistencia o tolerancia a patógenos o insectos (Sandoval y Lolas, 2008) que puedan atacar a los distintos frutales, pero en este caso especial a granado (Pala *et al.*, 2009; Jadhava y Sharma, 2011). Para realizar una fertilización eficiente es necesario establecer un equilibrio en la dosis de fertilizantes por medio de un balance nutricional (Silva y Rodríguez, 1995), lo que está determinado por la acumulación que realizan las raíces, la estructura permanente, los brotes, las hojas y los frutos, que condicionan los rendimientos esperados.

Estas dosis deben ser aplicadas de tal modo de asegurar una adecuada disponibilidad al momento de mayor demanda de cada nutriente, según sus curvas de extracción a lo largo de la fenología de la planta. Así, por lo general, en frutales de hoja caduca se realizan dos fertilizaciones en brotación y en postcosecha. Para monitorear el estado nutricional de los árboles, se recomienda realizar análisis foliares y, en algunos casos, utilizar equipos como el medidor de contenido de clorofila (CCM 200, Opti- Sciencies), para relacionarla con la cantidad de nitrógeno en la hoja (Richardson *et al.*, 2002). Este método ha sido ampliamente utilizado en cereales como el maíz (Novoa y Villagrán, 2002), por lo cual posiblemente pueda ser una herramienta útil para frutales.

Si bien hay bastante información en relación a los requerimientos nutricionales de muchos frutales de hoja caduca como el manzano, vid, duraznero y kiwi, esta situación es contraria en granado como lo indican Melgarejo y Salazar (2003) y Holland *et al.* (2009), autores que enfatizan el gran vacío de conocimientos existente sobre la nutrición del granado a nivel mundial. Sudzuki (1996), por su parte, señala que en “Chile aún no se tienen experiencia en el tema de la nutrición del granado, de manera que es necesario basarse en la exigua literatura existente”, y por la escasa información recopilada, esta situación se mantiene a la actualidad.

Considerando estos antecedentes se ha propiciado la investigación y el desarrollo de la presente tesis, cuya hipótesis y objetivos se plantean en los siguientes capítulos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ares, A., J. Boniche, J.P. Quesada, R. Yost, E. Molina and T. Smyth. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrientes y carbono en plantaciones de palmitos en Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense* 26:19-30.

Botti, C., L. Prat, D. Ioannidis y N. Franck. 1999. Cinco cultivos para zonas áridas: higuera, granado, alcaparra, jobo y tuna. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 88 p.

Bravo, C. 2009. Estimación de la biomasa aérea y subterránea de especies leñosas de la zona árida mediterránea de Chile a través de funciones alométricas. Memoria Ingeniero Recursos Naturales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 48p.

Franck, N., R. Hillel y A. Kaplan. 2009. Producción y manejo de plantaciones de granado en Chile, Israel y Argentina. pp 28-42. In: Fundación Chile (Ed). Seminario Granados, Perspectivas y Oportunidades de un Nuevo Negocio. Santiago, Chile 25 de agosto, 2009. Fundación Chile. Santiago, Chile.

Hiwale, S., T. More and B. Bagle. 2011. Root distribution pattern in pomegranate Ganesh (*Punica granatum* L.). *Acta Horticulturae* 890: 323-326.

Holland, D., K. Hatib and C. Bar-ya`akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. *Horticultural Reviews* 35: 127-191.

Jadhava, V. and K. Sharma. 2011. Integrated management of diseases in pomegranate. *Acta Horticulturae* 890: 467-474.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press, San Diego, California. USA. 889 p.

Melgarejo, P., J.J. Martínez, F. Hernández, J. Martínez y M. Sánchez. 2000. Producción comercial de granadas en España. pp 31-47. In: Claudia Botti (Ed). Simposio Internacional Cultivos Frutales para Zonas Áridas. Santiago, Chile 27-28 de abril, 2000. Facultad de Ciencias. Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Melgarejo, P. y D. Salazar. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas vol. II. El algarrobo, granado y jinjolero. Ed. Mundi-prensa y AMV. Madrid, España. 442 p.

Navindra, P., R. Seeram and D. Heber. 2006. Pomegranate, ancient roots to modern medicine. Ed. Taylor&Francis. New York, EEUU. 244p.

Novoa, R. y N. Villagrán. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura Técnica 62(1): 166-171.

Pala, H., A. Tatli, C. Yilmaz and A. Özgüven. 2009. Important diseases of pomegranate fruit and control possibilities in Turkey. Acta Horticulturae 818: 285-290.

Quiroz, I. 2009. Característica general, producción, antecedentes de mercado de granados. pp 6-27. In: Fundación Chile (Ed). Seminario Granados, Perspectivas y Oportunidades de un Nuevo Negocio. Santiago, Chile 25 de agosto, 2009. Fundación Chile. Santiago, Chile.

Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. 4° edición, Ed. Bruno Razeto. Santiago, Chile. 518p.

Razeto, B. 2009. Symptoms of nutrient imbalances in fruit trees. Ed. A. Steven. Santiago, Chile. 187p.

Richardson, A., S. Duigan and G. Berlin. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytologist 153: 185-194.

Sandoval, C. y M. Lolas. 2008. Estado nutricional de las plantas y su incidencia en la expresión de enfermedades. pp 141-167. In: Instituto de investigaciones agropecuarias (Ed). Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Ed. Inia. Santiago, Chile. 296p.

Sepulveda, E., C. Sáenz, L. Galleti and M. Tapia. 2000. Minimal processing of pomegranate var. Wonderful. Ciheam-lamz 237-242.

Silva, H. y J. Rodríguez, 1995. Fertilización de plantas frutales. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 519 p.

Sudzuki, F. 1996. Frutales subtropicales para Chile. Ed. Universitaria. Santiago, Chile. 218p.

Sudzuki, F., B. Defilippi y A. Echeverría. 1997. El cultivo de granado. El Campesino 128 (1): 31-33.

Weinbaum, S., P. Brown, R. Rosecrance, G. Pichioni, F. Niederholzer, F. Youseffi and T. Muraoka. 2001. Necessity for whole tree excavation in determining patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. Acta Horticulturae 564: 41-47.

Yildiz, H., E. Obuz and G. Bayraktaroglu. 2009. Pomegranate: Its antioxidant activity and its effect on health. Acta Horticulturae 818: 265-270.

CAPÍTULO II

ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA, COEFICIENTE DE REPARTO, ÍNDICE DE AREA FOLIAR Y EFICIENCIA DEL USO DE LA RADIACIÓN EN GRANADO var. WONDERFUL

Resumen

Con el fin de conocer la acumulación y variación estacional de la biomasa de órganos y estructuras en plantas jóvenes y en producción de granado var. Wonderful, se utilizaron relaciones alométricas que permitieron estimar los coeficientes de reparto (CR), el índice del área foliar (IAF) y la eficiencia del uso de la radiación (EUR) en ambos huertos. Para construir las relaciones alométricas se utilizó un método directo, en donde se extrajeron 4 árboles de tres años y 2 árboles de cinco años, en los periodos de brotación, cuaja, crecimiento intermedio del fruto, cosecha y receso. Los árboles fueron separados en raíz, estructura caulinar, hojas, frutos y caídas, obteniéndose el peso fresco y seco de cada compartimiento. Antes de la extracción de cada grupo de plantas, se midió su radiación interceptada (PAR_f) y su área de sección transversal del tronco (ASTT), variables independientes que se relacionaron con el peso seco de los órganos extraídos. Las alometrías (método indirecto) obtenidas, fueron aplicadas en otros 6 árboles de ambos huertos en base a la medición de dichas variables alométricas desde brotación a receso. Además, se marcaron 16 frutos recién cuajados por árbol para realizar el seguimiento de diámetro ecuatorial hasta cosecha. Los resultados indican que las alometrías obtenidas determinaron con un $R^2 = 0,92$ la biomasa de granados. El crecimiento anual de biomasa de árboles en producción fue de 14 kg en peso seco. Los frutos representaron el 55% de la biomasa total, alcanzando un CR máximo de 0,8, previo a la cosecha y su crecimiento siguió un patrón de doble sigmoidea. El IAF máximo fue de 2,2 con un PAR_f de 45% y la EUR se estimó en $1,22 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$. Los árboles jóvenes acumularon 2,5 kg en peso seco y los coeficientes de reparto al desarrollo de raíces, caulinar y hojas fueron similares. Su IAF máximo fue 0,6 con un PAR_f de 22% y una EUR de $0,8 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$.

Palabras clave: Alometría, extracción de plantas, eficiencia del uso de la radiación (EUR), índice de área foliar (IAF), *Punica granatum*.

**ESTIMATION OF THE BIOMASS ACCUMULATION, PARTITIONING COEFFICIENTS,
LEAF AREA INDEX AND RADIATION USE EFFICIENCY OF POMEGRANATES
var. WONDERFUL**

Summary

The accumulation and seasonal variation of the biomass of organs and structures, in young and fully-producing pomegranate plants var. Wonderful, were estimated using allometric relationships which allowed to estimate the partition coefficients (CR), the leaf area index (LAI) and the radiation use efficiency (RUE) in both orchards. In order to build the allometric relationships a direct method was used, which included four three year old and two five year old trees which were uprooted during the periods of bud break, fruit set, intermediate fruit growth, harvest and winter dormancy. The fresh and dry weight of the organs of the tree, which were pooled into five compartments (roots, caulinar structures, leaves, fruits and litter) was then measured. Before uprooting the plants, their radiation interception (PAR_f) and trunk cross-sectional area (TCSA) were measured, which were related to the dry weight of the aboveground organs. The allometric (indirect method) hereby obtained were applied in 6 trees in both orchards using the same biometric measurements from sprouting to winter dormancy. In addition, the equatorial diameter of 16 fruits was tracked from fruit set to harvest. The results gave a determination coefficient of 0.92 for the estimation of the whole plant biomass of pomegranates from the allometric functions. The annual growth of the fruit-bearing trees was estimated at 14 kg dry weight. The fruits accounted for 55% of the total biomass, reaching a maximum CR of 0.8 before harvest and their growth curve followed a double sigmoid pattern. The maximum LAI was 2.2 with a PAR_f of 45% and the RUE was estimated at $1.22 \text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$. Young trees accumulated 2.5 kg dry weight over the growing season and equally devoted the partition coefficients of root development, caulinar structures and leaves. The maximum LAI of these trees was of 0.6 with a PAR_f of 22% and a RUE $0.8 \text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$.

Keywords: Allometry, uprooted plants, radiation use efficiency (RUE), leaf area index (LAI), *Punica granatum*.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento en las especies frutales se va modificando según la edad del árbol y esto es evidenciado con el aumento de biomasa de sus órganos. Por ejemplo, en un huerto en producción se observa que los frutos y las hojas son priorizados en desmedro de las raíces y el tronco, en cambio en un huerto joven todos los asimilados se distribuyen hacia el crecimiento de la raíz, tronco y hojas, especialmente de estos últimos porque son una fuente importante de carbohidratos, lo que es necesario para una sólida estructura (Silva y Rodríguez, 1995). Por lo tanto las determinaciones de biomasa son importantes para conocer la modalidad de crecimiento y reconocer los nuevos requerimientos nutricionales para el incipiente crecimiento de la temporada, lo que es influenciado según su arquitectura, ya sea de árbol o arbusto. Para la determinación de biomasa, se pueden utilizar métodos directos (Weinbaum *et al.*, 2001) e indirectos (Acosta-Mireles *et al.*, 2002).

Los métodos directos corresponden a prácticas de alta precisión, pero destructivas (Suckel, 2001). Estas metodologías tienen una compleja aplicación debido a la gran cantidad de tiempo que se requiere para su proceso, su alto costo y el daño irreversible a la planta examinada (Cortés, 2003). No obstante lo anterior, según Bonomelli *et al.* (2010), este análisis destructivo es requerido para obtener la acumulación de biomasa y la demanda de nutriente por órgano. Similar a lo expuesto por Weinbaum *et al.* (2001), indica que el método destructivo de extracción de plantas completas es el más confiable, porque refleja de forma real la demanda de cultivos leñosos y lo considera el único método preciso para estudiar el ritmo y la magnitud de la extracción de macronutrientes. El procedimiento implica excavar y arrancar árboles completos y separarlos en raíz, tallo, hoja y fruto, en diferentes estados fenológicos durante el año y determinar la cantidad total de biomasa y nutrientes en ellos. Según Razeto (2003), este método es más preciso que aquel que considera sólo la extracción que realiza la fruta. Este último, aunque útil, no permite determinar la demanda puntual en cada evento fenológico durante el año. Además, es sólo válido cuando la producción de fruta es cuantiosa, pues ignora el crecimiento y la demanda de los nutrientes que tienen los

centros vegetativos de consumo, los cuales aumentan su relevancia cuando la cosecha es menor.

Los métodos indirectos, como los modelos alométricos, son métodos rápidos y económicos que consisten en desarrollar ecuaciones a partir de información directa de plantas extraídas o individuos cosechados en las que se establece un análisis de regresión que permite relacionar diferentes variables morfológicas con su peso seco, para luego, en otros individuos, aplicar estas regresiones y estimar su biomasa de forma indirecta (Ares *et al.*, 2002; Bravo, 2009). Con este método simple y confiable, se puede, por ejemplo, estimar el aumento de biomasa en pequeñas muestras de frutos midiendo diámetro ecuatorial, luego, secadas y pesadas, se puede obtener valores que se proyecten a los demás frutos. Otro ejemplo es el área de sección transversal del tronco (ASTT), el cual es un adecuado indicador de la estructura del árbol y la biomasa radical (Madrigal *et al.*, 2006). También se puede utilizar la interceptación de la radiación solar (PAR_f), debido a la función de las hojas en la captación de luz para la producción de asimilados y desarrollo de órganos (Escobar, 2008), esto determina una estrecha relación entre la biomasa de hojas, PAR_f y IAF (Suckel, 2001), debido a estas razones se eligieron estas tres variables.

La determinación de crecimiento permite estimar los coeficientes de reparto (CR) que corresponden a la fracción del crecimiento en términos de materia seca o nutriente de cada uno de los componentes del árbol en relación al crecimiento anual total.

El índice de área foliar (IAF) es otro importante atributo del crecimiento aéreo del árbol, debido a que las hojas son dominantes en el proceso fotosintético y por consiguiente para la producción de asimilados (Nobel, 1999). El IAF es la sumatoria de todas las áreas de hojas por una unidad de suelo y la estimación directa consiste en la cosecha de material vegetal en un área conocida (Wilhelm *et al.*, 2000), pero también se puede determinar indirectamente por medio de la interceptación de radiación solar (Cortés, 2003).

Finalmente, la eficiencia del uso de la radiación (EUR), relaciona la producción de biomasa con la eficiencia de interceptación de radiación solar por las hojas (Jones, 1992), mientras mayor sea el valor, mayor es la eficiencia.

Estos parámetros, que miden el comportamiento del crecimiento y la distribución de asimilados, están establecidos para algunos frutales, pero para el granados, no han sido determinados. Gözlekçi y Kaynak (1998), Mirdehghan y Rahemi (2007) y Abd Elrhman (2010), indican que existe solo escasa información sobre el crecimiento del follaje y de los frutos de granados.

Hipótesis

El granado es una planta de baja producción de biomasa considerando la estructura arbustiva que presenta.

Objetivos

Estimar la acumulación de biomasa por los distintos órganos vegetativos y reproductivos en plantas jóvenes y en producción de granado var. Wonderful, a lo largo de la temporada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

La investigación se llevó a cabo durante la temporada 2009-2010 en dos huertos comerciales de granado variedad Wonderful, de árboles jóvenes y en producción, en dos localidades distintas. El primero correspondió al predio de la Agrícola Carmín del Elqui, en la localidad de Rosario, Comuna de La Serena, Provincia del Elqui, Región de Coquimbo (Anexo I). Este huerto joven fue plantado el año 2006, en un marco de plantación de 4 x 3 m. El segundo huerto corresponde al predio de la Agrícola H&C, Comuna de Paihuano, Provincia del Elqui, Región de Coquimbo (Anexo I). Este huerto en producción fue plantado el año 2004, en un marco de plantación de 4 x 3 m. En el caso del primer predio, los datos agroclimatológicos se obtuvieron de la estación meteorológica del Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA) ubicado a 3 km del predio, mientras que en el segundo predio se cuenta con una estación meteorológica instalada por el Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA). Ambos huertos son regados mediante riego por goteo, con goteros de $4 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ distanciados a un metro entre goteros y dispuestos en hilera simple.

En el Cuadro 2.1 se detallan las coordenadas geográficas y algunas características agroclimáticas de las localidades.

Cuadro 2.1. Ubicación y características agroclimáticas generales de las localidades muestreadas.

Localidad	Ubicación (latitud y longitud)	Altura (msnm)	Temperatura Máxima/Mínima (°C)	Precipitación media anual (mm)
Rosario (huerto de 3 años)	30° 1' 7,82" S 71° 6' 16,94" O	240	22,0/7,0 ¹	137,1 ¹
Paihuano (huerto de 5 años)	30° 2' 7,27" S 70° 31' 1,5" O	970	27,3/5,0 ¹	92,1 ¹

Fuente: ¹CIREN (1990).

Plano georreferenciado de localidades se encuentra en Anexo I.

En ambos predios se realizó un análisis químico de suelo (Anexo II y IV) y agua de riego (Anexo III y V), en base a estos resultados se adaptó el programa de fertilización de los dos predios en estudio de modo de asegurar, una disponibilidad óptima de N, P, K, Ca y Mg, para las plantas, basándose en las dosis de dichos nutrientes recomendados por la asociación de productores de granado de Israel¹, según la producción de la temporada anterior (Anexo II y IV). En relación a las otras labores, como riego, poda y raleo se sometió al manejo implementado por la empresa en cada predio.

Selección de unidades experimentales

A inicios de brotación, en septiembre de 2009, en el huerto joven de la agrícola Carmín del Elqui, se eligieron 16 individuos representativos de 3 años sin producción, divididos en cuatro grupos de cuatro árboles dispuestos en diferentes zonas del huerto. Cada grupo correspondió a una de cuatro fechas de extracción: brotación, máxima tasa de crecimiento aéreo (mitad del verano), cosecha y receso. Cada individuo correspondió a una unidad experimental, utilizándose 4 repeticiones por fecha. Además se seleccionaron 6 individuos adicionales para realizar un seguimiento biométrico en paralelo desde brotación a receso.

En el huerto de agrícola H&C, se eligieron 10 árboles de 5 años, en producción, homogéneos y representativos, divididos en cinco grupos de dos árboles cada uno que correspondieron a una de cinco fechas de extracción: brotación, cuaja, pleno crecimiento del fruto (aproximadamente en la mitad del período de desarrollo del fruto), cosecha y receso (Anexo VI). Cada individuo correspondió a una unidad experimental, obteniéndose 2 repeticiones por fecha. También se seleccionaron 6 individuos adicionales para realizar un seguimiento biométrico en paralelo desde brotación a receso.

¹ Sr. Ronen Hilel, Director de la Asociación de Productores de Granados de Israel, comunicación personal.

Al inicio de la etapa experimental se instalaron mallas de 3 x 3 m bajo cada uno de los grupos de árboles seleccionados con el fin de recolectar estructuras vegetales caídas. En ambos huertos las extracciones de plantas completas se realizaron aproximadamente cada 60 a 80 días. En el Cuadro 2.2 se detallan las fechas de extracción de árboles de ambos huertos.

Cuadro 2.2. Fecha de extracción de árboles para la determinación de biomasa total.

Localidad	Brotación (BR)	Cuaja (CJ)	Pleno Crecimiento (CK)	Cosecha (CS)	Receso (RS)
Rosario	09/09/09	-	15/01/10	25/04/10	08/07/10
Paihuano	10/09/09	24/10/09	06/01/10	06/04/10	06/07/10

Mediciones previas

Antes de la extracción de cada grupo de plantas, se realizaron las siguientes mediciones biométricas (Anexo VII):

- 1.-Área de sección transversal de tronco (ASTT).
- 2.-Interceptación de la radiación solar (PAR_f).
- 3.-Diámetro de fruto (df).

Determinación de biomasa: Método directo

Extracción de plantas completas

Para la determinación directa de la biomasa aérea y subterránea de granado var. Wonderful, se procedió a la extracción de árboles en ambas localidades en los diferentes estados fenológicos y en las fechas mencionadas en el Cuadro 2.2.

Cada extracción de planta completa se inició recolectando todas las estructuras caídas sobre la malla como hojas, flores y frutos. Luego se realizó una excavación concéntrica

con un perímetro circular de 120 cm de diámetro y 80 cm de profundidad, siendo el árbol su centro. Una vez descalzado el árbol completo, se tamizó el suelo proveniente de la excavación para recuperar las raíces allí presentes. Tanto las estructuras caídas como las raíces recuperadas del suelo se colocaron separadamente en bolsas de papel rotuladas y se llevaron a una hielera refrigerada con “ice-packs”. Una vez extraído el árbol completo, se envolvió en sacos rotulados y se transporto rápidamente al laboratorio para su procesamiento (Anexo VIII).

El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Adaptación de las Plantas a la Aridez (APA) en la Estación experimental Las Cardas del Centro de Estudio de Zonas Áridas (CEZA), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicado en la localidad de Las Cardas, Región de Coquimbo (Anexo VIII).

Procesamiento de muestras

En el laboratorio se procedió a separar los distintos órganos del árbol con diversos utensilios según lo detallado en el Cuadro 2.3. Posteriormente, cada órgano y estructura fue lavada con agua corriente, luego sometido a un enjuague con agua destilada y estilado sobre papel absorbente. Para finalizar las muestras fueron envasadas en bolsas de papel debidamente rotuladas para la determinación de su peso fresco (Anexo VIII).

Cuadro 2.3. Distribución de separación de órganos y estructuras de granado var. Wonderful.

Raíz(R)	Estructura caular (EC)	Hoja (H)	Órganos reproductivos (OR)	Caídas (CD)
Raíz fina ($\leq 2\text{mm}$)	Tronco	Hoja	Flores	Hojas
Raíz gruesa ($> 2\text{ mm}$)	Rama madre Rama Ramilla		Frutos	Flores Frutos

El peso fresco de los órganos: hoja (H), órganos reproductivos (OR) y caídas (CD), se determinó con una balanza Precisa 3100C de 2 kg (Precisa Instruments AG, precisión 0,01 g).

Las estructuras caulinares (EC) y raíces (R), se pesaron en una balanza Henkel BC-30 de 30 kg (Henkel Instruments, precisión de 1 g).

Una vez pesadas todas las muestras, fueron llevadas a una estufa Memmert ULM 800 (Memmert, Schwabach-Alemania) con circulación forzada de aire a 65°C hasta obtener peso constante. Luego las muestras fueron pesadas para determinar su peso seco y su porcentaje de humedad.

Estimación de biomasa: Método indirecto

Alometría

En paralelo a la determinación de biomasa de las plantas por método directo, a comienzos de septiembre se eligieron 6 árboles en ambos huertos, para un monitoreo biométrico desde brotación a receso. Estas mediciones se realizaron con una mayor frecuencia que las extracciones de plantas completa, aproximadamente cada 30 a 40 días, obteniéndose un total de trece mediciones en el huerto en producción y nueve mediciones en el huerto joven. Las mediciones biométricas fueron las siguientes:

Área de sección transversal de tronco (ASTT): se midió el diámetro del tronco (dt) a 0,15 m de altura sobre el suelo con un pie de metro. A partir del diámetro, se obtuvo ASTT, con la siguiente ecuación:

$$ASTT = \pi \left(\frac{dt}{2} \right)^2 \quad (\text{cm}^2)$$

Se establecieron relaciones alométricas entre el ASTT y la biomasa de raíces y tallos de las plantas extraídas, que se utilizaron para estimar la biomasa de tallos y raíces en las plantas que se monitorearon en forma continua.

Interceptación de la radiación solar (PAR_f): se determinó bajo los árboles, con un ceptómetro lineal modelo, Sun Scan tipo SS1 (Delta-T Devices Cambridge-England), que mide 1 m de longitud, integrando el registro de 64 sensores equidistantes, sensibles a la radiación PAR. Las lecturas se realizaron a 0,20 m de altura sobre el suelo. Bajo cada árbol se establecieron siete “transectos” en los 4 m de largo, perpendiculares a la hilera, desde la mitad de una entrehilera hasta la mitad de la siguiente, cubriendo toda el área del árbol. Se realizaron cinco evaluaciones por día: mediodía solar, 2 y 4 horas antes y después del medio día solar. Cada 20 minutos se realizó una medición de radiación incidente (PAR_0) en un sector no sombreado del huerto. La interceptación fue la diferencia entre radiación incidente (PAR_0) y la medida bajo los árboles (radiación no interceptada; PAR_{ni}). Para obtener la fracción de radiación interceptada por el árbol (PAR_f), se utilizó la siguiente ecuación:

$$PAR_f = \frac{PAR_0 - PAR_{ni}}{PAR_0} \quad (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$$

El valor de PAR_f diaria se estimó como el promedio de las cinco mediciones realizadas.

Crecimiento del fruto: En el huerto en producción, en los 6 árboles utilizados para el seguimiento biométrico, se marcaron cuatro frutos en cuatro exposiciones (norte, sur, este y oeste; con un total de 16 frutos por árbol), donde se siguió, mensualmente, la evolución del diámetro ecuatorial (df) desde cuajado a cosecha. En cada fecha de medición del diámetro del fruto se seleccionaron 20 frutos al azar de árboles representativo fuera del ensayo. En cada uno de ellos se midió su df y se determinó su peso fresco (PFf) y seco (PSf). El peso fresco se determinó con una balanza analítica y el peso seco se obtuvo después del secado en una estufa con circulación forzada de aire, a una temperatura de 65° C hasta peso constante. Luego se realizó una regresión

lineal para relacionar PFf y PSf con el volumen (V) de una esfera correspondiente al respectivo fruto, según la siguiente ecuación:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{df}{2} \right)^3 \quad (\text{cm}^3)$$

Coefficientes de reparto (CR)

Una vez determinada la biomasa por alometría de los distintos órganos, se relacionó con la biomasa total en un determinado período. Esto permitió obtener la variación de los coeficientes de reparto a lo largo de la temporada, en los estados fenológicos determinados para este estudio según la siguiente ecuación:

$$CR_i = \frac{\delta MS_i / \delta t}{\delta MS_T / \delta t}$$

Donde CR_i es el coeficiente de reparto del órgano "i", δMS_i es la diferencia de materia seca del órgano "i", δMS_T es la diferencia de materia seca de toda la planta en el período de tiempo δt .

Índice de área foliar (IAF)

Para la determinación de IAF real de los árboles por extracción en ambos huertos, se utilizó un método directo sacando al azar 5 submuestras de 5 gramos de follaje por planta en cada periodo de extracción de plantas completas, mencionadas en el Cuadro 2.2. Estas fueron llevadas al laboratorio en donde se determinó el peso fresco, área foliar utilizando un medidor de área foliar Li-Cor (modelo LI-3000), y peso seco (mediante el secado de las hojas a estufa a 65° C hasta peso constante). Dividiendo el

área foliar de la muestra por su peso seco se estimó el área foliar específica AFE de la planta. Luego se multiplicó el AFE por el peso seco de la totalidad de las hojas de cada planta para estimar su área foliar (AF). El IAF se calculó dividiendo el AF por el área de suelo ocupado por cada planta que, en ambos huertos, correspondió a 12 m².

Luego se relacionó el IAF real de los árboles de extracción con su interceptación de la radiación solar (PAR_f), para estimar el IAF de los 6 árboles de monitoreo mensual de ambos huertos en base a su PAR_f.

Eficiencia del uso de la radiación (EUR)

La radiación interceptada por los árboles en un determinado periodo (PAR_{i periodo}), se determinó relacionando los valores de radiación global del periodo (RG), obtenidos de las estaciones meteorológicas con los porcentajes de interceptación de la radiación solar (PAR_f) estimados por medio del uso del ceptómetro descrito anteriormente según la ecuación:

$$PARi_{periodo} = \frac{\% PAR_f}{100} * RG \quad (MJ \cdot pl^{-1} \cdot d^{-1})$$

La eficiencia del uso de la radiación fue obtenida como una relación lineal entre la producción total de materia seca (MST) y la radiación interceptada por los árboles en un determinado periodo (PAR_i), según la ecuación:

$$EUR = \frac{MST_2 - MST_1}{PARi_2 - PARi_1} \quad (g \cdot MJ^{-1})$$

Análisis estadístico

Previo a someter los datos a un análisis de varianza (ANDEVA), se verificaron los supuestos del mismo sobre los términos del error, utilizando técnicas basadas en los residuos. Para verificar el supuesto de normalidad se utilizó la prueba de Anderson-Darling y para verificar la homogeneidad de varianzas se utilizó la prueba de Bartlett por medio del programa Minitab 15 (Minitab Inc., EE.UU.). Una vez realizado el análisis de varianza, se realizó el análisis de regresión para relacionar la biomasa de los distintos órganos con las distintas mediciones biométricas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de biomasa directa por extracción

En la Figura 2.1 se puede observar que la evolución de biomasa de órganos y estructuras fue casi exponencial en ambos huertos. La mayor acumulación de biomasa total, se observó en el huerto en producción (Figura 2.1.a), a pesar de solo considerar el crecimiento de la temporada, alcanzando en promedio 18 kg en peso seco. El órgano que acumuló la mayor proporción de biomasa total fue el fruto aproximadamente de un 45%, inferior, a lo que se puede observar en plantas extraídas de kiwi var. Hayward de 6 años, donde su biomasa total de la temporada fue de 29,5 kg ($\pm 1,0$) en peso seco y de estos el 49% correspondió a frutos (Boyd *et al.*, 2010). En el huerto joven (Figura 2.1.b), la estructura caulinar es aproximadamente un 50% del total del árbol, reafirmando su importancia en la arquitectura del árbol. Se observa una gran variación en la desviación estándar de las muestras en ambos huertos (Figura 2.1).

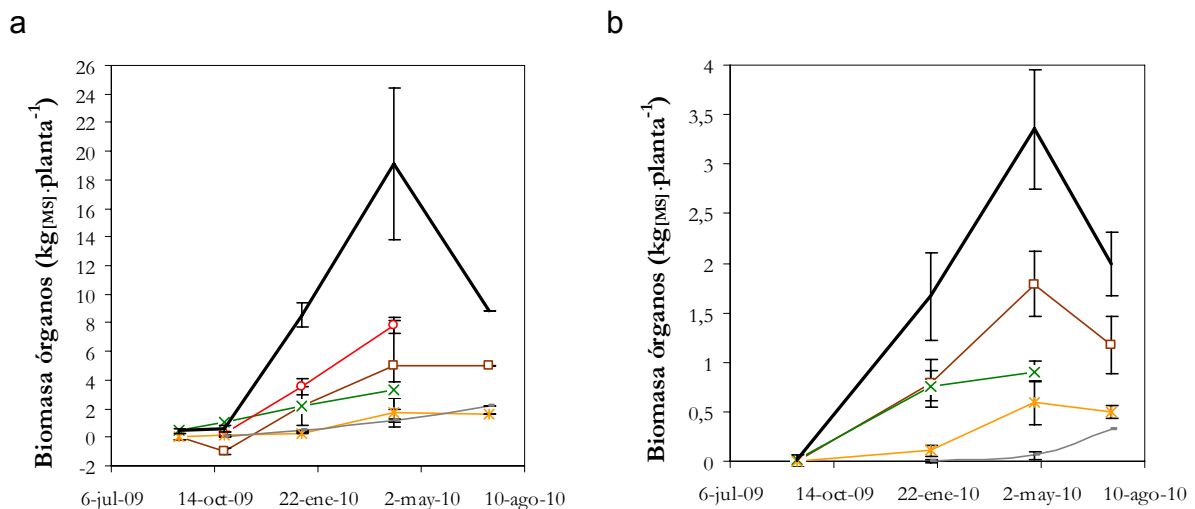


Figura 2.1. Biomasa por extracción de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz (*); Caulinar (□); Hoja (X); Fruto (○); Caídas (-).

En general la biomasa del huerto en producción de granado fue superior al del huerto joven, aproximadamente en un 87% en raíz, 86% en caulinar, 79% e hojas. Esto

representa, que una planta joven de 3 años es aproximadamente un 1/3 de la biomasa total de una planta de granado en producción de 5 años, esto puede ser interesante para establecer las necesidades agrícolas adecuadas para el desarrollo de estos árboles.

Estimación de biomasa indirecta por alometría

En las curvas de biomasa de las plantas extraídas (Figura 2.1), se puede observar que hubo un aumento progresivo de casi todos los órganos y estructuras, menos en caulinar de la segunda extracción experimentando una leve baja en el huerto en producción (Figura 2.1.a). Similar a lo observado en caulinar en la última fecha de extracción del huerto joven (Figura 2.1.b). Esto puede ser explicado por la heterogeneidad de estos árboles en esos periodos de extracción al momento de ser elegidos como unidades muestrales y al bajo número de repeticiones utilizado.

Estas alteraciones justifican la utilización de las relaciones alométricas, considerando 3 aspectos fundamentales: 1.- Es un modelo rápido, económico y predictivo para estimar biomasa aérea y subterránea de árboles de forma indirecta (Ares *et al.*, 2002; Bravo, 2009), 2.- Permite una mayor frecuencia de mediciones y un mayor número de repeticiones, lo que permite reflejar de manera más ajustada el comportamiento del crecimiento y 3.- Evita la destrucción y extracción de un gran número de árboles para la estimación de su desarrollo, por lo cual puede evitar a futuro pérdidas económicas al predio. Esta herramienta fue utilizada para la estimación de biomasa de especies forestales (Acosta-Mireles *et al.*, 2002; Madrigal *et al.*, 2006) y cultivos (Ares *et al.*, 2002). Esto nos permite utilizar esta metodología para el desarrollo de esta investigación.

En el Cuadro 2.4 y 2.5, se detallan las relaciones alométricas obtenidas a partir de la extracción de plantas completas en el huerto en producción y en el huerto joven.

Cuadro 2.4. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en una huerto en producción de granado var. Wonderful.

Huerto en producción				
Variable dependiente	Variable independiente	Alometría	R^{2(a)}	Anderson Darling^(b)
BM ^(c) Raíz (R) (g·pl ⁻¹)	ASTT ^(d) (cm ²)	y = 1067,3+ 52,958 x	0,91	P-valor=0,55
BM ^(c) Estructura Caulinar (EC) (g·pl ⁻¹)	ASTT ^(d) (cm ²)	y=-3147+10704 ln(x)	0,78	P-valor=0,13
BM ^(c) Hoja (H) (g·pl ⁻¹)	PAR _f ^(e) (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	y=0,5704 x ² +39,592x	0,95	P-valor=0,54
BM ^(c) Fruto (Fr) (g·pl ⁻¹)	Volumen esfera (cm ³)	y _(CJ) =1,349+0,1685x	0,46	P-valor=0,41
		y _(CK) =2,984+0,2177x	0,92	P-valor=0,92
		y _(CS) =3,777+0,1756x	0,85	P-valor=0,05
BM ^(c) Caídas (CD) (g·pl ⁻¹)	Tiempo (día)	y= 2,8*10 ⁻⁵ x ² -2,297 x +46034	0,99	P-valor=0,47

^(a): Regresión estadísticamente significativa al 5% (evaluada con el estadístico F).

^(b): Para un nivel de significancia del 1% los errores son normales (p-valor>0,01) n=6.

^(c): BM: Biomasa.

^(d): ASTT: Área de sección transversal de tronco.

^(e): PAR_f: Interceptación de la radiación solar.

Cuadro 2.5. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en un huerto joven de granado var. Wonderful.

Huerto joven				
Variable dependiente	Variable independiente	Alometría	R ^{2(a)}	Anderson Darling ^(b)
BM ^(c) Raíz (R) (g·pl ⁻¹)	ASTT ^(d) (cm ²)	Y=6,3x ² +10,5x+173,4	0,88	P-valor=0,61
BM ^(c) Estructura Caulinar (EC)(g·pl ⁻¹)	ASTT ^(d) (cm ²)	Y=504,95+232,25x	0,91	P-valor=0,82
BM ^(c) Hoja (H) (g·pl ⁻¹)	PAR _f ^(e) (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Y=0,5704 x ² +39,592x	0,95	P-valor=0,54
BM ^(c) Caídas (CD) (g·pl ⁻¹)	Tiempo (día)	y=9,3*10 ⁻⁶ x ² -0,748 x +15018	0,99	P-valor=0,75

^(a): Regresión estadísticamente significativa al 5% (evaluada con el estadístico F). BM: Biomasa.

^(b): Para un nivel de significancia del 1% los errores son normales (p -valor>0,01) n=6.

^(c): BM: Biomasa.

^(d): ASTT: Área de sección transversal de tronco.

^(e): PAR_f: Interceptación de la radiación solar.

En la Figura 2.2, se puede observar la utilidad del uso de alometría para la estimación de biomasa de hojas por medio de la interceptación de la radiación solar (PAR_f), ya que se puede observar claramente en esta gráfica la diferencia entre ambos huertos, obteniéndose en el huerto joven y en producción valores entre un 5 a 25% y 10 a 50% de PAR_f respectivamente, confirmando la importancia de las hojas en el desarrollo productivo de los árboles (Figura 2.2).

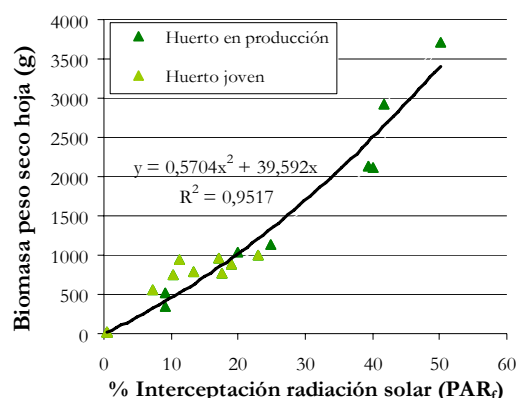


Figura 2.2. Biomasa peso seco de hojas en función de la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR_f) de un huerto en producción y joven.

Además se puede observar que la interceptación aumenta con el transcurso de la temporada, debido al aumento de la biomasa de hojas y, por ende, de la actividad fotosintética del árbol (Taiz y Zeiger, 2002), esto es congruente con el desarrollo de otros frutales de hoja caduca como la vid (Suckel, 2001).

En la Figura 2.2 se puede observar que los árboles del huerto en producción tienen una adecuada interceptación de la radiación por la copa del árbol (40-50% de PAR_f), lo que respalda los buenos rendimientos obtenidos (aproximadamente de $\sim 30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fruta), lo que está por sobre del promedio nacional de $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para árboles de granado de 5 años.

Evolución de biomasa del granado

Como se puede observar en la Figura 2.3, las regresiones alométricas obtenidas de la extracción de plantas completas, se aplicaron en 13 periodos de mediciones biométricas en el huerto en producción y 9 periodos en el huerto joven. A partir de éstos se construyeron curvas de acumulación de biomasa de receso a receso y que para el caso de raíz y caulinar empezaron de cero, debido a que sólo se consideró lo acumulado en la temporada.

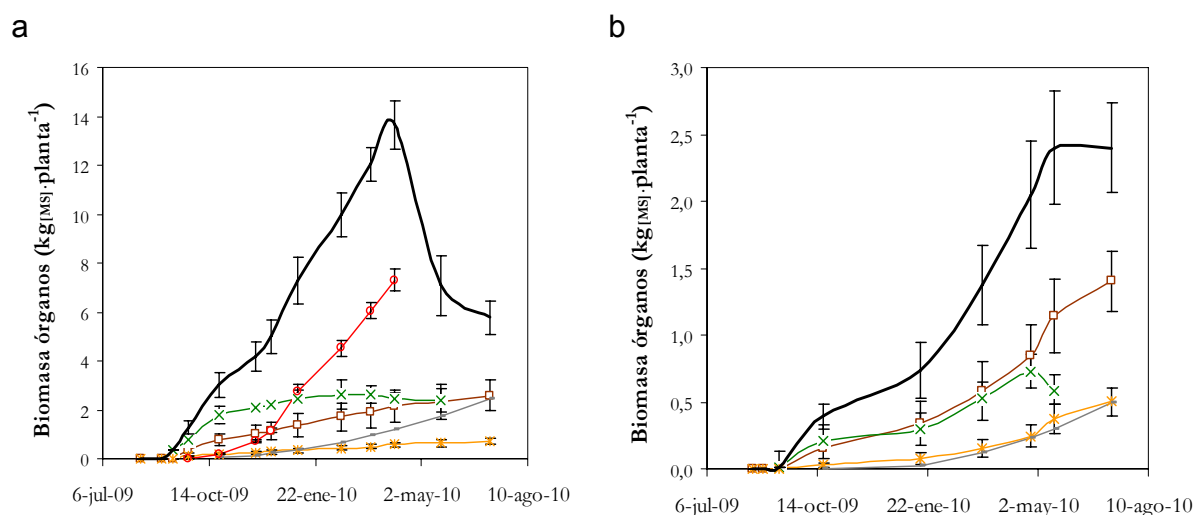


Figura 2.3. Biomasa por alometría de granado var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz (*); Caulinar (□); Hoja (X); Fruto (○); Caídas (-).

En la Figura 2.3, se puede observar un aumento progresivo de biomasa en todos los órganos y estructuras, con una desviación estándar homogénea, sin grandes variaciones, lo que demuestra la confiabilidad de este método.

Tanto en el huerto joven como en el huerto en producción la raíz, caulinar y caídas alcanzaron su máxima acumulación de biomasa cercana a receso y las hojas un mes antes de cosecha. Sólo en el huerto en producción se obtuvieron frutos en cosecha.

La biomasa en peso seco del huerto en producción fue mayor en relación al huerto joven, superior en raíz 86%, caulinar 87%, hoja 77%, caídas 87% y total 87%. Estos porcentajes y gráficas de curvas son muy similares a las obtenidas en las gráficas de extracción de plantas en ambos huertos (Figura 2.1). Ello indica que las relaciones alométricas obtenidas, determinaron con certeza la biomasa en un 91% y 93% en promedio, en árboles en producción y jóvenes respectivamente. La acumulación de biomasa anual en peso seco en el huerto en producción con una cosecha $\sim 30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, fue de $11,5 \text{ t}_{[\text{MSJ}]} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, valor similar a una vid de mesa con una cosecha de $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ que acumula $12,5 \text{ t}_{[\text{MSJ}]} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y ligeramente inferior a un huerto de manzano rojo con una cosecha de $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ que acumula $14 \text{ t}_{[\text{MSJ}]} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (Silva y Rodríguez, 1995). En el huerto joven sin fruta, la acumulación anual de biomasa fue de $2 \text{ t}_{[\text{MSJ}]} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, superior a lo reportado para árboles de 1 año de cerezas var. Bing sobre portainjerto Gisela^{®6} con acumulación de $0,8 \text{ t}_{[\text{MSJ}]} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (Bonomelli *et al.*, 2010). Debido a la alta confiabilidad de esta metodología, se decidió utilizar la biomasa obtenidas de las relaciones alométricas para determinar la evolución de biomasa en sus distintos aspectos, lo que serán aplicados en este Capítulo como en el Capítulo III, para establecer la evolución de biomasa y los requerimientos nutricionales de estas plantas.

Tasa de crecimiento del granado

En ambos huertos la tasa de crecimiento de la raíz y la estructura caulinar presentaron un comportamiento bimodal, con un máximo en brotación (septiembre) y otro a inicios de receso (abril) lo que fue más marcado en el huerto joven. En el caso del huerto en

producción, el máximo de crecimiento fue en primavera, superior al de otoño, situación que se invierte en el caso del huerto joven (Figura 2.4).

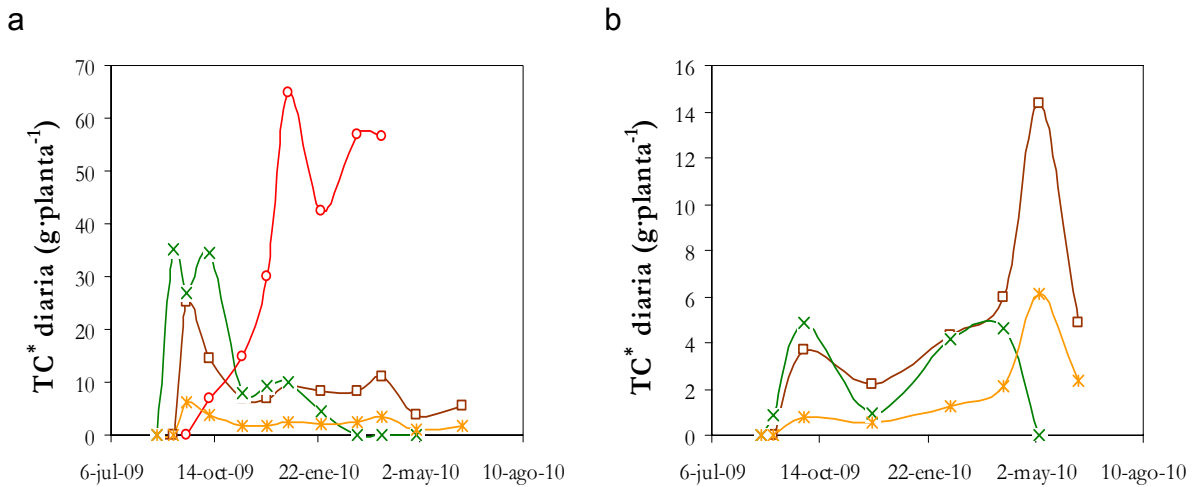


Figura 2.4. Tasa crecimiento biomasa de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz (*); Caulinar (□); Hoja (X); Fruto (O). TC*: Tasa crecimiento del órgano.

En el huerto en producción, las hojas iniciaron un fuerte crecimiento en brotación hasta que aparecen los primeros frutos para luego disminuir hasta receso, los frutos tuvieron un aumento exponencial en su tasa de crecimiento hasta enero, posiblemente debido a la alta división y elongación celular (Figura 2.4.a). En el huerto joven, las hojas presentan 2 periodos de máximo crecimiento: en primavera y en un periodo análogo al de cosecha (Figura 2.4.b).

Como se observa en la Figura 2.4, el crecimiento radical no fue continuo durante todo el año, lo cual depende de la temperatura, la humedad, el oxígeno del suelo y, especialmente, de la competencia con la parte aérea. Similar a lo que ocurre en granados en árboles de carozo cultivados en California, bajo condiciones de clima mediterráneo normal, hubo muy poco crecimiento radical en diciembre y enero (equivalente Hemisferio Sur, junio y julio), a medida que la temperatura comienza a elevarse en febrero (Hemisferio Sur, agosto) las raíces comienzan a crecer, aumentando la tasa de crecimiento en relación al número de raíces nuevas, hasta tres a cuatro semanas, antes de la floración, ya que después aumenta rápidamente el crecimiento de hojas y los frutos, disminuyendo el crecimiento de las raíces al acelerarse el crecimiento de la parte aérea (Silva y Rodríguez, 1995). El reducido

crecimiento radicular parece ser un efecto competitivo, debido a que los asimilados fotosintéticos son retenidos en la parte aérea y utilizados en el crecimiento apical y lateral de los brotes, hojas y del fruto. Después que el crecimiento de los brotes se paraliza y disminuye el de los frutos, se produce un renovado ciclo de crecimiento de las raíces. En general, el término del nuevo ciclo se produce cercano al periodo de caída de hojas (Silva y Rodríguez, 1995), similar a lo que se observa en Kiwi var. Hort16A (Boyd *et al.*, 2010) y en árboles de granados en producción y joven (Figura 2.4).

Crecimiento de fruto

Se puede observar que el fruto mostró, un fuerte crecimiento, en una primera etapa, posiblemente por el inicio de división celular, desde floración hasta aproximadamente 60 DDPF (noviembre) donde alcanzó aproximadamente 4 cm equivalente a 26 cm³ (Figura 2.5.a), con un índice de humedad de un 76,5%(Figura 2.5.b).

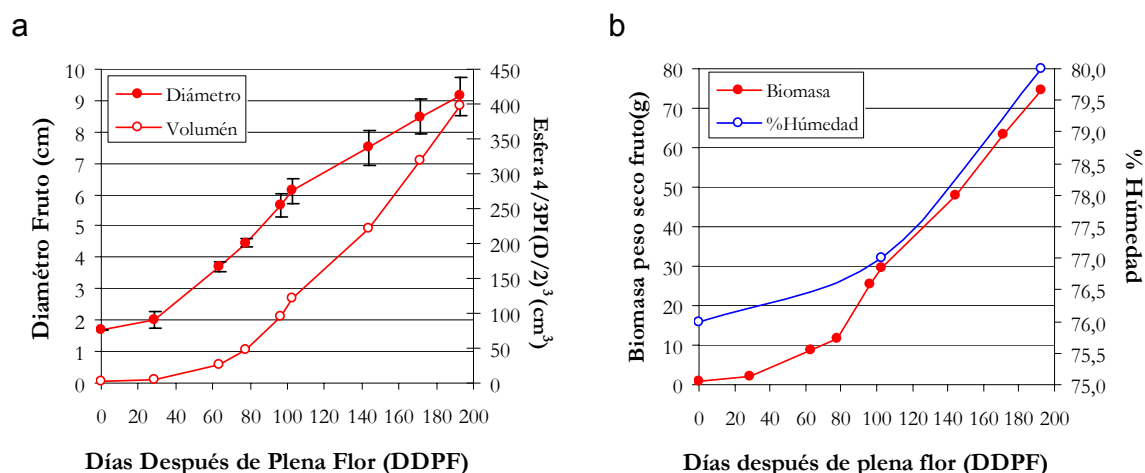


Figura 2.5. Crecimiento de fruto en un huerto en producción de granados var. Wonderful. (a) Diámetro fruto (b) Biomasa peso seco fruto (●).

En una segunda etapa, desde los 60 hasta 100 DDPF (enero), se observó una mayor pendiente asociado a un rápido crecimiento de fruto, posiblemente a un aumento en la elongación celular (Taiz y Zeiger, 2002), alcanzando 6 cm, con 120 cm³, la humedad aumentó a 77%, lo que puede ser explicado presumiblemente por la mayor entrada de agua a las células (Taiz y Zeiger, 2002). En la tercera etapa, se observó una menor

pendiente, lo cual podría estar asociado a una menor tasa de elongación celular, alcanzando en cosecha en abril (193 DDPF), un diámetro máximo aproximado de 10 cm con un 80% de humedad. Según Mirdehghan y Rahemi (2007), el peso seco de corteza y arilos en granados cv. Malas Yazdi, se incrementó regularmente durante la estación hasta 57,36 g en septiembre (equivalente a marzo en el hemisferio sur), estos valores inferiores, podrían atribuirse a que Malas Yazdi es una variedad precoz en relación a Wonderful que es una variedad tardía, de cosecha en abril (Figura 2.5.b). Otra explicación podría estar en el mayor número de frutos en el árbol o la edad de árbol (13 años). En relación al diámetro de fruto, según Gözlekçi y Kaynak (1998) y Abd Elrhman (2010), después de los 2 primeros meses hubo un rápido incremento del crecimiento del diámetro de los frutos de granado hasta Junio (equivalente a diciembre en el Hemisferio Sur), luego se estabilizó el crecimiento hasta cosecha, la curva de crecimiento según estos autores es una sigmoidea. Esto no es congruente con lo obtenido en nuestro estudio (Figura 2.5.a), ya que el fruto siguió creciendo hasta cosecha, siguiendo una modalidad de crecimiento de doble sigmoidea atenuada. El coeficiente de materia seca del fruto fue de 0,20 a cosecha, levemente superior a los otros frutos como el durazno 0,18 y la manzana 0,16 (Silva y Rodríguez, 1995), posiblemente por la presencia de la cáscara y el tegumento del arilo que tiene un bajo contenido de humedad.

Coeficiente de reparto (CR)

Se puede apreciar que en el huerto en producción a lo largo de su desarrollo fenológico, hubo un estancamiento en el coeficiente de reparto de raíz y caulinar aproximadamente hasta los 200 días después de brotación (DDB), lo que puede ser explicado por el efecto de fuente-sumidero, priorizando el desarrollo de hojas y frutos (Figura 2.6.a). En cambio, el huerto joven distribuyó esencialmente los asimilados al desarrollo de raíz, caulinar y hojas, lo que es lógico considerando que en los primeros años del establecimiento de huerto, los árboles concentran toda su energía al desarrollo de una estable y sólida arquitectura del árbol, para en un futuro poder sostener a sus primeros frutos (Figura 2.6.b); además se puede observar, en ambos huertos, el aumento progresivo de las caídas o hojas senescentes hasta receso.

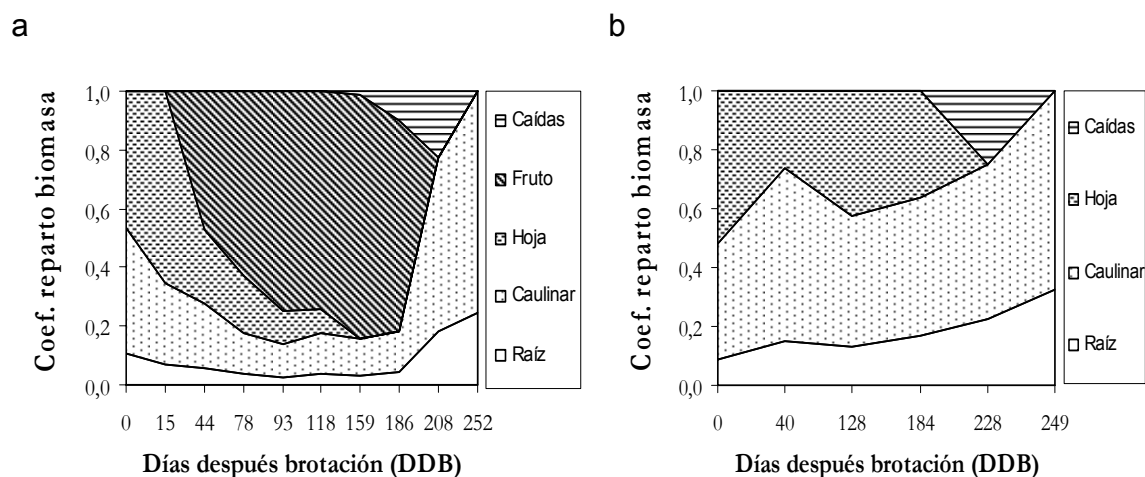


Figura 2.6. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Una vez finalizado el crecimiento anual, se pudo observar que los árboles jóvenes priorizaron el desarrollo de la estructuras permanentes (tronco, ramas, raíz), mientras que en los árboles en producción hubo un mayor reparto hacia los frutos cercano al 55% (Figura 2.6.a), similar a lo que indicado por Silva y Rodríguez (1995) en manzanos rojo estándar (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Coeficiente de reparto biomasa en seis especies frutales.

Coeficiente de reparto Biomasa	Raíz	Caulinar	Hoja	Fruto
Granado (30 t·ha⁻¹)	0,06	0,19	0,20	0,55
Durazno ² (30 t·ha ⁻¹)	0,05	0,36	0,23	0,36
Vid ² (25 t·ha ⁻¹)	0,05	0,40	0,16	0,39
Manzano rojo est ² (60 t·ha ⁻¹)	0,05	0,26	0,17	0,52
Kiwi ³ (30 t·ha ⁻¹)	0,09	0,29	0,24	0,38
Cerezo ¹ (20 t·ha ⁻¹)	0,04	0,47	0,16	0,33
Granado sin fruto	0,19	0,53	0,28	-

Fuente: ¹Baghdadi y Sadowski (1998) ²Silva y Rodríguez (1995),Caulinar:E. permanente y brote. ³Smith *et al.*, (1988).

Comparando el coeficiente de reparto de biomasa entre especies, se pudo observar que son similares en raíz y hoja, pero con claras diferencias entre caulinar y frutos, esto

debido posiblemente a las distintas intensidades de poda lo que puede afectar el mayor o menor crecimiento caulinar, lo que se manifestó en el desarrollo de los frutos o simplemente evidencia un desequilibrio entre el desarrollo de frutos y madera (Cuadro 2.6).

Índice de área foliar (IAF)

Se pudo apreciar diferencias de forma visual y por mediciones, en el peso específico de hojas en el huerto en producción Paihuano de pre-cordillera ($99,11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), que fue superior al del huerto joven Rosario de influencia costera ($88,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$). Esta superioridad en el huerto en producción puede ser explicado posiblemente por un mecanismo de defensa del árbol al estrés climático por alta radiación o temperatura, lo que se ve reflejado en la anatomía de sus hojas siendo más gruesas y pequeñas que lo observado en Rosario. Esto habría favorecido un aumento en la actividad fotosintética de las plantas y mayor acumulación de fotoasimilados en las hojas, similar a lo observado por Raffo *et al.* (2006) en manzanos. Por el contrario, las hojas que se desarrollaron en sombra pueden presentar una mayor superficie, más finas y con menor fotosíntesis, similar a lo observado por Faust (1989) en manzanos.

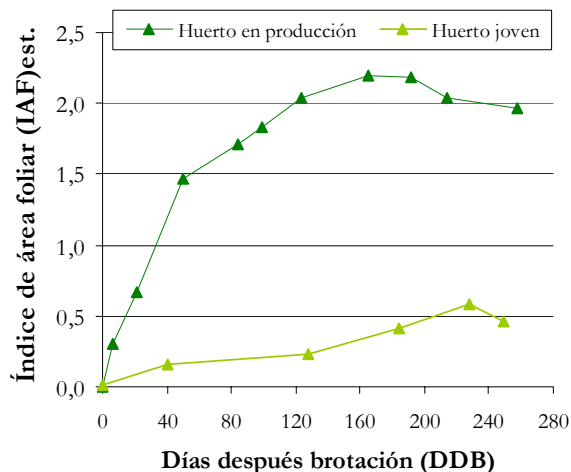


Figura 2.7. Evolución del índice de área foliar estimado en un huerto en producción y en un huerto joven de granados var. Wonderful.

De la evolución del índice de área foliar desde brotación hasta un mes después de la cosecha, se puede observar que el máximo IAF estimado fue de 2,2 en el huerto en producción, equivalente a 2,7 kg de hoja por planta en peso seco y en el huerto joven un IAF máximo de 0,6 equivalente a 0,7 kg de hoja por planta (Figura 2.7). Los valores de IAF obtenidos por los granados en producción son inferiores a lo observado en durazneros maduros var. Thirynthos con sistema de conducción en Y ($1.111 \text{ pl}\cdot\text{ha}^{-1}$) con un IAF de 4,6 y en otro duraznero de la misma variedad pero con sistema de conducción en V ($400 \text{ pl}\cdot\text{ha}^{-1}$) el cual tuvo un IAF de 2,4 (Dichio *et al.*, 1999). Esta diferencia puede ser atribuida al área de hoja y las distintas condiciones de desarrollo de ambos frutales. A pesar que hay diferencias en los valores de IAF, la curva de evolución de IAF obtenida por Dichio *et al.* (1999) en durazneros, fue bastante similar a lo observado en granados.

Eficiencia del uso de la radiación (EUR)

Se puede observar que tanto en el huerto en producción como en el huerto joven, hubo una alta EUR al inicio de la temporada (brotación), probablemente debido a la utilización de las reservas acumuladas en la temporada anterior (Figura 2.8)

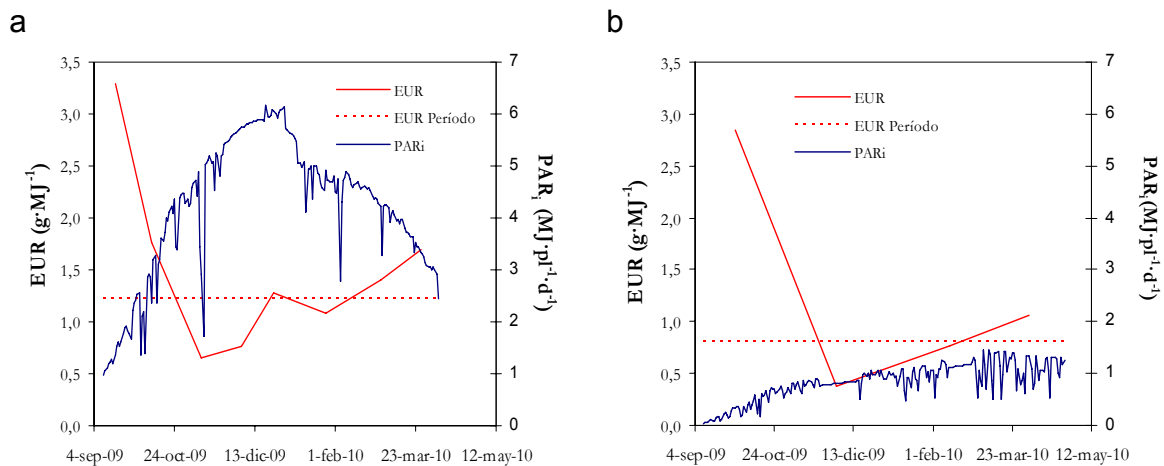


Figura 2.8. Eficiencia en uso de la radiación de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Los valores de EUR son 3,2 y 2,8 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ al inicio de brotación en ambos huertos, para luego a finales de cuaja (noviembre) bajar a 0,7 y 0,37 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$, y en cosecha subir a 1,7 y 1,1, respectivamente en ambos huertos (Figura 2.8). Debido a que los valores de EUR de inicios de temporada están sobreestimados por sustentarse en asimilados almacenados de la temporada anterior, además de los provenientes de la fotosíntesis, la EUR promedio se calculó sin considerar estos valores iniciales. En el huerto en producción se obtuvo en promedio un EUR de 1,22 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ y 0,8 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ en el huerto joven. Estos valores demuestran las reales eficiencias de finales de brotación a cosecha en ambos huertos (Figura 2.8). Connor y Fereres (2005), en olivos, otro cultivo de zona semiárida, obtuvieron un EUR de 1,31 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$, valor similar a lo obtenido en el huerto en producción de granado. La menor EUR en el huerto joven puede deberse a la menor actividad sumidero al no tener frutos o posiblemente a un estrés hídrico a mediados de temporada o bien a la influencia costera con frecuentes días nublados lo que haría disminuir la disponibilidad de PAR_i , que explique el bajísimo EUR y el menor desarrollo vegetativo durante el verano. Para otras especies cultivadas Jones (1992) determinó valores de EUR cercanos a 1,4 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ en especies de metabolismo C_3 como manzanas, trigo y papa.

CONCLUSIONES

Los árboles en producción de granados producen una gran cantidad de biomasa, a pesar de su naturaleza arbustiva.

La alometría estima con alto grado de certeza, la biomasa de árboles de granado.

Los árboles en producción distribuyen los asimilados fotosintéticos esencialmente al desarrollo de los frutos, en cambio los árboles jóvenes los destinan al crecimiento de raíces y estructuras permanentes.

La tasa de crecimiento de la raíz y la estructura caulinar presenta dos máximos: en brotación (septiembre) y a inicios de receso (abril).

La tasa de crecimiento de las hojas en un huerto en producción, sólo presenta un máximo de crecimiento en brotación, en cambio un huerto joven tiene dos máximos de crecimiento en brotación y en un periodo análogo al de cosecha.

La tasa de crecimiento de los frutos presenta un momento máximo en enero.

La evolución en el crecimiento de los frutos de granado sigue un patrón de doble sigmoidea atenuada.

Un huerto en producción presenta una alta eficiencia del uso de la radiación, al contrario de lo que sucede en uno joven.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Elrhman, I.E. 2010. Physiological studies on cracking phenomena of pomegranates. *Journal of Applied Sciences Research* 6(6): 696-703.

Acosta-Mireles, M., J. Vargas, A. Velásquez and J. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Revista Agrociencia* 36: 725-736.

Ares, A., J. Boniche, J.P. Quesada, R. Yost, E. Molina and T. Smyth. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrientes y carbono en plantaciones de palmitos en Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense* 26: 19-30.

Baghadadi, M. and A. Sadowski. 1998. Estimation of nutrient requirements of sour cherry. *Acta Horticulturae* 468: 515-521.

Bonomelli, C., H. Gilabert and M. Ayala. 2010. Nitrogen uptake, growth and biomass accumulation in first growing season of cherry trees on Gisela® 6. *Acta Horticulturae* 868: 177-184.

Boyd, L., A. Barnett, C. Civolani and E. Fini. 2010. Whole plant excavations to determine nutritional requirements in Hort16A kiwifruit vines. *Acta Horticulturae* 868: 171-176.

Bravo, C. 2009. Estimación de la biomasa aérea y subterránea de especies leñosas de la zona árida mediterránea de Chile a través de funciones alométricas. Memoria Ingeniero Recursos Naturales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 48p.

CIREN, Centro de información de recursos naturales, Chile. 1990. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones IV a IX. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Santiago, Chile. 67 p.

Connor, D. and E. Fereres. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in Olive. *Horticultural Review* 31: 155-228.

Cortés, H. 2003. Mediciones de índice área foliar por medio de interceptación de radiación solar. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 41p.

Dichio, B., G. Celano, G. Montanaro, V. Nuzzo, C. Xiloyannis and I. Giandomenico. 1999. Leaf area evolution, Light interception, yield and quality of fruits in apricot trees (cv. Tiryntos) trained to transverse Y and vase. *Acta Horticulturae* 488: 527-532.

Escobar, J. 2008. Efecto de La carga frutal sobre el crecimiento vegetativo, productividad y tamaño de fruto en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) var friar. Tesis Magíster, en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 56p.

Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. Ed. John Wiley & Sons. New York, EE.UU. 338p.

Gözlekçi, S. and L. Kaynak. 1998. Physical and chemical change during fruit development and flowering in pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivar Hicaznar grown in Antaya región. pp 79-85. In: Ed. Pablo Melgarejo. I Simposio Internacional sobre el Granado. Orihuela, España 15-17 de octubre, 1998. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.

Jones, H. 1992. Plants and microclimate. 2nd Ed. Cambridge University Press. New York, EEUU. 428p.

Madrigal, J., C. Hernando, M. Guijarro, C. Díez and E. Jiménez. 2006. Distribución de biomasa y fijación de carbono tras clareos mecanizados intensos en regenerado post-incendio de *pinus pinaster* ait. *Investigación Agraria: Sist Recur For* 15(2): 231-242.

Mirdehghan, S. and M. Rahemi. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 111: 120-127.

Novel, P.S. 1999. *Physicochemical and environmental plant physiology*, Ed. Academic Press. San Diego, EE.UU. 474p.

Raffo, M., R. Rodríguez y A. Rodríguez. 2006. Distribución lumínica en diferentes combinaciones portainjerto/variedad en manzana cv. Mundial Gala y su efecto sobre la calidad de la fruta y parámetros vegetativos. *Revista Investigación Agrícola* 35 (2): 53-69.

Razeto, B. 2003. Época de fertilización nitrogenada en frutales de hoja caduca. *Revista Aconex (Chile)*, 78: 11-14.

Silva, H. y J. Rodríguez, 1995. *Fertilización de plantas frutales*. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 519 p.

Smith, G., C. Clark and J. Buwalda. 1988. Nutrients dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37: 87-109.

Suckel, F. 2001. Calibración de métodos no destructivos de estimación de área foliar en vid variedad Thompson Seedless. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 53p.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. Ed. Sinauer Associates. Massachussets. EE.UU. 623 p.

Weinbaum, S., P. Brown, R. Rosecrance, G. Pichioni, F. Niederholzer, F. Youseffi and T. Muraoka. 2001. Necessity for whole tree excavation in determinig patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. *Acta Horticulturae* 564: 41-47.

Wilhelm, W., K. Ruwe and M. Schilemmer. 2000. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science* 40: 1179-1183.

CAPÍTULO III

EXTRACCIÓN ESTACIONAL DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO POR LOS DISTINTOS ÓRGANOS EN PLANTAS DE GRANADO Var. WONDERFUL

Resumen

El granado es un frutal de zonas áridas con reconocidas propiedades nutricionales y funcionales, pero con escasa información sobre su fertilización. Considerando lo relevante que es este aspecto y la limitada información disponible en Chile, se ha propiciado determinar los requerimientos nutricionales de granados var. Wonderful, jóvenes y en plena producción. Para ello, se utilizaron las relaciones alométricas obtenidas en el Capítulo II y las concentraciones de macronutrientes que se obtuvieron de muestras de raíz, estructura caulinar (tronco y brotes), hoja, fruto y caídas, provenientes de la extracción de plantas completas, realizadas en ambos huertos en el periodo de brotación, cuaja, crecimiento intermedio, cosecha y receso. Los resultados obtenidos indican que el potasio es el principal elemento extraído por los frutos en el huerto en producción. El nitrógeno y el fósforo se dirigieron principalmente a los frutos, hojas y tallos. El calcio y el magnesio se acumularon en las hojas y en tallos. En cambio, en el huerto joven, todos los macronutrientes se destinaron al desarrollo de órganos vegetativos. En su totalidad, el calcio, es uno de los elementos que está en mayor cantidad en ambos huertos. La acumulación total de nutrientes N, P, K, Ca y Mg en el huerto en producción, que produjo $\sim 30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de fruta, fue 165, 19, 107, 171 y 11 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y en el huerto joven, sin fruta, fue de 22, 3, 10, 19 y 2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente. En ambos huertos las épocas de máxima extracción de N, P y K, fueron crecimiento medio y postcosecha. En cambio, las épocas de máxima extracción de Ca y Mg fueron brotación y postcosecha. La reincorporación al suelo de las hojas caídas significó un 10% de ahorro en todos los elementos. El contenido de clorofila en las hojas, estimado con un equipo SPAD (CCM 200), no se relacionó con la concentración de N en las mismas.

Palabras clave: Coeficiente de reparto, demanda, época de aplicación, nutrición mineral, *Punica granatum*.

SEASONAL EXTRACTION OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM BY THE ORGANS OF POMEGRANATE Var. WONDERFUL

Summary

The pomegranate is an arid zone fruit tree with known nutritional and functional properties, yet little information on its fertilization requirements is available. Therefore, the present objective was to determine the nutritional requirements of young and in fully-producing pomegranates var. Wonderful. In order to do so, we used the allometric relationships obtained in Chapter II and the concentration of macronutrients samples obtained from roots, caulinar structure (trunk and twigs), leaves, fruits and litter samples obtained from uprooted plants, carried out in both orchards in the periods of bud break, fruit set, intermediate fruit growth, harvest and winter dormancy. The results indicate that potassium was the main element extracted by the fruits in the fruit-bearing trees. Nitrogen and phosphorus was directed mainly to the fruit, leaves and stems. Calcium and magnesium were accumulated in the leaves and stems. In the case of the young orchard, all macronutrients were devoted to the vegetative organs. All results taken together, calcium was the most extracted element in both orchards. The total accumulation of N, P, K, Ca and Mg, was, respectively, 165, 19, 107, 171 and 11 kg·ha⁻¹ in the fully-producing orchard, which yielded ~30 t·ha⁻¹, and 22, 3, 10, 19 and 2 kg·ha⁻¹ in the young fruitless orchard. In both orchards the periods of maximum extraction of N, P and K were intermediate fruit growth and post-harvest. On the other hand, the periods of maximum extraction of Ca and Mg were sprouting and post-harvest. The recycling of litter, was estimated to account for 10% of the seasonal nutrient requirements. The chlorophyll content in leaves, estimated with a SPAD (CCM 200), showed no correlation to their N concentration.

Keywords: Partitioning coefficient, demand, time of application, mineral nutrition, *Punica granatum*.

INTRODUCCIÓN

Los macronutrientes son fundamentales para el desarrollo de las plantas. Dentro de ellos, el nitrógeno es uno de los elementos más importantes, debido a que interviene en el crecimiento, forma parte de la clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y enzimas (Marschner, 1995). Otro elemento muy importante es el fósforo, el cual es utilizado en bajas cantidades en comparación con nitrógeno, pero participa en importantes procesos fisiológicos como la transferencia de energía, la regulación de la síntesis y transporte de azúcares y formar parte de proteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos (Navarro y Navarro, 2003). Por otro lado, el potasio, a pesar de que no forma parte de compuestos bioquímicos, es el principal catión para neutralizar los ácidos orgánicos que se forman en la fotosíntesis, manteniendo el pH estable. Además, el potasio interviene en la economía hídrica, regulando la presión osmótica, con la apertura y cierre de estomas, lo que hace disminuir la transpiración, aspecto importante en frutales de zonas áridas, ya que contribuye a la mantención de la turgencia celular (Marschner, 1995). El calcio es un importante agente cementante en la pared celular, fundamental para la calidad del fruto (Marschner, 1995), por lo cual su incremento aumenta la resistencia al daño del almacenaje en frío (Sayyari *et al.*, 2010). Además, al igual que el potasio, permite un balance entre iones y ácidos orgánicos manteniendo en equilibrio el pH, contribuye a la absorción de nitrógeno, actúa sobre la traslocación hidratos de carbono y en el crecimiento de las raíces (Navarro y Navarro, 2003). Finalmente, el magnesio es un importante activador de varias enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas, contribuyendo a la turgencia celular, regulación de pH, balance iónico y es promotor de la absorción de fósforo (Marschner, 1995).

Un uso excesivo o insuficiente de alguno de estos elementos, puede causar problemas fisiológicos en el crecimiento (Razeto, 2006), para evitar esta situación se realiza la fertilización. La fertilización en frutales es uno de los factores importantes para el crecimiento y desarrollo de los árboles, debido a la necesidad de reponer los nutrientes que son extraídos durante su ciclo fenológico, por lo cual hay una tendencia a la aplicación de fertilizantes pero de forma equilibrada para evitar el alto costo del insumo y la

contaminación por uso excesivo. Para ello, es necesario establecer dosis de fertilizantes según un balance nutricional (Silva y Rodríguez, 1995), en el cual se consideran las entradas al sistema como la fertilizantes, reciclaje de los residuos vegetales incorporados, aportes del agua de riego y de otras fuentes exógenas, y las salidas del sistema que son, esencialmente, la exportación de los elementos por los frutos (cosecha), exportación del material de poda, lixiviación, volatilización y fijación de la nueva biomasa por el crecimiento de estructuras permanentes (Silva y Rodríguez, 1995).

La dosis de fertilización está determinada por la demanda de cada estado fenológico, la que considera la acumulación que realizan las raíces, tallos, hojas y frutos (Silva y Rodríguez, 1995). Además, hay otras dos variables que condicionan la demanda de fertilizantes: el suministro neto de nutrientes del suelo y la eficiencia de fertilización, que puede variar según inmovilizaciones, lixiviación, volatilización, humedad, competencia de malezas, desarrollo radicular y limitaciones físicas de suelo. Al establecer la sumatoria de las acumulaciones de todas las estructuras, según los cambios de estado fenológico y restando lo que se removiliza a las estructuras permanentes, como raíces y tallos en receso, se puede determinar la dosis o cantidad de fertilizante que debe ser aplicada para suplementar las exportaciones del huerto.

Otro factor importante es la eficiencia en la fertilización, que aumenta cuando la disponibilidad de nutrientes del suelo coincide con la mayor demanda de la planta (Boyd *et al.*, 2010). Es por esta razón que se determinan las épocas de fertilización, las cuales son reflejadas en las curvas de extracción según el estado fenológico de las plantas, permitiendo hacer las fertilizaciones en el momento adecuado (Razeto, 2006).

Según Boyd *et al.* (2010), la determinación de la contribución de las reservas de la planta son difíciles de determinar en plantas maduras, por lo cual, al igual que Weinbaum *et al.* (2001), Razeto (2006) y Bonomelli *et al.* (2010), propone la extracción de plantas completas, como el método más adecuado para la determinar la magnitud y los patrones de acumulación de nutrientes en árboles frutales por órgano.

Por otro lado, existen equipos que permiten monitorear la evolución nutricional integral de la planta, sin alterar su desarrollo, por ejemplo el equipo CCM 200 (Opti-Sciences), que determina el contenido relativo de clorofila por medio de la transmitancia de la hoja en longitud de onda (660 nm y 940 nm) y esto lo asocia al contenido de N en la hoja (Richardson *et al.*, 2002). Sin embargo, estos equipos de medición portátil todavía están en prueba para frutales.

Finalmente, si bien hay algunas experiencias en la determinación de la acumulación y época de aplicación de fertilizantes en algunos frutales, en granados hay una escasa información a nivel mundial. Considerando lo relevante que es la fertilización y la escasa información disponible en Chile, se ha propiciado investigar en estos aspectos.

Hipótesis

El granado es una planta de baja extracción de N, P, K, Ca y Mg.

El principal sumidero de N, P, K, Ca y Mg serían los órganos reproductivos en plantas en producción y los órganos vegetativos en plantas jóvenes.

Objetivos

Estimar la acumulación, extracción y coeficiente de reparto de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio por los órganos vegetativos y reproductivos en plantas jóvenes y en producción de granado var. Wonderful a lo largo de la temporada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo durante la temporada 2009-2010, utilizando las muestras de los órganos de granado y las relaciones alométricas obtenidos de las plantas jóvenes de 3 años de la agrícola Carmín del Elqui y plantas en producción de 5 años de la agrícola H&C descritos en el Capítulo II, con esta información se construyeron las diversas curvas de evolución de nutrientes.

Selección de muestras

Se utilizaron las muestras secas de raíz, estructura caulinar, hoja, fruto y caídas, obtenidas de la extracción de plantas completas, en los estados fenológicos (Cuadro 2.2 y Anexo VI) descritos en el Capítulo II. Con la finalidad de reducir el tamaño de las muestras que se enviaron al laboratorio, se seleccionó una muestra compuesta representativa de 1000 g de tejido, en base a la proporción del peso seco, según los componentes que conforman cada órgano o estructura (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Componentes de órganos y estructuras de granado var. Wonderful.

Raiz(R)	Estructura Caulinar (EC)	Hoja (H)	Órganos Reproductivos (OR)	Caídas (CD)
Raiz fina (≤ 2 mm)	Tronco	Hoja	Flores	Hojas
Raiz gruesa (> 2 mm)	Rama madre Rama Ramilla		Frutos	Flores Frutos

Concentración de nutrientes

Las muestras compuestas de cada órgano con dos repeticiones por periodo de extracción en ambos huertos, se enviaron a laboratorio de análisis foliar para el análisis químico. En el laboratorio las muestras fueron molidas previamente en un molinillo de acero y se almacenaron en una desecadora de vidrio. Las técnicas utilizadas para la determinación de los macronutrientes (Sadzawka *et al.*, 2007) fueron las siguientes:

Nitrógeno (N): método de Kjeldahl.

Potasio(K), calcio(Ca) y magnesio(Mg): espectrofotometría de absorción atómica (SpectraAA 220 FS, Varian Inc.).

Fósforo (P): fotolorimetría (6320D, Jenway Inc.).

Las concentraciones de nutrientes (%) para las fechas intermedias, en las que sólo se disponía de valores de biomasa estimados a partir de las plantas de monitoreo continuo, se estimaron por interpolación.

Acumulación de nutrientes

Para la determinación de biomasa de los árboles de seguimiento biométrico, se utilizaron las relaciones alométricas obtenidas de la extracción de árboles del Capítulo II. La acumulación de nutrientes se determinó multiplicando la materia seca de cada órgano (MS) y la concentración de nutrientes de cada órgano (C), para un determinado estado fenológico, como se puede observar en la ecuación:

$$Ac_{ij} = \sum_{t2-t1} C_{ij} MS_i \quad (\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1})$$

Donde C es la concentración del nutriente “j” en el órgano “i”, expresada como fracción del peso seco ($\text{mg}_{[\text{Nutriente}]} / 100 \text{g}_{[\text{MS}]}$) o %. MS es la materia seca (g) de la biomasa del órgano. Para determinar la acumulación de nutrientes por hectárea se utilizó la densidad de plantación de ambos huertos ($833 \text{pl} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Extracción de nutrientes

La extracción de nutrientes se calculó como la diferencia entre los contenidos de nutrientes y la materia seca obtenidos entre los diferentes periodos de muestreo dividido por la diferencia de tiempo entre dos fechas ($t_2 - t_1$). Así, para un órgano dado "i" su extracción (Ex) de un nutriente dado "j" entre los tiempos t_2 y t_1 , se calculó del siguiente modo:

$$Ex_{ij} = \frac{\Delta C_{ij}}{t_2 - t_1} MS_i / \Delta T \quad (\text{mg} \cdot \text{pl}^{-1} \cdot \text{día}^{-1})$$

Donde C es la concentración del nutriente "j" en el órgano "i" expresada como fracción del peso seco ($\text{mg}_{[\text{Nutriente}]} / 100 \text{ g}_{[\text{MS}]}$) o %. MS es la materia seca (g) de la biomasa de cada órgano y "t" es tiempo.

Todas las curvas de acumulación y de extracción de NPK, Ca y Mg, fueron construidas a partir del crecimiento de la temporada y no considera el desarrollo previo de raíz y caulinar.

Coefficientes de reparto (CR)

Para la determinación de los CR, se utilizaron los datos que se obtuvieron de la acumulación de nutrientes en los distintos órganos en relación al total en un determinado periodo. Esto permitió obtener la variación de los coeficientes de reparto a los largo de la temporada, para todos los estados fenológicos determinados para este estudio. Para este efecto se utilizó la siguiente ecuación:

$$CR_i = \frac{\delta A c_i / \delta t}{\delta A c_T / \delta t}$$

Donde δAc_i es una diferencia entre la acumulación de nutriente de un órgano "i" en un período de tiempo "t" y esto en relación a la acumulación de nutrientes total (δAc_T) en el mismo período.

Medición indirecta de clorofila (CCM)

La medición de concentración de clorofila en las hojas, se realizó antes de la extracción de cada grupo plantas y cada 30 días aproximadamente en los árboles de seguimiento biométrico en ambos huertos, desde brotación a inicios de receso. Para ello, se utilizó el medidor de contenido de clorofila, equipo CCM 200, marca Opti- Sciencies, en hojas en las exposiciones: norte, sur, este y oeste (4), a una altura media alta y media baja (2) y en su parte interna y externa (2), para dar un total de $4 \times 2 \times 2 = 16$ hojas por árbol.

Análisis estadístico

Para la medición de extracción estacional de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, se realizó un análisis descriptivo, basado en gráficos de evolución, lo que reflejó la concentración, acumulación, extracción y coeficiente de reparto de los nutrientes, a lo largo del desarrollo anual del granado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitrógeno

Concentración de nitrógeno (N)

Tanto el huerto en producción como en el huerto joven presentaron una similar concentración de N y evolución a lo largo de la temporada (Figura 3.1).

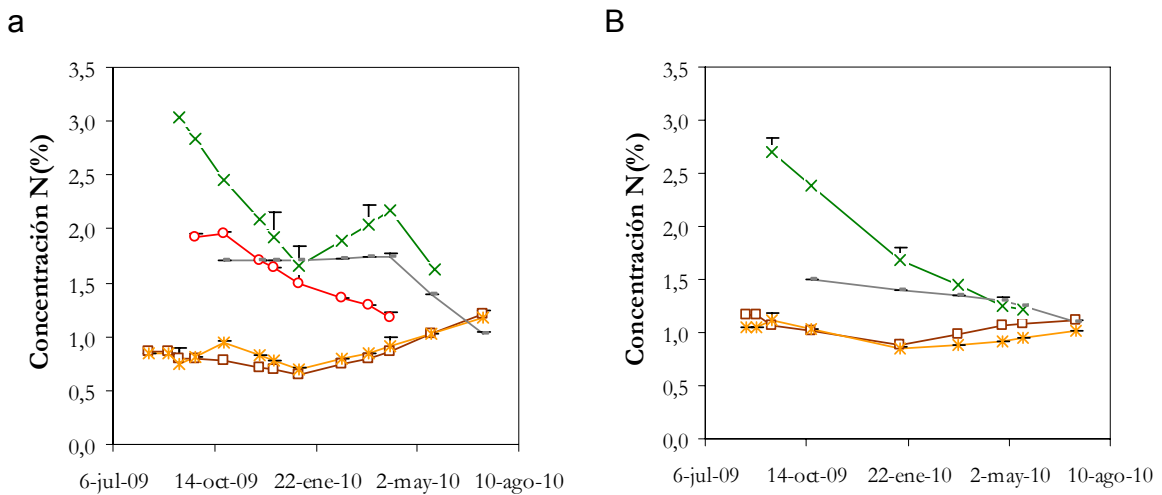


Figura 3.1. Concentración de nitrógeno en granados var. Wonderful durante la temporada.

(a)Huerto en producción, (b)Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En ambos huertos (Figura 3.1), se puede destacar que las hojas presentaron las mayores concentraciones de N, lo que es congruente con el predominio de proteínas con un alto contenido de N por sobre los materiales estructurales y de conducción constituidos por hemicelulosas, celulosas y ligninas de bajo contenido de N (Taiz y Zeiger, 2002) y porque el N forma parte de la molécula de clorofila, con alta concentración en las hojas (Navarro y Navarro, 2003). Al avanzar la temporada se acentuó la disminución en la concentración de N cercano a receso, similar a lo observado por Lema *et al.* (2010) en kiwi. Esto debido posiblemente a la hidrolización de las proteínas a formas solubles para su removilización a los órganos de reserva

(Silva y Rodríguez, 1995). En la estructura caulinar y en las raíz, como lo indica Taiz y Zeiger (2002), predominan los materiales estructurales y de conducción por lo cual se presentan muy similares entre ellos como se puede apreciar en los datos obtenidos en ambos huertos (Figura 3.1), los cuales aumentaron al final de temporada, debido a la removilización de nutrientes especialmente de las hojas hacia ellos y considerando que los sitios de almacenaje del N están en los tejidos leñosos, yemas y raíces, para ser utilizados en la próxima temporada (Taiz y Zeiger, 2002).

Las caídas en ambos huertos corresponden esencialmente a hojas senescentes que finalizaron la temporada con una menor concentración de N debido al proceso de removilización. Según Silva y Rodríguez (1995) la concentración de N en hojas caídas se reduce aproximadamente en un 50%, por lo cual considerando que la mayoría de las especies frutales presentan en sus hojas maduras una concentración de 3-2,5% se debería obtener valores cercanos a 1,5% de concentración en las hojas caídas, similar a lo que se observó en el huerto en producción de granado alcanzando valores en promedio de 3,0% N en hojas de brotación y 1,1% N en hojas caídas (Figura 3.1.a).

En los frutos (Figura 3.1.a), también se produjo una disminución en la concentración de N hacia la cosecha, probablemente debido a la transformación de la clorofila en otros componentes como polifenoles y antocianos, cercano a la madurez como lo indica Mirdehghan y Rahemi (2007). Al comparar el granado en su totalidad con otros frutales, encontramos que presenta concentraciones de N similares a otras especies en raíz, tallos y hojas, pero varía en la concentración en frutos, aunque similar a durazno, claramente superior a manzano rojo (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Concentración N al final de temporada en distintos órganos de cuatro especies frutales.

Espece frutal	Raíz(%N)	Caulinar (%N)	Hojas (%N)	Fruto (%N)
Granado	1,17	1,20	1,61	1,18
Vid ¹	1,00	1,15	1,25	0,70
Durazno ¹	1,00	1,65	1,30	1,13
Manzano rojo estandar ¹	1,00	1,35	1,25	0,28

Fuente: ¹Silva y Rodríguez (1995); Caulinar: Estructura permanente y brote.

Acumulación de N

La acumulación de N por árbol en el huerto en producción fue la siguiente: 20 g en raíz, 65 g en caulinar, 53 g en hoja y 86 g en fruto, 224 g por planta. Para el huerto joven los valores fueron 5 g en raíz, 16 en caulinar y 9 g en hoja con un total de 30 g por planta. Esta diferencia fue esencialmente por la biomasa, ya que las concentraciones en ambos huertos son muy similares. La acumulación por hectárea en todos los elementos se extrapoló para una cantidad de 833 árboles en ambos huertos (Figura 3.2).

Las abruptas caídas y valores negativos que se aprecian en ambos huertos en algunas curvas de acumulación en N, P, K, Ca y Mg, obedecen a una baja concentración del elemento en el tejido. En el caso de hojas a finales de temporada aproximadamente en abril, esta baja se produce por una menor biomasa de hojas debido a la pérdida que se produce cercano a receso (Figura 3.2).

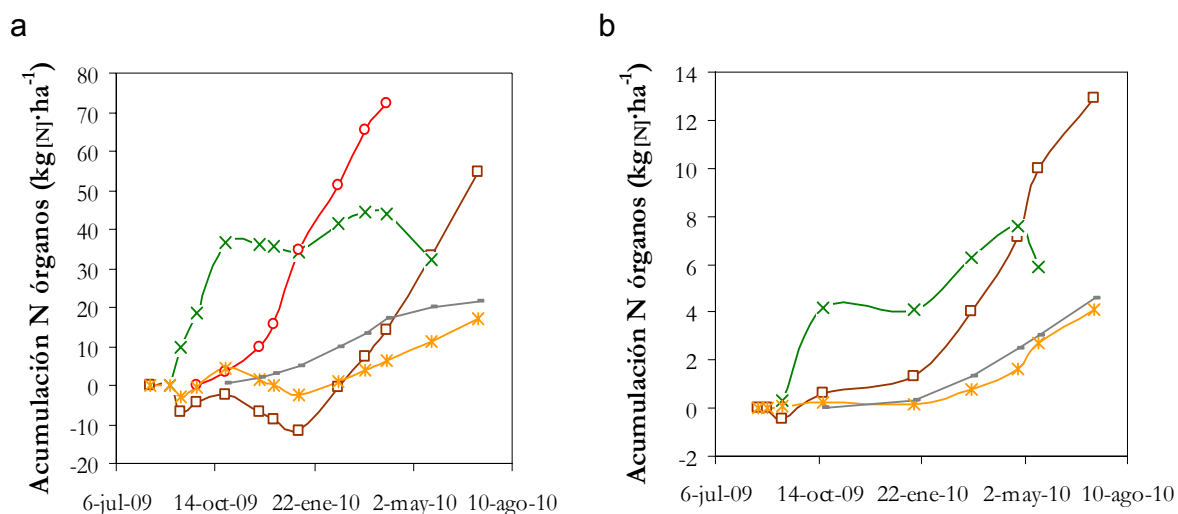


Figura 3.2. Acumulación de nitrógeno en granados var. Wonderful durante la temporada. (a)Huerto en producción, (b)Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

Como se puede observar en el Cuadro 3.3, la acumulación llevada a hectárea, en el huerto en producción fue similar a duraznero y superior a las otras especies, debido posiblemente, a la mayor concentración de N en los distintos órganos en relación a los otros frutales lo que concuerda con lo observado en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.3. Acumulación de N por hectárea al final de la temporada en cuatro especies frutales.

Especie frutal	Raíz (kgN·ha ⁻¹)	Caulinar (kgN·ha ⁻¹)	Hojas (kgN·ha ⁻¹)	Fruto (kgN·ha ⁻¹)	Total
Granado (30 t·ha ⁻¹)	17	55	45	72	189
Vid ¹ (30 t·ha ⁻¹)	7	33	30	40	110
Durazno ¹ (30 t·ha ⁻¹)	7	41	45	61	154
Manzano rojo estandar ¹ (60 t·ha ⁻¹)	9	24	39	27	99
Granado (sin frutos)	4	13	8	0	25

Fuente: ¹Silva y Rodríguez (1995); Caulinar: Estructura permanente y brote.

La aplicación adecuada de fertilizantes nitrogenados favoreció positivamente el desarrollo de la estructura aérea del árbol de granado como se puede observar en el Cuadro 3.3, el huerto en producción alcanzo una cosecha cercana a las 30 t·ha⁻¹, lo que es bastante bueno considerando el promedio nacional para un huerto de 5 años que esta cercano a las 25 t·ha⁻¹. Además se debe tener especial cuidado en no realizar aplicaciones de N tardías, ya que estas pueden afectar la coloración del fruto.

Balance de extracción y removilización de N

Las cifras positivas corresponde a extracción, si disminuye quiere decir que a disminuido su tasa de extracción o que se esta produciendo la traslocación de nutriente de un órgano a otro órgano y los valores negativas indican removilización de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), la curva total corresponde al balance entre estos dos procesos fisiológicos.

Considerando estos aspectos se puede observar que en el huerto en producción (Figura 3.3.a), en la salida de receso hubo una alta removilización de N desde los órganos de reserva hacia las hojas, similar a lo observado por Boyd *et al.* (2010) en Kiwi. Las hojas tienen una fuerte extracción de N hasta octubre, para luego continuar con la removilización a otros órganos hasta enero. Con la cuaja de los primeros frutos se observa una fuerte predominancia en la extracción por sobre los otros órganos y en

marzo se inicia la removilización aproximadamente del 52% de N desde las hojas, a los órganos de reserva (raíz y caulinar).

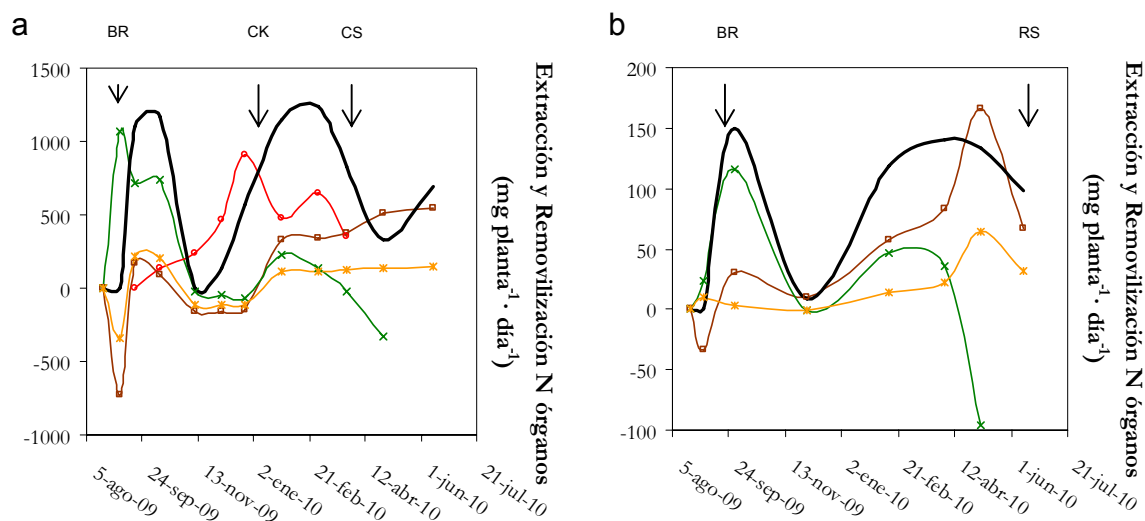


Figura 3.3. Balance de extracción y removilización de nitrógeno en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○). BR: Brotación, CK: Pleno crec., CS: Cosecha, RS: Receso.

A diferencia del huerto en producción, en el huerto joven (Figura 3.3.b), se observa que a la salida de receso hubo una baja removilización de N, desde tallos hacia las hojas, ya que según lo observado en campo, todavía continuaba siendo en su mayoría herbáceo, lo que afectó posiblemente el menor almacenamiento de reservas. Las raíces presentaron una nula removilización, por el contrario extrajeron N, esto debido a lo observado en campo, con una gran proliferación de raíces nuevas en un proceso de crecimiento y exploración de suelo en ese periodo, lo que incidió posiblemente a que requirieran N para su crecimiento. Las hojas tienen una fuerte extracción de N hasta finales de octubre y de ahí se produce la traslocación hacia los otros órganos hasta diciembre, luego se produce una nueva extracción hasta marzo, continuando con la removilización de N de las hojas que es aproximadamente un 40% hacia las estructuras permanentes. Según Silva y Rodríguez (1995), se puede producir una traslocación entre un 50 y 60% hacia los tejidos de reserva del árbol. Sin embargo, el grado de movilización puede variar entre un 40 y un 70%, debido a que la movilización está influenciada por la carga del árbol, manejo de huerto, riego y fertilización de postcosecha.

Coeficiente de reparto de N

El coeficiente de reparto se analizó al finalizar la temporada, donde se pudo observar que en el huerto en producción hubo una alta distribución de N hacia frutos, debido a su mayor biomasa en relación a las hojas. Pero al sumar las distribuciones del crecimiento vegetativo (caulinar y hoja) estos superan a los frutos, por lo cual se podría indicar que el N, cumple una importante función en el desarrollo de estos órganos (Figura 3.4.a). En cambio, el huerto joven distribuyó el N al crecimiento y desarrollo de órganos vegetativos (Figura 3.4.b).

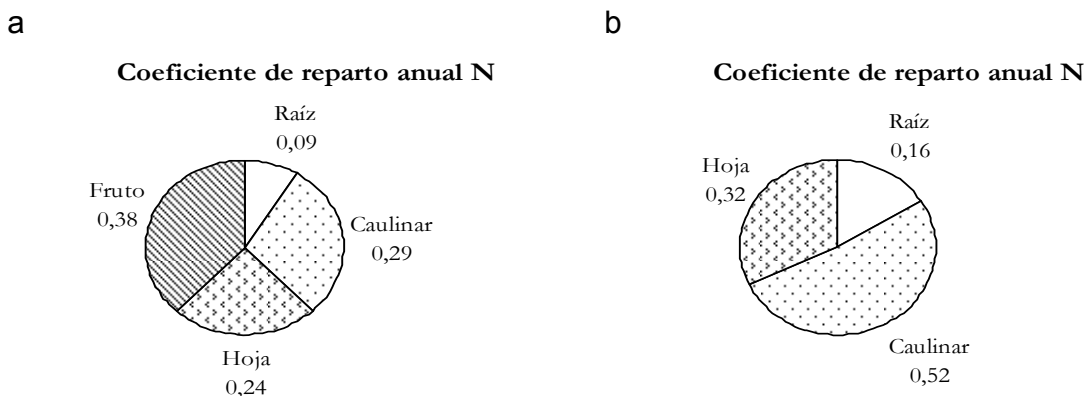


Figura 3.4. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

A pesar que se observaron diferencias en la distribución de biomasa en granado respecto de otras especies como duraznero, vid y manzano (Capítulo II, indicadas por Silva y Rodríguez (1995)), en el Cuadro 3.4, se puede apreciar que en la distribución de N, son muy similares, centrándose en el desarrollo de órganos vegetativos.

Cuadro 3.4. Coeficiente de reparto de N en cuatro especies frutales.

Coeficiente de reparto N	Raíz	Caulinar	Hoja	Fruto
Granado (30 t·ha⁻¹)	0,09	0,29	0,24	0,38
Durazno ¹ (30 t·ha ⁻¹)	0,05	0,27	0,29	0,39
Vid ¹ (25 t·ha ⁻¹)	0,07	0,30	0,27	0,36
Manzano ¹ (60 t·ha ⁻¹)	0,09	0,24	0,40	0,27

Fuente: ¹Silva y Rodríguez (1995), Caulinar: Est. permanente y brote.

Fósforo

Concentración de fósforo (P)

Se puede observar que las concentraciones de fósforo en el huerto joven (Figura 3.5.b), fueron levemente superiores a las observadas en el huerto en producción (Figura 3.5.a). Esto debido posiblemente al constante crecimiento de órganos, lo que requiere una gran cantidad de ATP para el desarrollo, maduración e incremento de vigor estos árboles jóvenes, similar a lo observado en manzanos (Fallahi *et al.*, 2010).

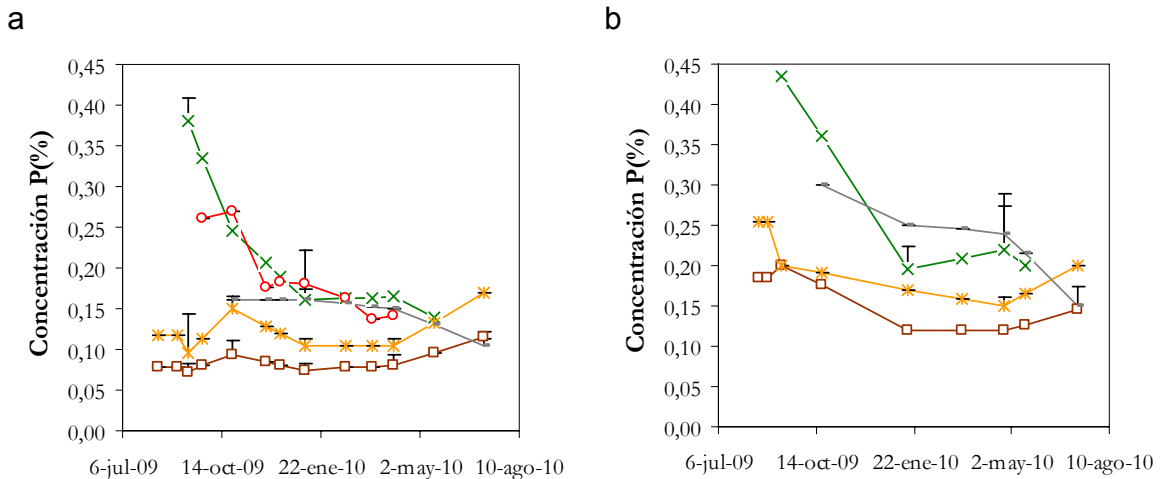


Figura 3.5. Concentración de fósforo en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En ambos huertos (Figura 3.5), las hojas concentraron una gran cantidad de fósforo en brotación, que va disminuyendo a medida que se acerca el receso, debido, posiblemente a su traslocación a estructuras de reserva. La raíz presentó valores superiores a los de estructura caulinar, debido posiblemente a que el P estimula el desarrollo de raíces, pero ambos presentaron un similar comportamiento disminuyendo a finales de brotación (octubre), desde donde son traslocados hacia los nuevos crecimientos (hojas y frutos).

Según Silva y Rodríguez (1995), en periodos iniciales, las raíces suministran el 55% de los requerimientos de P, similar a los datos obtenidos en este estudio

(aproximadamente de un 50% (Figura 3.6)), luego a finales de cosecha tanto en raíz como tallo, aumenta su concentración debido a la removilización de P de otros órganos hacia ellos (Silva y Rodríguez, 1995). Las caídas disminuyeron su concentración hacia el final de la temporada, porque fueron hojas que removilizaron P. La concentración de P en los frutos disminuyó hacia la cosecha, posiblemente debido al efecto de dilución hacia la madurez (Figura 3.5.a).

Acumulación de P

Los frutos acumularon un 42% del total de P (Figura 3.6.a), similar a los 45% en duraznero y en la vid, y superior a los 35% en manzano (Silva y Rodríguez, 1995). La acumulación por árbol, del huerto en producción fue la siguiente: 3,2 g en raíz; 6,7 g en caulinar; 4,3 g en hoja y 10,4 g en fruto con un total 24,6 g por planta y en el huerto joven fue de 0,9 g en raíz; 1,8 g en caulinar y 1,6 g en hoja con un total 4,3 g por planta. Esta diferencia fue esencialmente por la biomasa, ya que las concentraciones en ambos huertos son muy similares. La acumulación por hectárea se puede observar en la Figura 3.6, las abruptas caídas y valores negativos que se debe a una baja concentración del elemento en el tejido.

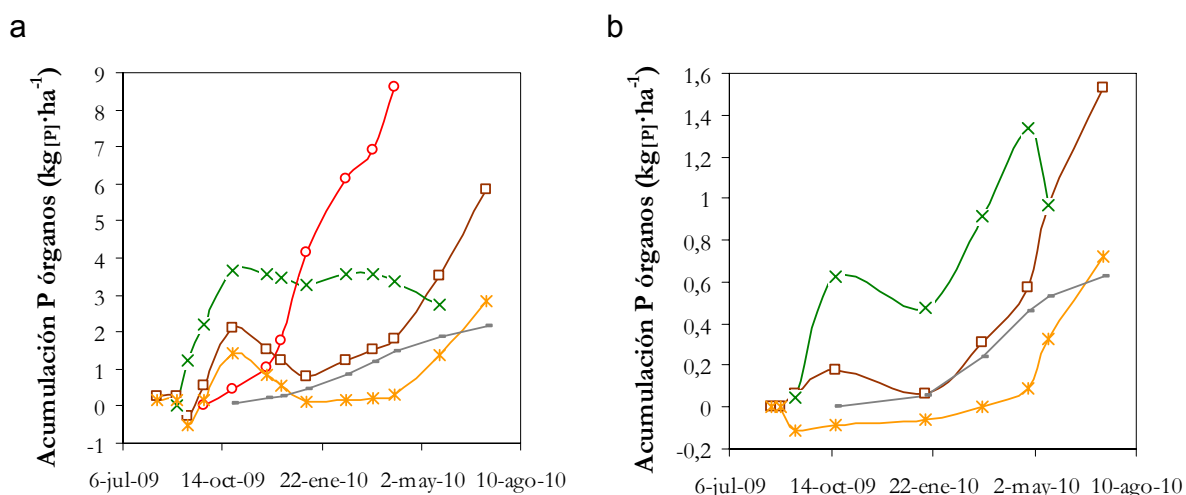


Figura 3.6. Acumulación de fósforo en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

Como se puede apreciar en el Cuadro 3.5, el huerto en producción de granado tuvo acumulaciones similares a duraznero, pero superiores a las otras especies debido posiblemente a la mayor concentración de P en los distintos órganos en relación a los otros frutales.

Cuadro 3.5. Acumulación de P por hectárea al final de la temporada en cuatro especies frutales.

Especie frutal (Rendimiento)	Raíz (kgP·ha ⁻¹)	Caulinar (kgP·ha ⁻¹)	Hojas (kgP·ha ⁻¹)	Fruto (kgP·ha ⁻¹)	Total
Granado (30 t·ha ⁻¹)	2,7	5,6	3,6	8,6	20,5
Vid ¹ (25 t·ha ⁻¹)	0,9	5,1	2,0	6,2	14,2
Durazno ¹ (30 t·ha ⁻¹)	0,7	5,2	3,4	8,1	17,4
Manzano rojo estandar ¹ (60 t·ha ⁻¹)	1,4	3,8	3,1	4,8	13,1
Granado (sin frutos)	0,7	1,5	1,3	0	3,5

Fuente: ¹Silva y Rodríguez (1995); Caulinar: Estructura permanente y brote.

Balance de extracción y removilización de P

En la extracción de P del huerto en producción (Figura 3.7.a), se puede observar que a la salida de receso hubo una alta traslocación de P desde los órganos de reserva, especialmente desde la raíz (cerca al 50%) hacia las hojas. Luego, los niveles vuelven a subir a finales de cuaja (octubre) y a partir de la cosecha se inició la removilización de P hacia la raíz y tallo. Las hojas tuvieron una fuerte extracción de P hasta finales de brotación, y de ahí se inició la traslocación hacia las otras estructuras hasta marzo, desde donde se inicia la removilización de aproximadamente del 52% de P hacia las estructura caulinar y la raíz. Con la aparición de los frutos se observó una fuerte predominancia en la extracción de P por sobre los otros órganos.

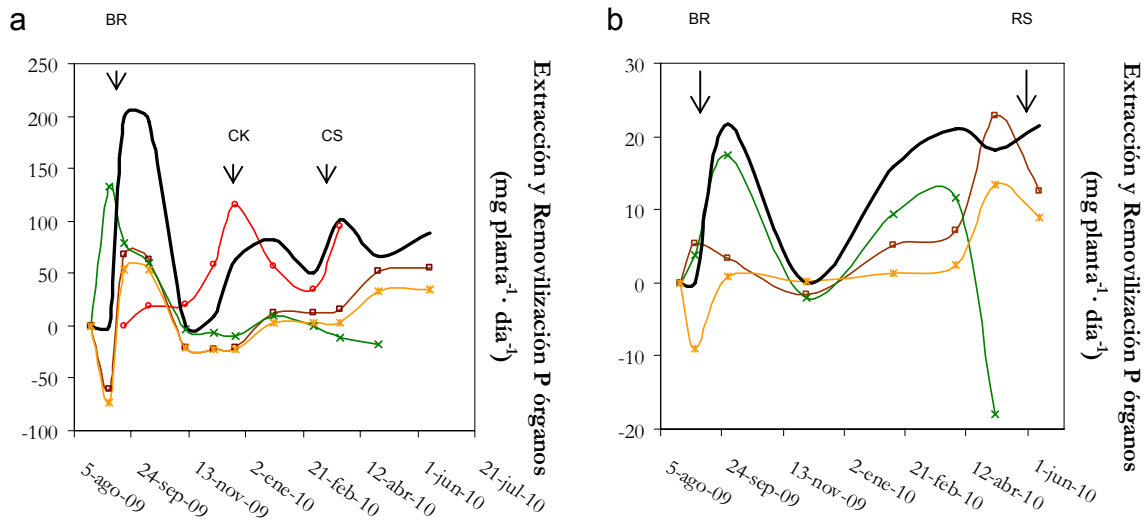


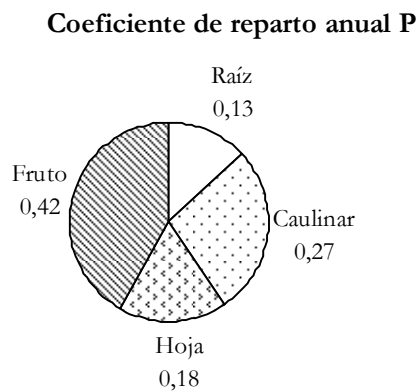
Figura 3.7. Balance de extracción y removilización de fósforo en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○). BR:Brotación, CK:Pleno crec., CS:Cosecha, RS:Receso.

A diferencia del huerto en producción, en el huerto joven (Figura 3.7.b) a la salida de receso hubo una alta removilización de P desde la raíz hacia las hojas y un nulo aporte caulinar, debido, posiblemente, a un predominio de tejido herbáceo según lo observado en campo, lo cual pudo haber incidido en un menor almacenamiento de reservas. Las hojas tuvieron una fuerte extracción de P hasta finales de cuaja, después de procesos de traslocación en marzo se inicia su proceso de removilización de P de aproximadamente un 40% hacia la raíz y caulinar, lo que es inferior a los 60% de removilización mencionados para frutales de hoja caduca por Razeto (2009).

Coeficiente de reparto de P

En el huerto en producción hubo una alta acumulación de P en frutos a pesar de la mayor concentración de P en la hoja. Esto debido a la mayor biomasa de los frutos, pero al sumar las acumulaciones del crecimiento vegetativo (caulinar y hoja) estos superan el CR de 0,45 por lo cual se podría decir que el P, cumple una importante función en el desarrollo de estos órganos (Figura 3.8.a). En cambio, en el huerto joven el 0,8 del CR, se destinó al crecimiento de órganos vegetativos (Figura 3.8.b).

a



b

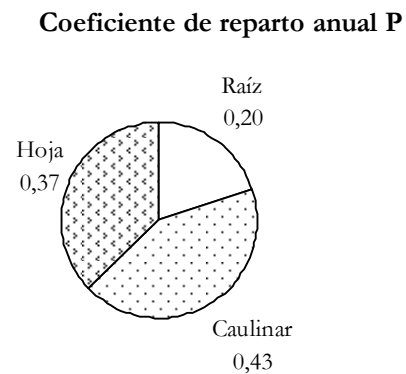


Figura 3.8. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Potasio

Concentración de potasio (K)

Las concentraciones de K en el huerto en producción (Figura 3.9.a), son levemente inferiores a lo observado en el huerto joven (Figura 3.9.b), debido a la mayor predominancia de los frutos por sobre los otros órganos y estructuras.

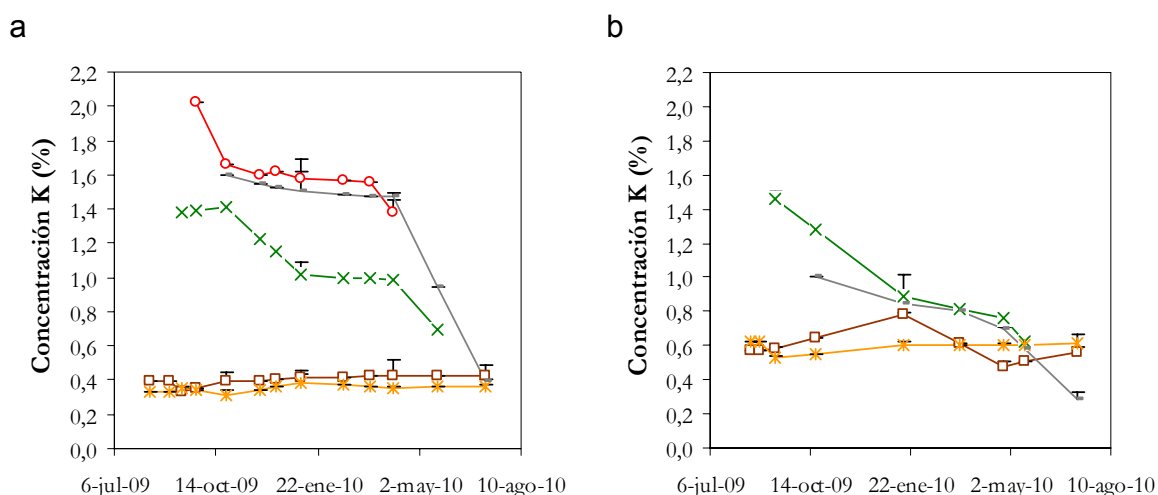


Figura 3.9. Concentración de potasio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En el huerto en producción (Figura 3.9.a), los frutos concentraron una gran cantidad de K a partir de la formación de los primeros frutos, lo que disminuyó a medida que se acercó la cosecha, posiblemente debido al efecto de dilución y crecimiento del fruto. En ambos huertos (Figura 3.9), las hojas disminuyeron su concentración de K hacia el receso, similar a lo observado por Lema *et al.* (2010) en kiwi var. Hayward, posiblemente debido al efecto de traslocación a otras estructuras. A pesar de que los tallos presentaron valores levemente superiores a la raíz, en ambos huertos se observó una evolución similar, aumentando la concentración hacia el final de la temporada, debido a la removilización de K desde otros órganos (Silva y Rodríguez, 1995). Las caídas son esencialmente hojas senescentes que disminuyeron su concentración de K, debido a que lo removilizaron antes de que se iniciara la abscisión de hojas hacia el final de la temporada.

Acumulación de K

En el periodo de máxima acumulación en el huerto en producción (Figura 3.10.a), los frutos acumularon un 69% de K del total, similar a lo establecido por Silva y Rodríguez (1995) de un 60% para especies frutales.

La acumulación por árbol en el huerto en producción fue la siguiente: 4 g en raíz, 15 g en caulinar, 27 g en hoja y 101 g en fruto con un total de 147 g por planta y en el huerto joven fue de 3 g en raíz, 8 g en caulinar y 6 g en hoja con un total de 17 g por planta. Esta diferencia fue esencialmente por la biomasa, ya que las concentraciones en ambos huertos son muy similares. La acumulación por hectárea se puede apreciar en la Figura 3.10, las abruptas caídas y valores negativos que se aprecian en algunas curvas obedecen a una baja concentración del elemento en el tejido.

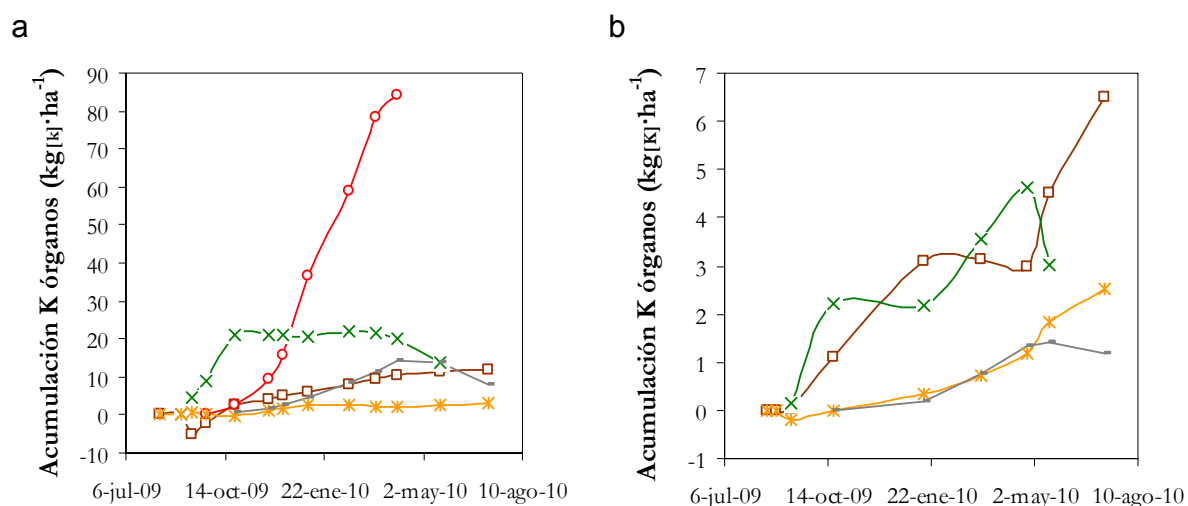


Figura 3.10. Acumulación de potasio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

Como se puede observar en el Cuadro 3.6, las cifras del huerto en producción de granado son similares a las de duraznero, pero superiores a las de otras especies, debido posiblemente a la mayor concentración de K en los distintos órganos de granado.

Cuadro 3.6. Acumulación de K por hectárea al final de la temporada en cuatro especies frutales.

Especie frutal	Raíz (kgK·ha ⁻¹)	Caulinar (kgK·ha ⁻¹)	Hojas (kgK·ha ⁻¹)	Fruto (kgK·ha ⁻¹)	Total
Granado (30 t·ha ⁻¹)	3,0	12	22	84	121
Vid ¹ (25 t·ha ⁻¹)	1,8	17	10	48	76,8
Durazno ¹ (30 t·ha ⁻¹)	2,2	22	17	80	121,2
Manzano rojo estándar ¹ (60 t·ha ⁻¹)	2,8	14	16	57	89,8
Granado (sin frutos)	2,5	6,5	4,6	0	13,6

Fuente: ¹Silva y Rodríguez (1995); Caulinar: Estructura permanente y brote.

Balance de extracción y removilización de K

En el huerto en producción (Figura 3.11.a), se puede observar que en la raíz hubo una escasa extracción y removilización de este nutriente en toda la temporada. Muy por el contrario en tallos, se puede apreciar que a la salida de receso se produjo una alta removilización de K para el desarrollo de las primeras hojas, para luego en brotación presentarse un escaso requerimiento en relación a los frutos, esta situación se mantuvo a lo largo del ciclo fenológico del árbol. Por otro lado, las hojas tuvieron una fuerte extracción de este nutriente hasta finales de brotación, y de ahí se inició la traslocación hacia las otras estructuras, un mes antes de la cosecha se inicia la removilización de K de las hojas a los órganos de reserva, que aunque sea del 64% la removilización, es tan baja la concentración de K en hoja que la acumulación de reserva es escasa. En relación a los frutos, se pudo observar que a la cuaja de los primeros frutos hubo una fuerte predominancia en la extracción de K, por sobre los otros órganos hasta la cosecha (Figura 3.11.a), lo que concuerda con lo observado en la acumulación de K en los frutos (Cuadro 3.6).

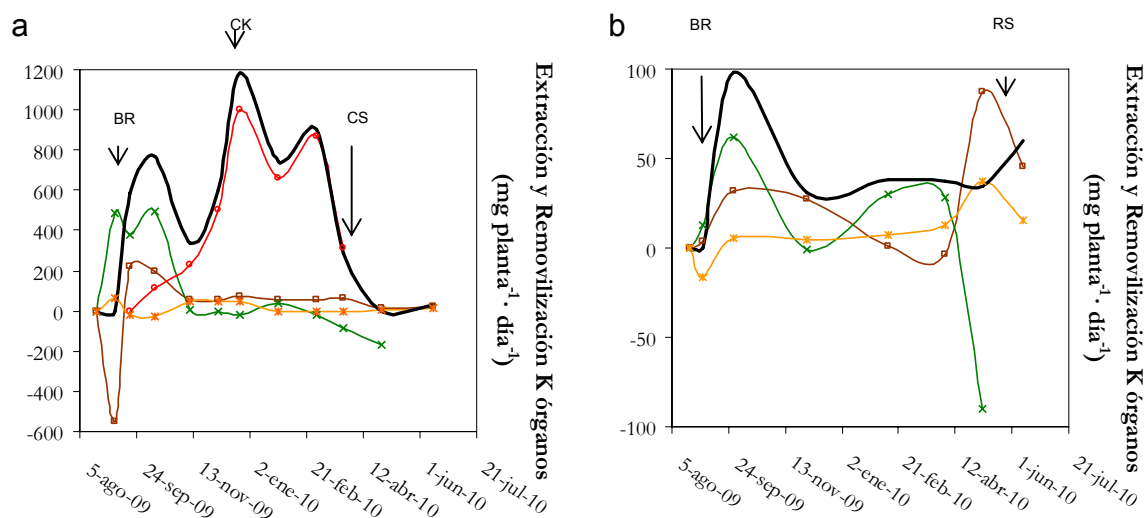


Figura 3.11. Balance de extracción y removilización de potasio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz (*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○). BR:Brotación, CK:Pleno crec., CS:Cosecha, RS:Receso.

En el huerto joven (Figura 3.11.b), a la salida de receso, existió removilización de K desde la raíz hacia las hojas y casi nulo aporte de tallos debido, posiblemente, a su escaso almacenamiento de reserva. Las hojas mostraron una fuerte extracción de K hasta finales de cuaja y de ahí se produjo la traslocación hacia los otros órganos hasta diciembre. En marzo se inició la removilización de K de las hojas, aproximadamente un 74% hacia caulinar y raíz, lo que es superior a los 40 a 50% de removilización establecidos para durazneros y vid (Silva y Rodríguez, 1995).

Coeficiente de reparto de K

En el huerto en producción hubo una alta repartición de K hacia los frutos, lo que comprueba la gran importancia de este elemento en el desarrollo de este órgano. En cambio, en el huerto joven, al no haber frutos, se destinó una gran cantidad de K al crecimiento de órganos vegetativos (Figura 3.12).

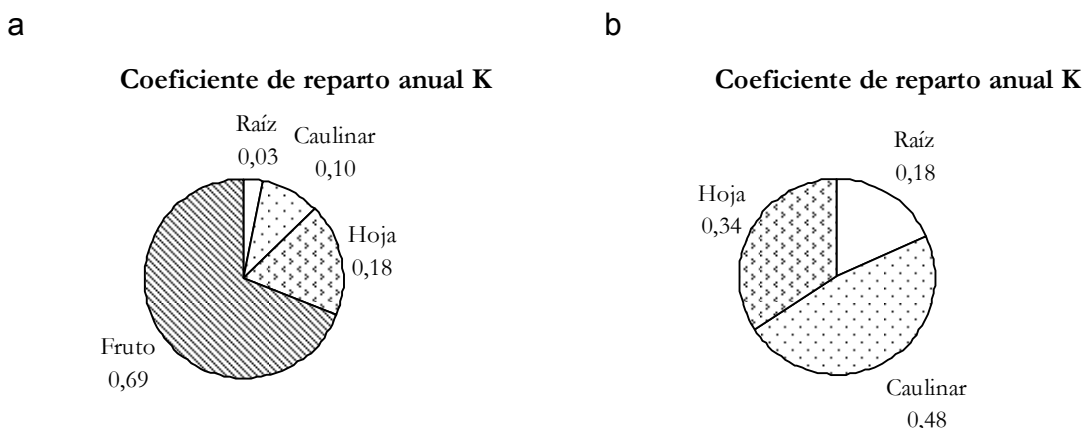


Figura 3.12. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Se puede apreciar la enorme diferencia que ejerce la presencia de fruto en el huerto en producción, en el caso del huerto joven tiene un 0,18 en raíz superior a los 0,03 del huerto adulto, esto puede ser atribuido a la gran necesidad de este elemento por los frutos como se puede observar en granado y cerezo (Cuadro 3.7).

Al comparar con otros frutales como el kiwi y el cerezo, se mantiene la tendencia de una mayor acumulación de K, independiente del tipo del fruto y la especie (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Coeficiente de reparto de K en tres especies frutales.

Coeficiente de reparto K	Raíz	Caulinar	Hoja	Fruto
Granado (30 t·ha⁻¹)	0,03	0,10	0,18	0,69
Kiwi ² (30 t·ha ⁻¹)	0,20	0,07	0,22	0,51
Cerezo ¹ (20 t·ha ⁻¹)	0,01	0,13	0,30	0,56

Fuente: ¹Baghdadi y Sadowski (1998), ²Smith *et al.*(1988).

Calcio

Concentración de calcio (Ca)

La concentración de Ca del huerto joven es claramente inferior a la del huerto en producción, debido posiblemente al escaso desarrollo del área foliar del huerto joven, lo que limitó su absorción de Ca (Figura 3.13.b).

En el huerto en producción (Figura 3.13.a) se puede destacar la limitada acumulación de calcio en los frutos, lo que reafirma la gran competencia de las hojas en la absorción de Ca, similar a lo observado en manzanos (Fallahi *et al.*, 2010) y naranjas Navel (Storey y Treeby, 2000). La concentración de Ca es alta sólo hasta los primeros estados de desarrollo del fruto, luego decrece hasta la madurez, concordando con lo observado por Mirdehghan and Rahemi (2007) en granados Malas Yasdi. Como el transporte de Ca es esencialmente por el xilema e impulsado por el flujo transpiratorio, al madurar el fruto, su transpiración es menor al de los brotes, desviándose el Ca al crecimiento de ellos. Esto podría explicar la escasa concentración de Ca en los frutos y la mayor concentración en hojas y tallos (Silva y Rodríguez, 1995).

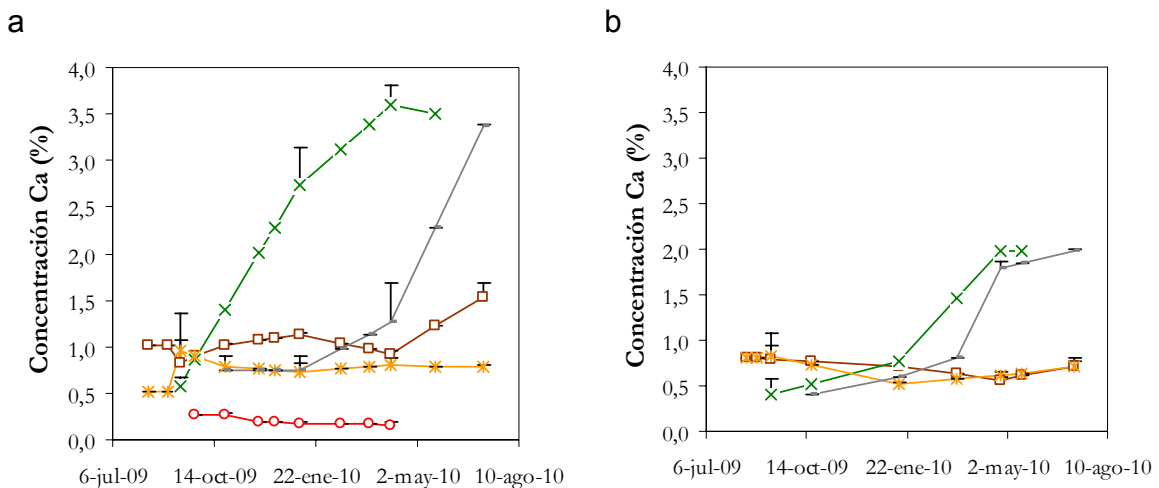


Figura 3.13. Concentración de calcio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En ambos huertos (Figura 3.13) la concentración de Ca en las hojas fue aumentando considerablemente hasta finalizar la temporada, concordante a lo apreciado por Lema *et al.* (2010) en kiwi, debido posiblemente al escaso movimiento descendente (removilización) por el floema del árbol (Navarro y Navarro, 2003). En tallos y raíz se observaron concentraciones inferiores que en las hojas. Las caídas (hojas senescentes) se presentaron con una alta concentración lo que demuestra la escasa movilidad del Ca al llegar a la hoja.

Acumulación de Ca

En el periodo de máxima acumulación de Ca en el huerto en producción (Figura 3.14.a), el tallo acumuló un 45% de Ca del total. La acumulación de Ca por árbol en el huerto en producción fue la siguiente: 16 g en raíz, 94 g en caulinar, 89 g en hoja y 11 g en fruto con un total de 210 g por planta y en el huerto joven fue de 4 g en raíz, 10 g en caulinar y 15 g en hoja con un total de 29 g por planta. La acumulación por hectárea se puede apreciar en la Figura 3.14. Las abruptas caídas y valores negativos que se aprecian en algunas curvas obedecen a una baja concentración del elemento en el tejido.

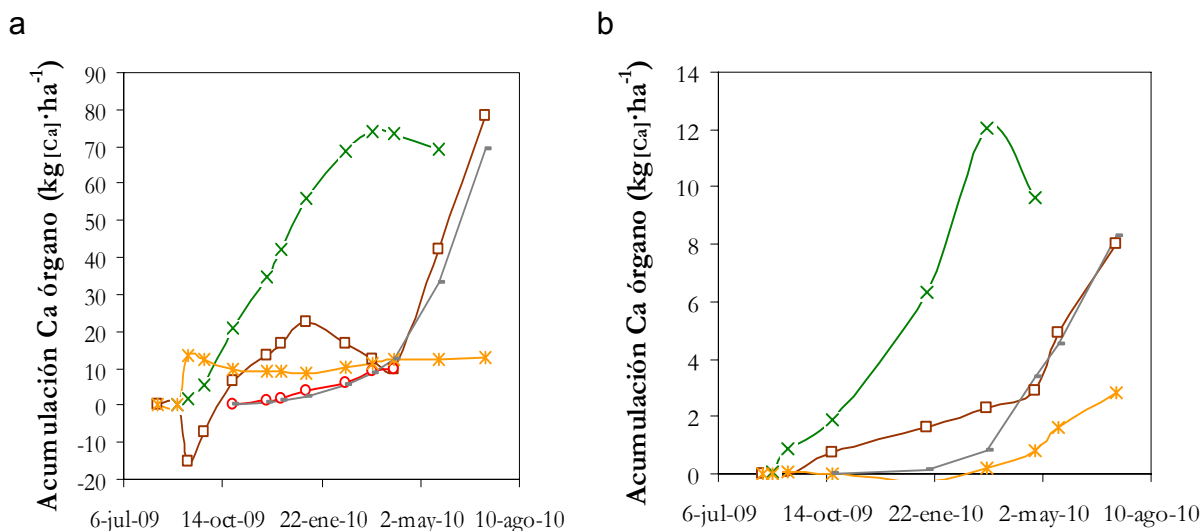


Figura 3.14. Acumulación de calcio en granados var. Wonderful durante la temporada.

(a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En el cuadro 3.8, se puede observar que se mantiene la fuerte predominancia de las hojas en la extracción de Ca por sobre los frutos en las distintas especies frutales (Cuadro 3.8).

Cuadro 3.8. Acumulación de Ca por hectárea al final de la temporada en tres especies frutales.

Especie frutal	Raíz (kgCa·ha ⁻¹)	Caulinar (kgCa·ha ⁻¹)	Hojas (kgCa·ha ⁻¹)	Fruto (kgCa·ha ⁻¹)	Total
Granado (30 t·ha⁻¹)	13	79	74	10	176
Cabernet Sauvignos ² (10 años)	-	19	39	2	60
Manzano rojo var. Delicious ¹		46	86	8	140
Granado (sin frutos)	2,8	8	12	-	22,8

Fuente: ¹ Atkinson and Wilson (1980). ² Rodríguez *et al.* (1974);

Balance de extracción y removilización de Ca

En el huerto en producción, hubo una alta traslocación de Ca desde la estructura caulinar hacia las hojas hasta finales de cuaja (Figura 3.15.a). En postcosecha se inició una escasa removilización hacia los órganos de reserva.

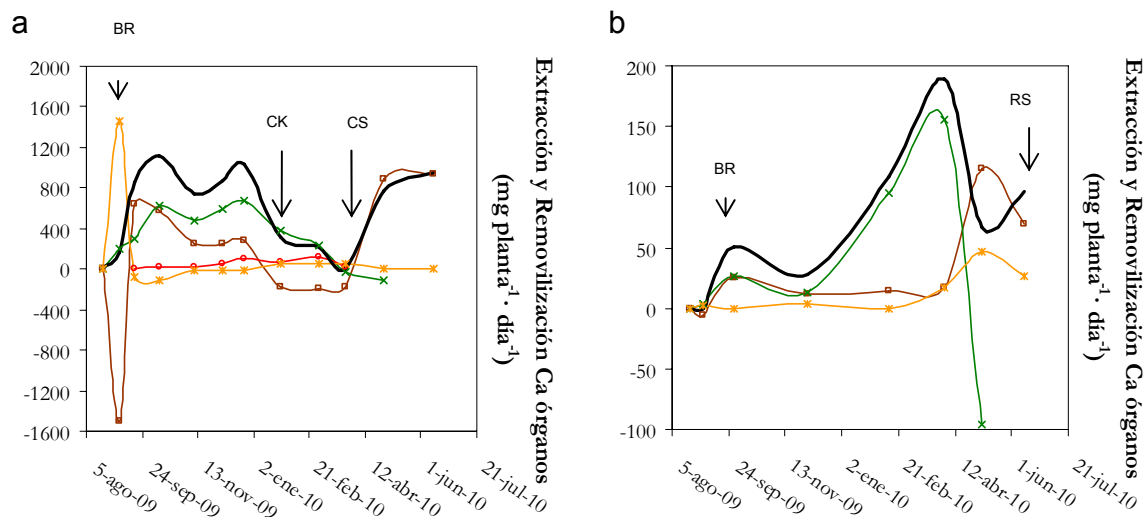


Figura 3.15. Balance de extracción y removilización de calcio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○). BR:Brotación, CK:Pleno crec., CS:Cosecha, RS:Receso.

Las hojas tuvieron una fuerte extracción de Ca hasta finales de cosecha por sobre los otros órganos, y después de la cosecha se inició una muy baja removilización de Ca (7%) desde las hojas especialmente a la estructura caulinar. El resto del calcio se perdió en las caídas. En los frutos la absorción de calcio fue escasa y sólo hasta el crecimiento intermedio del fruto (enero), después fue casi nula la extracción, similar a lo que ocurre en manzanos (Fallahi *et al.*, 2010) y kiwi Hayward (Lema *et al.*, 2010).

En el huerto joven (Figura 3.15.b), a la salida de receso existió una escasa removilización de Ca desde tallos hacia las hojas y casi nulo aporte de la raíz, debido posiblemente a un escaso almacenamiento de reserva. Las hojas presentaron una fuerte extracción de Ca hasta un periodo análogo al de cosecha y luego se inició una removilización de Ca (32%), especialmente a los tallos. Esta diferencia con el huerto en producción (7%) en la removilización, puede ser atribuido a la constante necesidad de Ca para el desarrollo de nuevos brotes en los estados juveniles del granado.

Coefficiente de reparto de Ca

Se puede apreciar que, en ambos huertos, la máxima cantidad de Ca al finalizar la temporada, fue destinada al crecimiento y desarrollo de órganos vegetativos (caulinar y hoja), con escasa presencia en raíz, independiente de la presencia de frutos como se puede observar en la Figura 3.16.

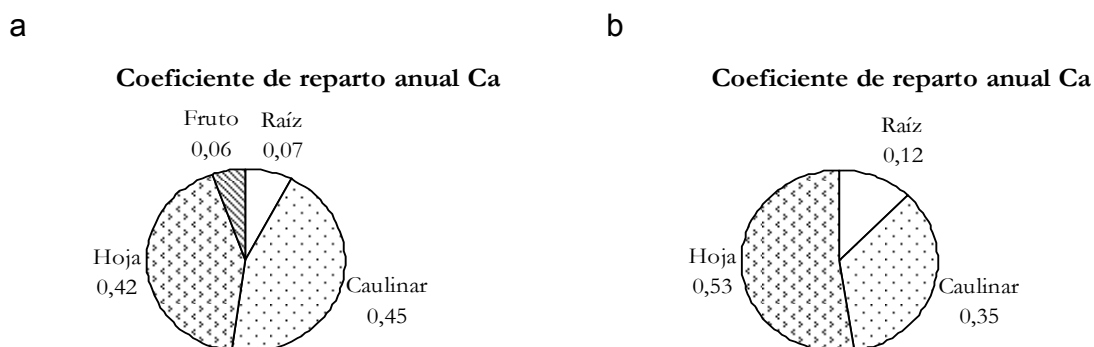


Figura 3.16. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Magnesio

Concentración de magnesio (Mg)

En ambos huertos el magnesio, fue uno de los elementos que más se concentró en las hojas, pero a una escala mucho menor que la del nitrógeno y el calcio. Se observó, además, un aumento progresivo hasta cosecha para luego descender cercano a receso, debido posiblemente a la removilización de Mg hacia los órganos de reserva que a diferencia del calcio, presenta una mayor movilidad en el floema (Navarro y Navarro, 2003), Figura 3.17.

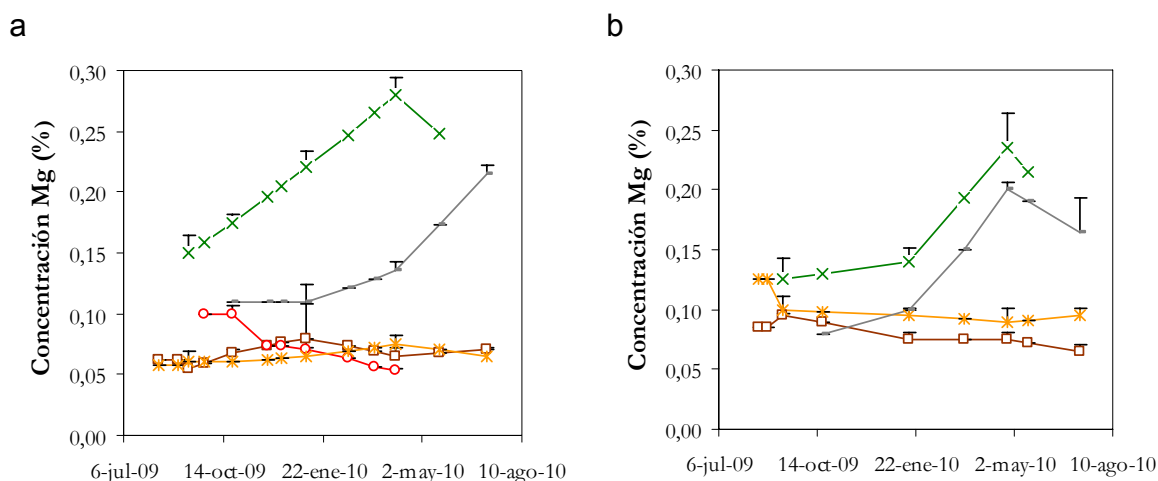


Figura 3.17. Concentración de magnesio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

En ambos huertos (Figura 3.17), la raíz y los tallos aumentaron levemente su concentración de Mg hacia el final de la temporada. En el huerto en producción (Figura 3.17.a), los frutos tuvieron una muy baja concentración de Mg, la que disminuyó aún más cercano a la cosecha, posiblemente por efecto de dilución y maduración del fruto. Las caídas se presentaron con una alta concentración de Mg, por lo cual se infiere que no hubo una gran removilización a otras estructuras.

Acumulación de Mg

En el periodo de máxima acumulación de Mg en el huerto en producción (Figura 3.18.a), se pudo apreciar que las hojas acumularon un 49% de Mg del total. La acumulación de Mg por árbol en el huerto en producción fue la siguiente: 1 g en raíz, 3 g en caulinar, 7 g en hoja y 4 g en fruto con un total de 15 g en planta y en el huerto joven fue de 0,4 g en raíz; 0,8 g en caulinar y 1,8 g en hoja y con un total de 3 g en planta, esta diferencia fue esencialmente por la biomasa, ya que las concentraciones en ambos huertos son muy similares. La acumulación por hectárea se puede apreciar en la Figura 3.18. Las abruptas caídas y valores negativos que se aprecian en algunas curvas de Mg, obedecen a una baja concentración del elemento en el tejido.

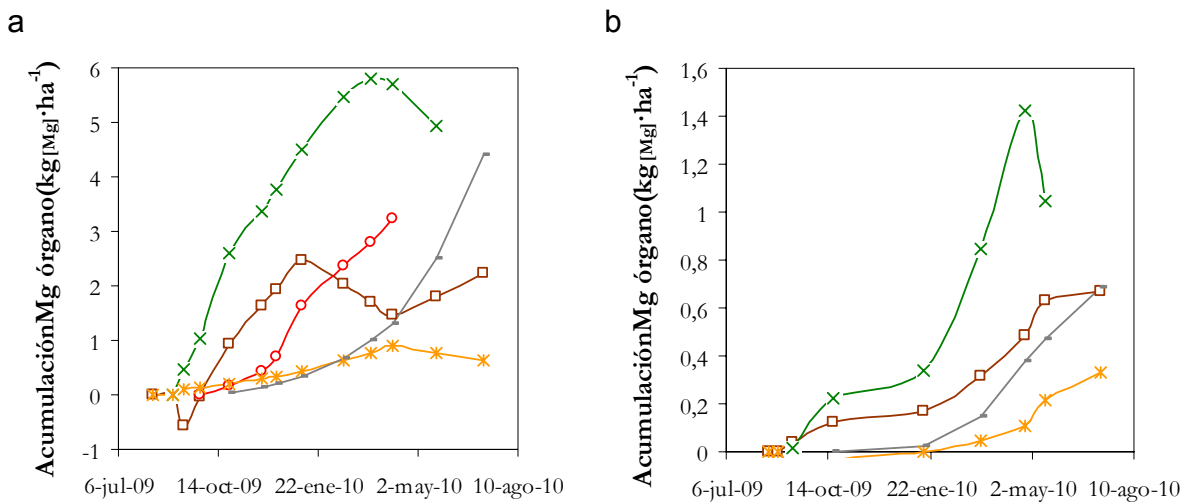


Figura 3.18. Acumulación de magnesio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○); Caídas(-).

Se mantiene la predominancia de las hojas en la extracción de Mg por sobre los frutos en distintas especies frutales (Cuadro 3.9).

Cuadro 3.9. Acumulación de Mg por hectárea al final de la temporada en dos especies frutales.

Especie frutal	Raíz (kgMg·ha ⁻¹)	Caulinar (kgMg·ha ⁻¹)	Hojas (kgMg·ha ⁻¹)	Fruto (kgMg·ha ⁻¹)	Total
Granado (30 t·ha⁻¹)	0,60	2,20	5,80	3,2	11,8
Cabernet Sauvignon ¹ (10 años)	-	6,80	9,80	2,4	19
Granado (sin frutos)	0,33	0,67	1,43	-	2,43

Fuente: ¹ Rodríguez *et al.* (1974).

Balance de extracción y removilización de Mg

En el huerto en producción (Figura 3.19.a), se puede observar que a la salida de receso hubo una alta traslocación de Mg, desde la estructura caulinar hacia las hojas hasta finales de cuaja y en postcosecha se inicia una escasa removilización hacia los órganos de reserva. Las hojas presentaron una fuerte extracción de Mg hasta finales de cosecha por sobre los otros órganos, y después de la cosecha se inició una baja removilización de Mg (24%) desde las hojas, especialmente hacia la estructura caulinar. El resto del Mg se perdió en las hojas caídas. Los frutos extrajeron Mg hasta crecimiento medio, extracción que después bajó pero no tan drásticamente como en calcio.

En el huerto joven (Figura 3.19.b) a la salida de receso se presentó extracción de Mg por todos los órganos y estructuras, posiblemente por un escaso almacenamiento de Mg en los órganos de reserva. Las hojas tuvieron una fuerte extracción de Mg hasta abril, luego se inició una removilización especialmente hacia los tallos.

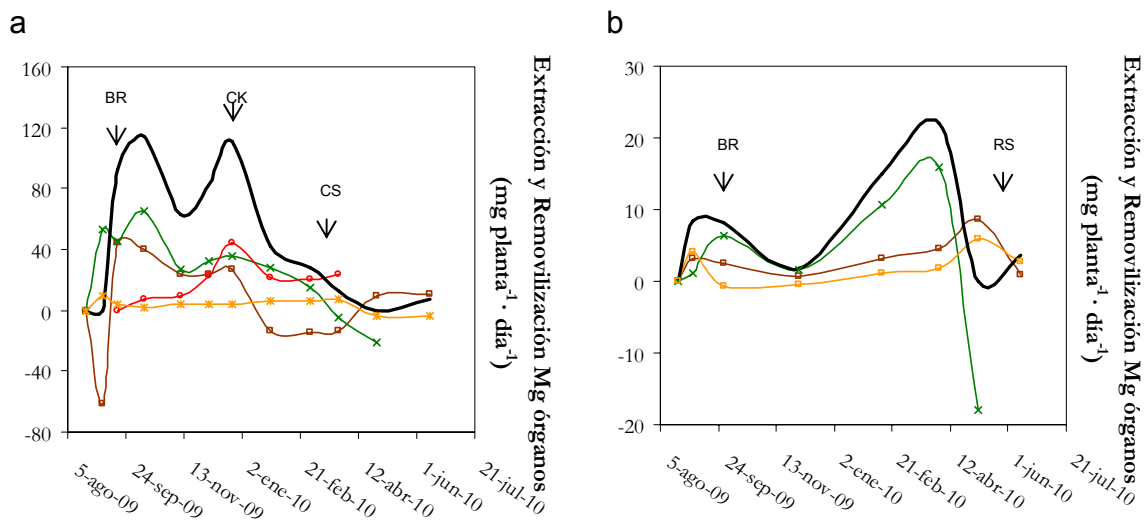


Figura 3.19. Balance de extracción y removilización de magnesio en granados var. Wonderful durante la temporada. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven. Total (—); Raíz(*); Caulinar(□); Hoja(X); Fruto(○). BR:Brotación, CK:Pleno crec., CS:Cosecha, RS:Receso.

Coefficiente de reparto de Mg

En ambos huertos, la máxima distribución anual del Mg fue destinada al crecimiento y desarrollo de órganos vegetativos, especialmente de las hojas, independiente de la presencia de frutos como se puede observar en la (Figura 3.20). Esto debido a la alta concentración del elemento en este órgano.

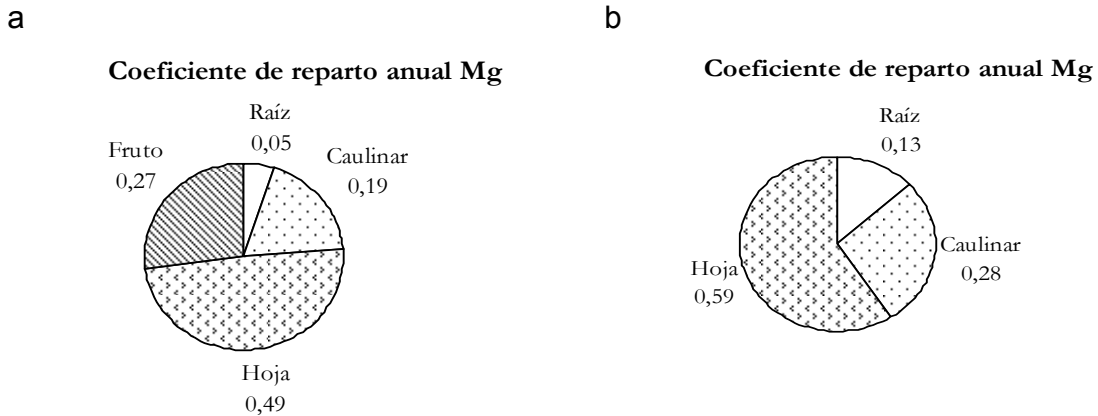


Figura 3.20. Coeficiente de reparto de granados var. Wonderful. (a) Huerto en producción, (b) Huerto joven.

Al comparar con otras especies frutales, se puede comprobar que se mantiene la tendencia de una mayor acumulación de Mg en las hojas, independiente de la especie (Cuadro 3.10).

Cuadro 3.10. Coeficiente de reparto de Mg en tres especies frutales.

Coeficiente de reparto Mg	Coeficiente de reparto			
	Raíz	Caulinar	Hoja	Fruto
Granado (30 t·ha⁻¹)	0,05	0,19	0,49	0,27
Kiwi ² (30 t·ha ⁻¹)	0,27	0,09	0,49	0,15
Cerezo ¹ (20 t·ha ⁻¹)	0,02	0,16	0,68	0,14

Fuente: ¹Baghdadi y Sadowski (1998), ²Smith *et al.* (1988).

Consideraciones generales para el huerto en producción

Concentración de macronutrientes en hoja y fruto

Según Melgarejo *et al.* (2003), la toma de muestra de hojas para análisis foliar en general en variedades de granado (Moller de Elche, Valenciana, etc.), en España debe ser realizado entre julio y agosto (Hemisferio Norte, en el Hemisferio Sur corresponde a enero y febrero), debido a la estabilidad en la concentración de los elementos en la hoja, obteniendo los siguientes valores de normalidad: N 1,00-1,50%; P 0,15-0,20%; K 0,70-1,00%; Ca 0,20-1,00%; Mg 0,15-0,30%. Por otro lado, Ozkan *et al.* (1999), en hojas de granados var. Hicaznar, indican que el análisis foliar en Turquía debe realizarse de agosto a septiembre (Hemisferio Norte, en el Hemisferio Sur corresponde a febrero y marzo), con los siguientes valores: N 1,38-1,82%; P 0,15-0,25%; K 0,87-1,43%; Ca 0,84-2,58%; Mg 0,21-0,44%. Considerando ambos estudios se comparó la toma de muestra realizada en Chile en febrero, donde se pudo observar que las concentraciones en la var. Wonderful ((Figura 3.21.a) y (Cuadro 3.11)), están dentro de los rangos establecidos por estos autores, salvo en Ca, elemento para el cual los valores registrados en Chile superan la cifra máxima, lo que puede ser atribuido posiblemente a las características edáficas de nuestro país o simplemente la variedad.

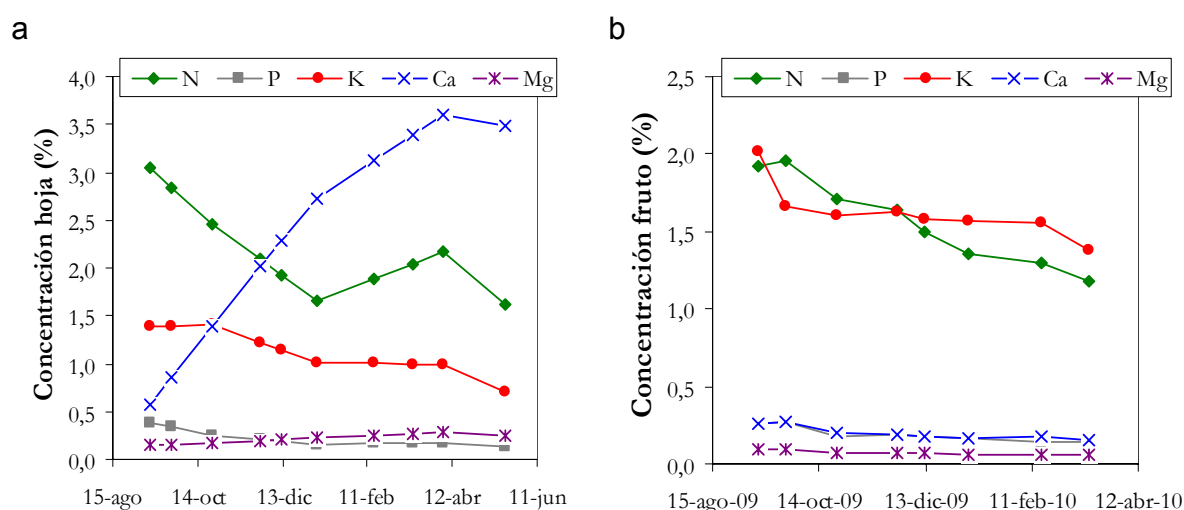


Figura 3.21. Concentración de macronutrientes en un huerto en producción de granados var. Wonderful en la temporada. (a) Concentración en hoja (b) Concentración en fruto.

Se observó una disminución de NPK y un aumento de Ca y Mg, durante la temporada (Figura 3.21.a), similar a lo observado por Ozkan *et al.* (1999) en hojas.

Una vez analizada la concentración de todos los macronutrientes en las hojas se puede sugerir, que la fecha de toma de muestra para análisis foliar de granados en Chile estaría entre enero y febrero, debido a que en este periodo se puede observar de forma gráfica (Figura 3.21.a), una estabilización en la concentración de macronutrientes en la hoja sin cambios bruscos. Por consiguiente, considerando solo una temporada de medición de análisis de foliar de granado var. Wonderful, en un huerto en condiciones óptimas de fertilización de la localidad de Paihuano, los valores de normalidad de macronutrientes para el periodo de enero y febrero serían los siguientes: N 1,60-2,00%; P 0,14-0,18%; K 0,80-1,20%; Ca 2,70-3,10%; Mg 0,18-0,28%, si bien estos datos corresponden a lo obtenido en una temporada, puede servir de base para investigaciones posteriores, donde se puede realizar un trabajo más detallado como lo realizado por Nieto *et al.* 2006 en plantaciones de olivos.

De acuerdo al Cuadro 3.11 en donde se presentan diferentes valores de concentración de nutrientes en hojas, se puede observar que la variedad Wonderful, tuvo una mayor similitud a la variedad Israelita y Mollar cultivadas en España (Giménez *et al.*, 1998), que con las variedades establecidas en Turquía (Hepaksoy *et al.*, 1998), posiblemente por las distintas condiciones de suelo, riego, rendimientos, manejos agronómicos o simplemente características varietales (Cuadro 3.11).

Cuadro 3.11. Concentración de macronutrientes en hojas de cinco variedades de granado.

Concentraciones %					
Hoja	N	P	K	Ca	Mg
Granado var. Wonderful	1,89	0,16	1,00	3,10	0,24
Granado var. Israelita ¹	1,70	0,10	0,93	2,30	0,40
Granado var. Mollar ¹	1,60	0,13	0,60	1,10	0,33
Granado var. Lefon ²	0,77	0,11	3,30	1,50	0,75
Granado var. Kadi ²	0,76	0,09	3,00	1,80	1,00

Fuente: ¹Giménez *et al.* (1998); ²Hepaksoy *et al.* (1998). Mediciones en febrero.

Cuadro 3.12. Concentración de macronutrientes en frutos de cuatro variedades de granado.

Concentraciones %					
Fruto	N	P	K	Ca	Mg
Granado var. Wonderful	1,18	0,14	1,40	0,16	0,05
Granado var. Malas Yasdi ¹	0,70	0,10	1,85	0,37	0,07
Granado var. Lefon ²	0,97	0,79	0,38	5,96	0,03
Granado var. Kadi ²	0,68	1,05	0,35	5,00	0,03

Fuente: ¹Mirdehghan and Rahemi (2007); ²Hepaksoy *et al.* (1998).

En cosecha, la concentración de nutrientes en los frutos enteros de la var. Wonderful (Figura 3.21.b), fue similar a la obtenida por Mirdehghan y Rahemi (2007) en Irán en granados var. Malas Yasdi y muy diferente a lo obtenido por Hepaksoy *et al.* (1998) en Turquía en variedades resistentes a la partidura var. Lefon y la var. Kadi (Cuadro 3.12). Cabe señalar que dichos autores midieron el contenido de nutrientes por separado en pulpa y cáscara, y los valores indicados se estimaron asumiendo una relación pulpa: cáscara de 1:1. Se puede destacar que en la var. Lefon y Kadi, se observa una mayor cantidad de Ca en el fruto, probablemente debido a un mejor control del vigor en estos árboles, ya que en las hojas de estas variedades hay una menor concentración de N (Cuadro 3.11), lo que posiblemente facilita el equilibrio de Ca, K y Mg en la hoja. La resistencia a la partidura de los frutos en el estudio de Hepaksoy *et al.* (1998) podría estar relacionada con su mayor contenido y equilibrio de Ca.

Acumulación total de macronutrientes

Una vez analizado cada elemento, en el huerto en producción, considerando todas sus necesidades en raíz, caulinar, hoja y fruto, se puede observar que todos los elementos aumentan su acumulación a lo largo de la temporada, lo que disminuye en abril esto se debe a que en este periodo los frutos están siendo cosechados y se esta produciendo la perdida de hojas debido a la cercanía del receso, por lo cual va disminuyendo las acumulaciones en el árbol (Figura 3.22).

En general se pudo observar que el calcio es el elemento más acumulado a lo largo del crecimiento anual considerando todos los órganos y estructuras del árbol de granado. La sigue el nitrógeno, el potasio, en menor cantidad, el fósforo y magnesio (Figura 3.22). Similar a lo que ocurre en manzanos (Fallahi *et al.*, 2010).

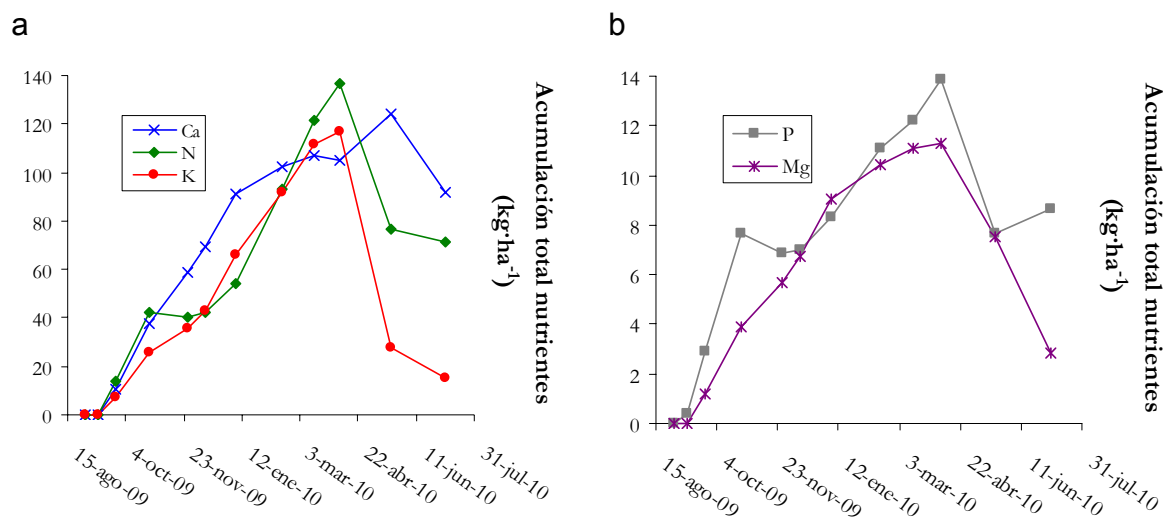


Figura 3.22. Acumulación de macronutrientes en un huerto en producción de granados var. Wonderful en la temporada. (a) Acumulación N, K y Ca, (b) Acumulación P y Mg.

Desglosando los resultados obtenidos por órgano e incluyendo las hojas caídas, que representan a los nutrientes que no alcanzaron a ser removilizados a la planta, comúnmente exportados fuera del huerto, determinaron que las necesidades de macronutrientes son las siguientes (Cuadro 3.13).

Cuadro 3.13. Acumulación total de nutriente (kg·ha⁻¹·año⁻¹) en un huerto en producción de granado var. Wonderful.

	N	50%	P	50%	K	50%	Ca	50%	Mg	50%
	kg·ha ⁻¹	Min	kg·ha ⁻¹	Min	kg·ha ⁻¹	Min	kg·ha ⁻¹	Min	kg·ha ⁻¹	Min
Raíz	17		2,7		3		13		0,6	
Caulinar	55		5,6		12		79		2,2	
Fruto	72		8,6		84		10		3,2	
Hoja caída	21	-10,5	2,2	-1,1	8	-4	69	-34,5	4,4	-2,2
Hoja	45		3,6		22		74		5,8	
Total	165¹	154,5²	19,1¹	18²	107¹	103²	171¹	136,5²	10,4¹	8,2²
%	35,0		4,0		22,6		36,2		2,2	

¹Sin incorporación de hoja caída; ² Con incorporación de hoja caída; Total: raíz+caulinar+fruto+hoja caída. Min: Mineralización.

Como se puede apreciar en el Cuadro 3.13, el nitrógeno y el fósforo se distribuyeron prioritariamente al desarrollo de los frutos, al crecimiento caulinar y hojas, similar a lo observado por Dhillon *et al.* (2011) en granados var. Kandhari, que reportaron una respuesta lineal de estos órganos a la dosis de aplicación de fertilizantes. El potasio se dirigió esencialmente al desarrollo de los frutos, lo que es congruente con lo observado por Dhillon *et al.* (2011) quienes reportaron una relación entre la dosis de K y el aumento en el tamaño y calidad de fruto. El calcio y magnesio se destinó al desarrollo de órganos vegetativos como las hojas y estructura caulinar. Se puede observar que el Ca y el N, son los elementos más utilizados en la planta en general, seguido por el K, el P es aproximadamente un 10% de los requerimientos de N, estos valores están dentro los parámetros según Silva y Rodríguez (1995).

A pesar de la falta de frutos, en el huerto joven (Apéndice I), se mantuvo la misma tendencia. La reincorporación al sistema suelo, de las caídas puede significar un ahorro aproximado del 10% en todos los macronutrientes (Cuadro 3.13), a pesar de las pérdidas por mineralización, lixiviación o volatilización.

Acumulación de macronutrientes en fruto

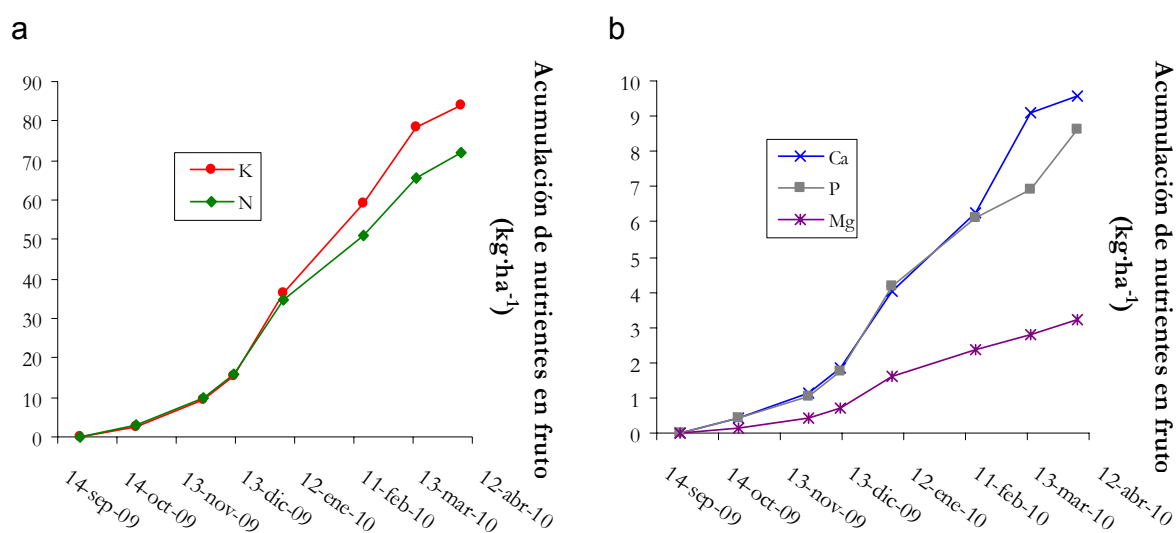


Figura 3.23. Acumulación de macronutrientes en frutos en un huerto en producción de granado var. Wonderful en la temporada. (a) Acumulación N y K, (b) Acumulación Ca, P y Mg.

Todos los nutrientes se incrementaron durante la temporada hasta la cosecha, debido al desarrollo y crecimiento de los frutos (Figura 3.23). Sin embargo, el grado de acumulación fue diferente en cada elemento, similar a lo apreciado por Mirdehghan y Rahemi (2007) en granados y por Lema *et al.* (2010) en kiwi Hayward. En granados se puede destacar la gran importancia del K por sobre los otros elementos, seguido por N, Ca, P y Mg (Figura 3.23), congruente a lo obtenido por Mirdehghan y Rahemi (2007), en granado var. Malas Yasdi.

Cantidad de macronutrientes extraídos por tonelada de fruta

Cuadro 3.14. Cantidad de macronutrientes por tonelada de fruta de cuatro especies frutales.

Extracciones (fruto, caídas, caulinar y raíz)	N kgN·t ⁻¹ fruta	P kgP·t ⁻¹ fruta	K kgK·t ⁻¹ fruta	Ca kgCa·t ⁻¹ fruta	Mg kgMg·t ⁻¹ fruta
Granado (30 t·ha⁻¹)	5,30	0,63	3,56	5,70	0,35
Durazno ¹ (30 t·ha ⁻¹)	5,14	1,38	5,25	2,22	1,00
Vid ¹ (30 t·ha ⁻¹)	4,00	1,70	5,60	2,22	1,20
Manzano rojo ¹ (60 t·ha ⁻¹)	1,47	0,50	1,90	1,33	0,75

Fuente: ¹Vidal (2007).

A pesar de la similitud en las concentraciones entre duraznero y granado a nivel de raíz, tallos, hoja y fruto, esta similitud disminuyó al analizar la cantidad de macronutrientes extraídos por la planta completa para la producción de una tonelada de fruta. Esta variación entre las especies podría explicarse por la diferencia en los porcentajes de removilización de los macroelementos en las hojas a las estructuras de reserva y por las diferencias en los coeficientes de reparto de biomasa a los diferentes órganos. Al comparar el granado con el duraznero, el granado presentó menores requerimientos de K y P pero mucho mayor extracción de Ca. Se puede inferir que el granado tiene una alta extracción de macronutrientes similar a duraznero y superior a manzanos (Cuadro 3.14).

Distribución de la extracción de nutrientes en la planta completa

En relación a la extracción realizada en su conjunto por todos los órganos y estructuras de granados en producción, en N (Figura 3.24.a) hubo dos periodos de máxima extracción, lo que concuerda con lo anteriormente expuesto en órganos por separado (Figura 3.3.a), siendo la primera máxima extracción en noviembre con un 35% y la segunda en marzo con un 47%. Esto quiere decir que desde noviembre hasta marzo se debiera aplicar el 82% del total de la dosis de N establecida para este huerto. Sin embargo, no se recomienda realizar aplicaciones tardías, ya que según lo manifestado por Melgarejo *et al.* (2000), se afecta la maduración, conservación, color y firmeza del fruto. Finalmente, el restante 18% de N debiera ser aplicado posterior a la cosecha (Figura 3.24.a), para asegurar un alto contenido de reservas nitrogenadas, utilizables a la salida de receso.

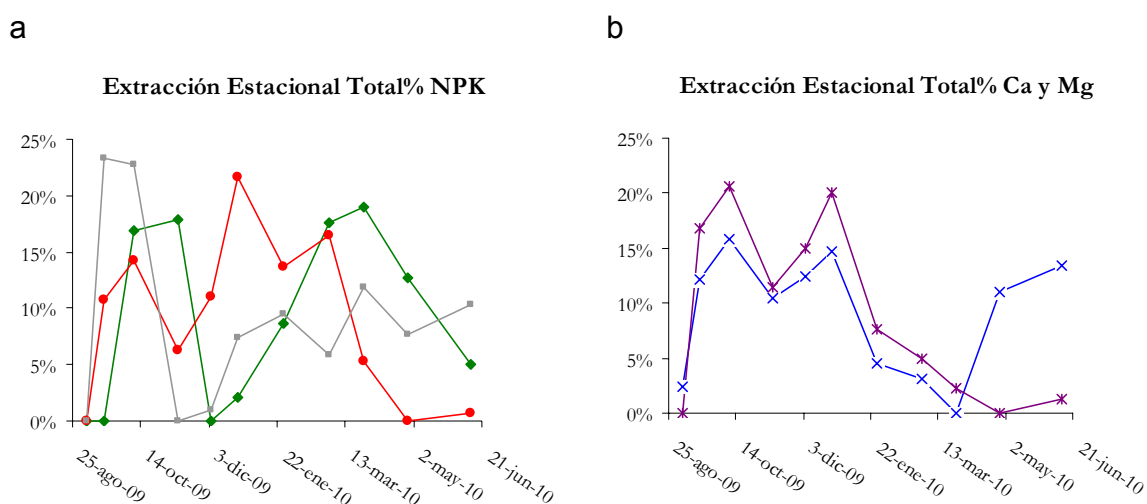


Figura 3. 24. Distribución de la extracción de macronutrientes en el huerto en producción de granado var. Wonderful a lo largo de su crecimiento anual (a) Extracción NPK, (b) Extracción Ca y Mg. (◆) Nitrógeno; (■) Fósforo; (●) Potasio; (X) Calcio; (*) Magnesio.

En P se puede apreciar 3 periodos de máxima extracción (Figura 3.24.a), similar a lo observado por órganos por separado (Figura 3.7.a), siendo la primera en octubre, donde cabe destacar que se produce el 46% de la extracción total de P, lo que ratifica la importancia de este elemento en el crecimiento de nuevos órganos y estructuras.

El segundo periodo es en enero con un 18% de P y el tercero en marzo, con un 20% de P, ambos para estimular el desarrollo de frutos, raíces y caulinar. Finalmente, el 16% restante ocurre después de la cosecha (Figura 3.24.a).

En K hubo 3 periodos de máxima extracción (Figura 3.11.a y 3.24.a). El primero en octubre, con un 25% del total suplementando a los órganos de reserva y el desarrollo de los incipientes frutos (Silva y Rodríguez, 1995). El segundo ocurrió en diciembre con un 39% y el tercero en marzo con un 31%, ambos estimularían el crecimiento y desarrollo de color en los frutos. El 5% se presentó después de la cosecha (Figura 3.24).

En relación a la extracción de calcio hubo tres periodos de máxima extracción (Figura 3.15.a) y 3.24.b), siendo el primero en octubre donde se extrajo un 30% del Ca y el segundo en diciembre con un 38% de Ca. Se puede apreciar que hasta diciembre se extrajo un 68% del total de Ca, principalmente apoyando el desarrollo de hojas, brotes y los primeros frutos (Silva y Rodríguez, 1995). Entre diciembre y marzo hubo una escasa extracción (8% de Ca), lo que ratifica la mínima utilización de este elemento por los frutos. El tercer periodo de máxima extracción se produjo después de cosecha, con un 24%, acumulado principalmente en tallos.

En Mg se observaron dos periodos de máxima extracción (Figura 3.19.a y 3.24.b). El primero fue en octubre, con un 37% y el segundo en diciembre, con un 46%. Sumando ambos periodos se puede observar que hay una gran extracción de Mg hasta diciembre, lo que ratifica la importancia de este elemento para el desarrollo de órganos vegetativos. El 17% de Mg restante puede ser aplicado hasta cosecha, debido a que después de este periodo baja abruptamente la extracción de este elemento.

La construcción de estas curvas de extracción demuestra la necesidad de aplicar estos nutrientes en el periodo adecuado y de forma parcializada, al igual como lo observaron Sheik y Manjula (2009), en granados var. Ganesh, donde una mayor parcialización en la dosis tuvo un mejor efecto en el crecimiento vegetativo, calidad y cantidad de frutos, por sobre la aplicación en una sola vez.

Medición indirecta de clorofila

El contenido de clorofila en las hojas de ambos huertos, experimentó un gradual ascenso desde inicios de brotación hasta fines de verano. Desde allí en adelante, comenzó a descender, volviendo en otoño a los niveles iniciales de primavera (Figura 3.25.a). La evolución aquí observada es congruente con la coloración que presentan las hojas del granado, que alcanzan la tonalidad verde a mediados del verano, para tornarse amarillentas bastante antes de su caída en otoño. Sin embargo, los contenidos de clorofila, no se presentaron relacionados con los de N, pues éstos siguieron una tendencia descendente a lo largo de la temporada (Figura 3.25.b).

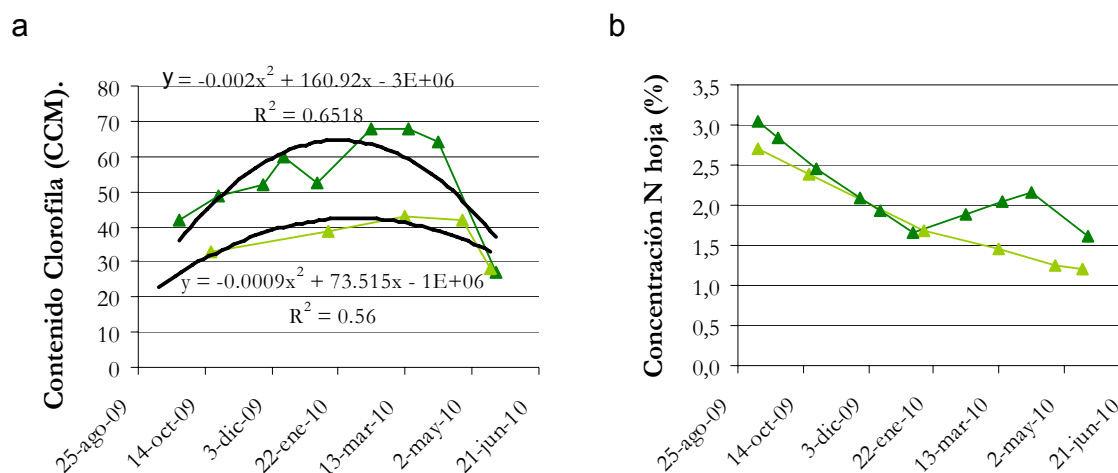


Figura 3.25. Medición en hojas de la concentración de N en granado var. Wonderful. (a) Contenido clorofila (CCM), (b) Concentración N. (▲) Huerto en producción, (▲) Huerto joven.

Este resultado insinúa que la medición de clorofila en las hojas por medio de un equipo CCM 200, no sería un buen indicador del nivel de nitrógeno en el árbol de granado, a diferencia de lo que ocurre en otras especies, como el maíz (Novoa y Villagrán, 2002). Esto se podría explicar, considerando que sólo una fracción del nitrógeno que la planta absorbe es destinada a la clorofila.

CONCLUSIONES

El granado es una especie que tiene una alta extracción de macronutrientes.

En un huerto adulto, el principal sumidero de potasio son los frutos. El calcio y magnesio se dirigen, esencialmente, al desarrollo de órganos vegetativos. El nitrógeno y fósforo se distribuyen en ambas secciones de la planta. En cambio, en un huerto joven, el principal destino de macronutrientes son los órganos vegetativos.

El granado presenta tasas de extracción de macronutrientes similares a otros frutales de hoja caduca, especialmente duraznero.

La concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas va disminuyendo a lo largo del crecimiento anual de granado. Por el contrario, la concentración de calcio y magnesio va aumentando.

En granados más del 80% del nitrógeno es extraído antes de la cosecha.

Aproximadamente el 50% del fósforo es extraído al finalizar la brotación, ratificándose la importancia de este elemento en los primeros estados de desarrollo de estos árboles.

Durante el crecimiento del fruto se produce aproximadamente el 70% de la extracción de potasio.

El 68% del calcio y 83% del magnesio, es extraído hasta el crecimiento intermedio de los frutos. A diferencia de los otros macroelementos, el calcio presenta una gran extracción posterior a la cosecha.

Asumiendo tasas de mineralización de un 50%, la reincorporación de las hojas caídas, aportaría un 10% de los macronutrientes al suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atkinson, D. y S. Wilson. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake: 137:150. In: Atkinson, D., J.E.Jackson, R.O.Sharpley y W.M. Waller (Eds.). Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths. London. 453p.

Baghdadi, M. and A. Sadowski. 1998. Estimation of nutrient requirements of sour cherry. *Acta Horticulturae* 468: 515-521.

Bonomelli, C., H. Gilabert and M. Ayala. 2010. Nitrogen uptake, growth and biomass accumulation in first growing season of cherry trees on Gisela® 6. *Acta Horticulturae* 868: 177-184.

Boyd, L., A. Barnett, C. Civolani and E. Fini. 2010. Whole plant excavations to determine nutritional requirements in Hort16A kiwifruit vines. *Acta Horticulturae* 868: 171-176.

Dhillon, W., P. Gill and N. Singha. 2011. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on growth, yield and quality of pomegranate Kandhari. *Acta Horticulturae* 890: 327-332.

Fallahi, E., B. Fallahi, G. Nielsen, D. Nielsen and F. Peryea. 2010. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horticulturae* 868: 49-61.

Giménez, M., J. Martínez, M. Oltra, J. Martínez and M. Fernández. 1998. Análisis foliar en granado (*Punica granatum*): correlación con la cosecha. pp 248-255. In: Ed. Pablo Melgarejo. I Simposio Internacional sobre el Granado. Orihuela, España 15-17 de octubre, 1998. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.

Hepaksoy, S., U. Aksoy, H. Can and M. Ui.1998. Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristics and nutritional status of some pomegranate varieties. pp 86-93. In: Ed. Pablo Melgarejo. I Simposio Internacional sobre el Granado. Orihuela, España 15-17 de octubre, 1998. Escuela Politécnica Superior de Orihuela Universidad Miguel Hernández. Orihuela, España.

Lema, M., P. Rodríguez, C. Salinero and F. Veloso. 2010. Seasonal pattern of accumulation of nutrients by kiwifruit Hayward in acid soils of northern Portugal. *Acta Horticulturae* 868: 231-236.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press, San Diego, California. USA. 889 p.

Melgarejo, P. y D. Salazar. 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas vol. II. El algarrobo, granado y jinjolero. Ed. Mundi-prensa y AMV. Madrid, España. 442 p.

Mirdehghan, S. and M. Rahemi. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 111: 120-127.

Navarro, S. y G. Navarro. 2003. Química agrícola. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 486p.

Nieto, J., P. Arroyo, J. Hidalgo, J.C. Hidalgo y M. Pastor. 2006. Determinación del momento óptimo de muestreo para la caracterización del estado nutritivo de plantaciones de olivar de regadío de la variedad Picual mediante análisis foliar. *Fruticultura Profesional* 161: 61-68.

Novoa, R. y N. Villagrán. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62(1):166-171.

Ozkan, C., T. Ates, H. Tibet and A. Arpacioğlu. 1999. Seasonal changes of some nutrient elements in the pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar) leaves grown in Antalya region. pp 710-714. In: Ed. University Ankara. 3° Turkish National Horticulture Congress in Turkey. Ankara, Turkey 14-17 September, 1999. University Ankara. Ankara, Turkey.

Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. 4° edición, Ed. Bruno Razeto. Santiago, Chile. 518p.

Razeto, B. 2009. Symptoms of nutrient imbalances in fruit trees. Ed. A. Steven. Santiago, Chile. 187p.

Richardson, A., S. Duigan and G. Berlin. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153: 185-194.

Rodríguez, J., G. Gil, E. Callejas, A. Urzúa and H. Suarez, D.1974. Absorption of mineral nutrients and their distribution among aerial organs of the grapevine, cv. Cabernet Sauvignon, during one growing season. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)*1(2): 95-105.

Sadzawka, A., R. Grez, A. Carrasco y A. Mora. 2007. Método de análisis de tejidos vegetales. Instituto de Investigación Agropecuaria. 2° ed. Santiago, Chile. 139p.

Sayyari, M., M. Babalar and S. Kalantari. 2010. The effect of pre-storage application of calcium chloride on chilling resistance and calcium concentration of pomegranate fruits. *Acta Horticulturae* 868: 367-372.

Sheikh, M. and N. Manjula. 2009. Effect of split application of N and K on growth and fruiting in Ganesh pomegranate (*Punica granatum* L.). *Acta Horticulturae* 818: 213-218.

Silva, H. y J. Rodríguez, 1995. Fertilización de plantas frutales. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 519 p.

Smith, G., C. Clark and J. Buwalda. 1988. Nutrients dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37: 87-109.

Storey, R. and M. Treeby. 2000. Seasonal changes in nutrient concentrations of navel orange fruit. *Scientia Horticulturae* 84: 67-82.

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. Ed. Sinauer Associates. Massachussets. EE.UU. 623 p.

Vidal, I. 2007. *Fertirrigación cultivos y frutales*. Ed. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 117p.

Weinbaum, S., P. Brown, R. Rosecrance, G. Pichioni, F. Niederholzer, F. Youseffi and T. Muraoka. 2001. Necessity for whole tree excavation in determinig patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. *Acta Horticulturae* 564: 41-47.

APÉNDICE

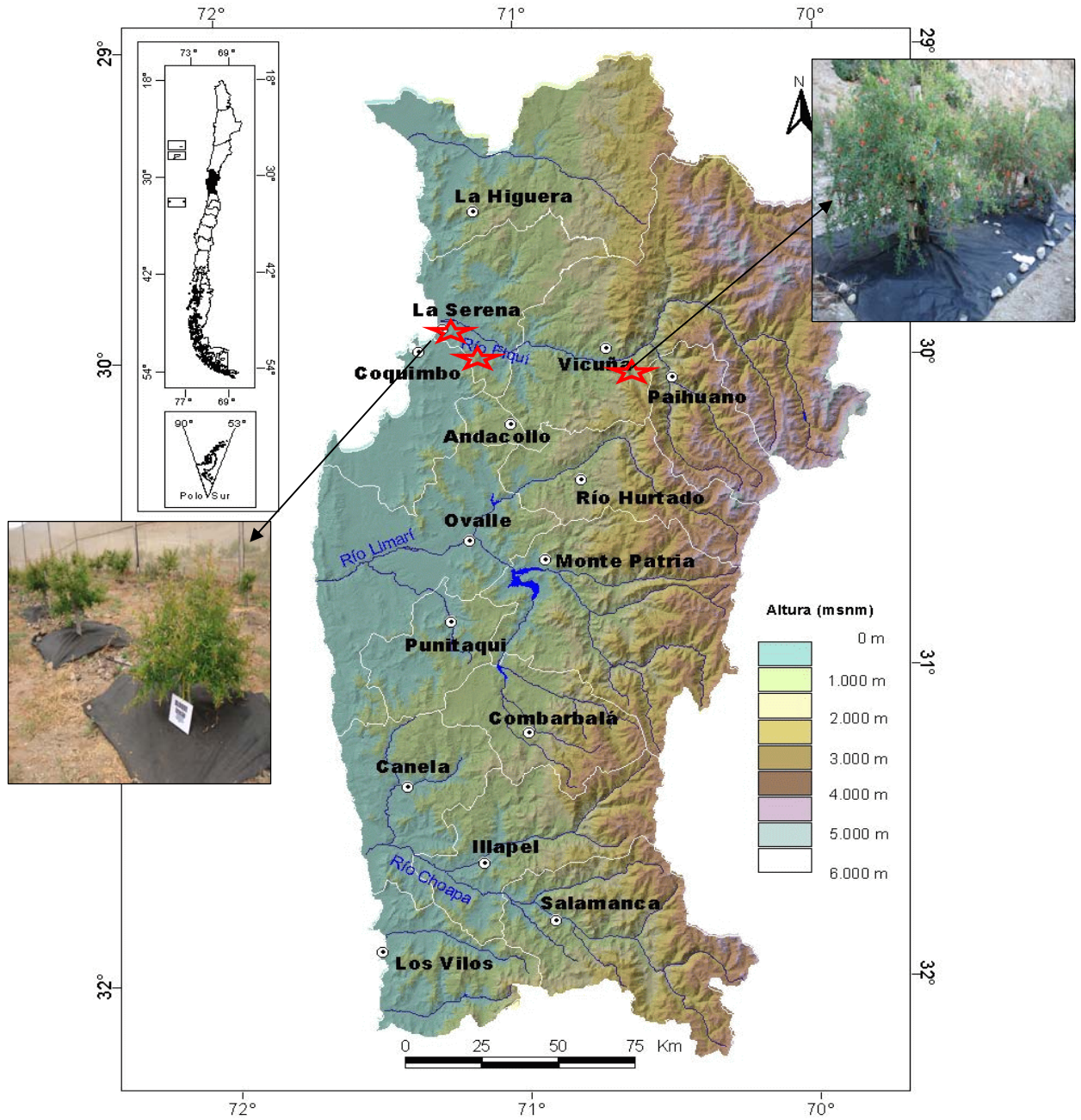
Apéndice I. Acumulación total de nutriente ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) en un huerto joven de granado var. Wonderful.

	N	50%	P	50%	K	50%	Ca	50%	Mg	50%
	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Min	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Min	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Min	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Min	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Min
Raíz	4		0,72		2,5		2,8		0,33	
Caulinar	13		1,53		6,5		8,0		0,67	
Hoja caída	4,5	-2,2	0,62	-0,3	1,2	-0,6	8,2	-4	0,70	-0,3
Hoja	8		1,34		4,6		12		1,43	
Total	21,5¹	19,3 ²	2,87¹	2,57 ²	10,2¹	9,6 ²	19¹	15 ²	1,70¹	1,4 ²
%	38,9		5,2		18,5		34,4		3,0	

¹Sin incorporación de hoja caída; ² Con incorporación de hoja caída; Total: raíz+caulinar+hoja caída.

ANEXOS

Anexo I. Ubicación georreferenciada de la localidad de Rosario y Paihuano.



Mapa de relieve de la IV región Coquimbo, Chile.

Anexo II. Análisis de suelo huerto en producción, Agrícola H&C, localidad de Paihuano.
Franco arenoso y plan de fertilización anual utilizado en la temporada 2009-2010.

Identificación Cuartel :	M.Compuesta Paihuano	
Profundidad muestreo(cm) :		
N° de Laboratorio :	117244	
Fertilidad		
pH (agua, relación 1:2,5)	12,5	7,0 Neutro
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	9,0 Salino
Materia orgánica	%	3,8 Alto
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	394 Excesivo
Fósforo disponible (P)	mg/kg	44 Adecuado
Potasio disponible (K)	mg/kg	599 Adecuado
Cationes Intercambiables		
Calcio (Ca)	meq/100g	9,2 Adecuado
	% CIC	66
Magnesio (Mg)	meq/100g	2,7 Alto
	% CIC	19
Potasio (K)	meq/100g	1,5 Adecuado
	% CIC	10,9
Sodio (Na)	meq/100g	0,88 Medio
	% CIC	6,3
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		14,3
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	14,0

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

AGRICOLA H&C Paihuano		SECTOR Huerto en producción 5 años FERTIRRIGACION GRANADOS TEMPORADA 2009-2010 (Unidades/ha)			
MES	N	P	K	Ca	Mg
SEPTIEMBRE	0	0	0	0	0
OCTUBRE	0	0	0	0	0
NOVIEMBRE	10	2	5	0	2
DICIEMBRE	12	3	9	4	4
ENERO	17	5	19	5	3
FEBRERO	20	6	35	10	3
MARZO	55	8	45	15	2
ABRIL	43	0	10	0	0
MAYO	0	0	0	0	0
JUNIO	0	0	0	0	0
JULIO	0	0	0	0	0
AGOSTO	0	0	0	0	0
Total	157	24	123	34	16

Anexo III. Análisis químico de agua huerto en producción, Agrícola H&C, localidad de Paihuano.

Identificación muestra :	Muestra De Agua Paihuano	Interpretación para Riego	
		Nch1333	Agrónomico
Origen :	19976	Limite máx	Riesgo de uso
N° de Laboratorio :		(1)	Ninguno
pH	✓ 7,80	5,5 - 9,0	6,5 - 8,4
C.Eléctrica dSm	✓ 0,26	(3)	< 0,75 > 3,0
RAS corregida (Relación Adsorción Sodi	✓ 0,72		< 6,0 > 9,0
Sodio porcentual (Na) %	✓ 13,3	35	
Dureza (CaCO ₃ mg/l	✓ 106		< 140 > 320
Cationes y aniones (meq/l)			
Calcio (Ca) meq/l	✓ 1,7		
Magnesio (Mg) meq/l	✓ 0,42		
Potasio (K) meq/l	✓ 0,03		
Sodio (Na) meq/l	✓ 0,33		< 3,0 > 9,0
Cloruro (Cl) meq/l	✓ 0,15		< 4,0 > 10,0
Sulfato (SO ₄) meq/l	✓ 1,5		
Bicarbonato (HCO ₃) meq/l	✓ 1,1		< 1,5 > 8,5
Cationes y aniones (mg/l)			
Calcio (Ca) mg/l	✓ 34		
Magnesio (Mg) mg/l	✓ 5		
Potasio (K) mg/l	✓ 1		
Sodio (Na) mg/l	✓ 8		< 70 > 200
Cloruro (Cl) mg/l	✓ 5	200	< 140 > 350
Sulfato (SO ₄) mg/l	✓ 72	250	
Bicarbonato (HCO ₃) mg/l	✓ 67		< 90 > 500

(1) Norma NCh1333.Of78 Modificada1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes Usos. Parte 6: Requisitos del agua para riego.

(2) Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada elemento. En el caso de RAS, la autoridad competente debe establecerla en cada caso específico. Los elementos que figuran sin valor no se encuentran regulados en la norma.

(3) Clasificación del agua para riego según su salinidad de acuerdo a la norma NCh1333.

N° Lab. 19976 : Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales

Anexo IV. Análisis de suelo huerto joven, Agrícola Carmín del Elqui, localidad de Rosario. Franco arcilloso y plan de fertilización anual utilizado temporada 2009-2010.

Identificación Cuartel	:	M.Compuesta Rosario
Profundidad muestreo(cm)	:	
N° de Laboratorio	:	117245
Fertilidad		
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	7,3 Neutro
C.Eléctrica (en extracto)	dS/m	4,8 Mod.Salino
Materia orgánica	%	1,7 Bajo
Nitrógeno disponible (N)	mg/kg	154 Alto
Fósforo disponible (P)	mg/kg	164 Alto
Potasio disponible (K)	mg/kg	411 Adecuado
Cationes Intercambiables		
Calcio (Ca)	meq/100g	9,0 Medio
	% CIC	62
Magnesio (Mg)	meq/100g	4,0 Alto
	% CIC	27
Potasio (K)	meq/100g	1,1 Adecuado
	% CIC	7,2
Sodio (Na)	meq/100g	0,57 Medio
	% CIC	3,9
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)		14,6
CIC (Cap.Intercambio Cationico)	meq/100g	14,6

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

SECTOR		Huerto joven 3 años (sin frutos)				
AGRICOLA CARMIN DEL ELQUI		FERTIRRIGACION GRANADOS TEMPORADA 2009-2010				
Paihuano		(Unidades/ha)				
MES	N	P	K	Ca	Mg	
SEPTIEMBRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
OCTUBRE	6,0	0,0	4,0	0,0	0,5	
NOVIEMBRE	8,0	2,5	4,0	3,0	1,0	
DICIEMBRE	12,0	0,0	6,0	5,0	1,5	
ENERO	0,0	2,0	0,0	4,0	0,0	
FEBRERO	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	
MARZO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ABRIL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
MAYO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
JUNIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
JULIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
AGOSTO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Total	26,0	4,5	14,0	15,0	3,0	

Anexo V. Análisis químico de agua huerto en producción, Agrícola Carmín del Elqui, localidad de Rosario.

Identificación muestra	:	Muestra Agua Rosario	Interpretación para Riego		
			Nch1333	Agrónomico	
Origen	:		Limite máx	Riesgo de uso	
N° de Laboratorio	:	19977	(1)	Ninguno	Alto
pH		7,52	5,5 - 9,0	6,5 - 8,4	
C.Eléctrica	dS/m	0,61	(3)	< 0,75	> 3,0
RAS corregida (Relación Adsorción Sodi)		1,1		< 6,0	> 9,0
Sodio porcentual (Na)	%	26,8	35		
Dureza (CaCO ₃)	mg/l	215		< 140	> 320
Cationes y aniones (meq/l)					
Calcio (Ca)	meq/l	3,1			
Magnesio (Mg)	meq/l	1,2			
Potasio (K)	meq/l	0,07			
Sodio (Na)	meq/l	1,6		< 3,0	> 9,0
Cloruro (Cl)	meq/l	0,90		< 4,0	> 10,0
Sulfato (SO ₄)	meq/l	3,9			
Bicarbonato (HCO ₃)	meq/l	1,7		< 1,5	> 8,5
Cationes y aniones (mg/l)					
Calcio (Ca)	mg/l	62			
Magnesio (Mg)	mg/l	15			
Potasio (K)	mg/l	3			
Sodio (Na)	mg/l	37		< 70	> 200
Cloruro (Cl)	mg/l	32	200	< 140	> 350
Sulfato (SO ₄)	mg/l	187	250		
Bicarbonato (HCO ₃)	mg/l	104		< 90	> 500

(1) Norma NCh1333.Of78 Modificada1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes Usos. Parte 6: Requisitos del agua para riego.

(2) Ministerio de Obras Públicas podrá autorizar valores mayores o menores para los límites máximos de cada elemento. En el caso de RAS, la autoridad competente debe establecerla en cada caso específico. Los elementos que figuran sin valor no se encuentran regulados en la norma.

(3) Clasificación del agua para riego según su salinidad de acuerdo a la norma NCh1333.

N° Lab. 19977 : Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales

Anexo VI. Fenología del granado.

Fenología

Brotación
Inicios de
septiembre



Floración
Mediados de
septiembre



Cuaja
Inicios de
octubre



Crecimiento
intermedio de fruto
Mediados de enero



Cosecha
Mediados de
abril



Anexo VII. Mediciones previas antes de la extracción de árboles.



Anexo VIII. Procesamiento de muestras de árboles de extracción.

